

José María Pérez Bella

Parametrización de la exposición a
la humedad y de los ensayos de
estanqueidad en cerramientos de
edificación : Caracterización
prestacional de su
comportamiento higrotérmico

Departamento
Ingeniería Mecánica

Director/es

Domínguez Hernández, Javier
Coz Díaz, Juan José del

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>



Universidad
Zaragoza

Tesis Doctoral

PARAMETRIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LA
HUMEDAD Y DE LOS ENSAYOS DE
ESTANQUEIDAD EN CERRAMIENTOS DE
EDIFICACIÓN : CARACTERIZACIÓN
PRESTACIONAL DE SU COMPORTAMIENTO
HIGROTÉRMICO

Autor

José María Pérez Bella

Director/es

Domínguez Hernández, Javier
Coz Díaz, Juan José del

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Ingeniería Mecánica

2012



**Universidad
Zaragoza**



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza**

PARAMETRIZACIÓN DE LA
**EXPOSICIÓN A LA HUMEDAD Y
DE LOS ENSAYOS DE ESTANQUEIDAD
EN CERRAMIENTOS DE EDIFICACIÓN.
C**ARACTERIZACIÓN PRESTACIONAL DE SU
COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO

MEMORIA

Tesis doctoral

Departamento de Ingeniería Mecánica

Universidad de Zaragoza

Doctorando: D. José María Pérez Bella
Ingeniero Industrial

Director de tesis: D. Javier Domínguez Hernández
Doctor Ingeniero Industrial, Arquitecto. Profesor Titular de Universidad

Director de tesis: D. Juan José del Coz Díaz
Doctor Ingeniero Industrial. Catedrático de Universidad.

Julio de 2012



**Departamento de
Ingeniería Mecánica
Universidad Zaragoza**



**Universidad
Zaragoza**



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza**

PARAMETRIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LA HUMEDAD Y DE LOS ENSAYOS DE ESTANQUEIDAD EN CERRAMIENTOS DE EDIFICACIÓN.

CARACTERIZACIÓN PRESTACIONAL DE SU COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO

**Parameterization of moisture exposure and water
tightness tests on external wall systems. Performance-
based characterization of its hygrothermal behavior.**

MEMORIA

Tesis doctoral

Departamento de Ingeniería Mecánica

Universidad de Zaragoza

Doctorando: D. José María Pérez Bella

Ingeniero Industrial

Director de tesis: D. Javier Domínguez Hernández

Doctor Ingeniero Industrial, Arquitecto. Profesor Titular de Universidad

Director de tesis: D. Juan José del Coz Díaz

Doctor Ingeniero Industrial. Catedrático de Universidad.

Julio de 2012



**Departamento de
Ingeniería Mecánica
Universidad Zaragoza**

AGRADECIMIENTOS

Con estas líneas quiero dejar constancia de mi agradecimiento a las siguientes personas e instituciones, que de alguna forma, han contribuido a llevar a buen puerto esta Tesis Doctoral.

En primer lugar a los profesores D. Javier Domínguez Hernández y D. Juan José del Coz Díaz, directores de este trabajo, por haber guiado y corregido su desarrollo hasta obtener el resultado que aquí se presenta.

Por otro lado a mis compañeros en el Área de Conocimiento de Ingeniería de la Construcción de la Universidad de Zaragoza D. Enrique Cano Suñén y Dña. Beatriz Rodríguez Soria, por su apoyo durante los años empleados en la realización del trabajo y a D. Javier Escuer Gracia, por su colaboración en la elaboración de los mapas presentados.

También a la financiación parcial del proyecto de investigación titulado “Estudio y optimización del comportamiento higratérmico de nuevos bloques huecos elaborados en base a hormigones ligeros para su empleo en suelos y paredes”, referencia BIA 2008-00058, del cual es investigador principal D. Juan José del Coz Díaz.

He de señalar también que algunos de los resultados obtenidos en este trabajo se han obtenido a partir de la información recopilada y facilitada por la Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Por último, quiero expresar mi más sentido agradecimiento a Vanessa, a mis padres, mi hermano y el resto de mi familia, por su ánimo e infinita paciencia en el largo camino recorrido.

PRÓLOGO

Esta Tesis Doctoral se desarrolla dentro del ámbito de conocimiento de la protección frente a la humedad en los edificios.

Para ello inicialmente se estudia la situación actual del conocimiento en la materia, analizando por un lado los procedimientos utilizados para la estimación de la exposición frente a la humedad y los ensayos de estanqueidad existentes para la homologación de las soluciones constructivas y por otro, la regulación normativa española en materia de protección frente a la humedad.

Centrando este análisis en los cerramientos verticales, elementos de la envolvente edificatoria que habitualmente no cuentan con elementos de impermeabilización para resistir el contacto con la humedad en fase líquida, se han expuesto las notables carencias normativas vigentes en nuestro país y los problemas de integración presentes en relación a otras reglamentaciones de obligado cumplimiento, como las relacionadas con el ahorro energético de los edificios.

Estas carencias se traducen en una escasa optimización de los diseños de cerramientos y en un desconocimiento de las condiciones de exposición, que puede dar lugar a situaciones de penetración de agua, responsables habitualmente de lesiones, merma de durabilidad, pérdida de prestaciones de aislamiento y ahorro energético e incremento de costes en las fachadas de los edificios.

En respuesta a esta situación se justifica el presente trabajo, basado en el análisis técnico de la exposición frente a la humedad soportada por los cerramientos verticales, en la determinación de procedimientos optimizados de verificación de la estanqueidad y en la mejora de la estimación del comportamiento higrotérmico de la envolvente edificatoria en relación a sus condiciones de temperatura y humedecimiento.

En suma, este trabajo aporta un salto cualitativo en el estudio actual de la materia en nuestro país, lo que paralelamente ha permitido desarrollar análisis y metodologías que también representan avances en el ámbito internacional.

FOREWARD

This Ph.D Thesis is developed within the scope of building protection against moisture.

Thus this work initially examines the current state of the art on the subject, analysing the moisture exposure calculation, the parameters of current water tightness test and analyzing the current Spanish legislation concerning protection against moisture.

Focusing this review on vertical building walls that usually not include water tightness elements to resist water penetration, significant deficiencies in the Spanish legislation and integration problems related to others energy saving standards have been identified.

These deficiencies mean a poor optimization of wall system designs and a limited knowledge of moisture exposure, which can lead to situations of water penetration, responsible of moisture injuries, decreased durability and energy saving, and increased maintenance costs.

The response to this situation justifies the present work, based on technical analysis of the moisture exposure of walls systems, on the determination of optimized water tightness tests, and on an improvement analysis of hygrothermal behavior of buildings walls.

In summary, this Ph. D Thesis provides a qualitative improvement in the current knowledge of the moisture protection in our country, and also presents notable methodologies and advances in the international state of the art. Several advances have been published or are being considered by prestigious international journals for its publication.

ÍNDICE

MEMORIA

AGRADECIMIENTOS

PRÓLOGO

FOREWORD

ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II. HUMEDAD ATMOSFÉRICA EN LA CONSTRUCCIÓN

CAPÍTULO III. MARCO NORMATIVO DE LA PROTECCIÓN FRENTE A LA HUMEDAD EN LA EDIFICACIÓN

CAPÍTULO IV. PARAMETRIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LA HUMEDAD EN CERRAMIENTOS VERTICALES

CAPÍTULO V. PARAMETRIZACIÓN PRESTACIONAL DE ENSAYOS DE ESTANQUEIDAD

CAPÍTULO VI. CARACTERIZACIÓN DE LA PRESTACIÓN TÉRMICA EN CERRAMIENTOS

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES

NOMENCLATURA

ANEJOS

MEMORIA

AGRADECIMIENTOS

PRÓLOGO

FOREWORD

ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

I.1.- Alcance del trabajo	I.-2
I.2.- Objetivos de la tesis	I.-6
I.3.- Estructura del documento	I.-11

CAPÍTULO II. HUMEDAD ATMOSFÉRICA EN LA CONSTRUCCIÓN

II.1.- Introducción	II.-2
II.2.- Relevancia de la protección frente a la humedad	II.-6
II.3.- Caracterización de la sollicitación por humedad atmosférica	II.-81
II.4.- Mecanismos del transporte de humedad en materiales de construcción	II.-112
II.5.- Propiedades higrotérmicas del material de construcción	II.-135
II.6.- Caracterización higroscópica del material de construcción	II.-155
II.7.- Estrategia de trabajo utilizada	II.-171
II.8.- Bibliografía y apéndices	II.-173

CAPÍTULO III. MARCO NORMATIVO DE LA PROTECCIÓN FRENTE A LA HUMEDAD EN LA EDIFICACIÓN

III.1.- Introducción	III.-2
III.2.- Enfoque normativo prestacional	III.-5
III.3.- Normativa española	III.-20
III.4.- Marco normativo internacional	III.-88
III.5.- Comentario al análisis normativo realizado	III.-124
III.6.- Bibliografía y apéndices	III.-128

CAPÍTULO IV. PARAMETRIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LA HUMEDAD EN CERRAMIENTOS VERTICALES

IV.1.- Introducción	IV.-2
IV.2.- Bases de partida y campo de aplicación de la parametrización	IV.-5
IV.3.- Parametrización de la exposición	IV.-19
IV.4.- Presentación y utilización de los resultados	IV.-45
IV.5.- Ampliación y generalización de la metodología	IV.-61
IV.6.- Comentario a los resultados obtenidos	IV.-144
IV.7.- Bibliografía y apéndices	IV.-149

CAPÍTULO V. PARAMETRIZACIÓN PRESTACIONAL DE ENSAYOS DE ESTANQUEIDAD

V.1.- Introducción	V.-2
V.2.- Parámetros de exposición utilizados en los ensayos de estanqueidad	V.-6
V.3.- Cálculo de parámetros de exposición en condiciones de servicio	V.-11
V.4.- Análisis del periodo de retorno asociado a la exposición	V.-20
V.5.- Parámetros de ensayo asociados a un periodo de retorno combinado	V.-33
V.6.- Generalización de la parametrización	V.-53
V.7.- Análisis comparativo de diferentes ensayos de estanqueidad	V.-64
V.8.- Comentario a los resultados obtenidos	V.-73
V.9.- Bibliografía y apéndices	V.-78

CAPÍTULO VI. CARACTERIZACIÓN DE LA PRESTACIÓN TÉRMICA EN CERRAMIENTOS

VI.1.- Introducción	VI.-1
VI.2.- Caracterización de la prestación térmica de los cerramientos	VI.-4
VI.3.- Determinación del factor de conversión de temperatura	VI.-7
VI.4.- Determinación del factor de conversión de humedad	VI.-14
VI.5.- Determinación de la conductividad prestacional de diseño	VI.-28
VI.6.- Validación de la aproximación prestacional analítica planteada	VI.-38
VI.7.- Comentario a los resultados obtenidos	VI.-52
VI.8.- Bibliografía y apéndices	VI.-57

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES

VII.1.- Aportes y contribuciones obtenidas	VII.-2
VII.2.- Mejoras aplicables al marco normativo	VII.-11
VII.3.- Conclusiones al trabajo realizado y líneas futuras	VII.-14

NOMENCLATURA

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

I.1.- Alcance del trabajo	I.-2
I.2.- Objetivos de la tesis	I.-6
I.3.- Estructura del documento	I.-11

I.1.- ALCANCE DEL TRABAJO

La investigación realizada profundiza en el campo de la protección frente a la humedad en los edificios, aspecto abordado recientemente a nivel normativo en nuestro país a través del Código Técnico de la Edificación, en sus Documentos Básicos HS1-Protección frente a la humedad y HE1-Ahorro de energía.

De entre las posibles fuentes de humedad presentes en la edificación, el estudio se centra fundamentalmente en el análisis de la humedad atmosférica, principal fuente de aporte de humedad en estado líquido sobre elementos de la envolvente edificatoria sobre rasante y debida a las precipitaciones atmosféricas que inciden sobre los edificios.

Este aporte de agua atmosférica sobre la envolvente edificatoria, provoca por la posterior penetración de humedad en el cerramiento, lesiones que acortan su vida útil e incrementan los gastos de mantenimiento en los edificios. Otro efecto añadido es la reducción de las prestaciones de aislamiento y ahorro energético de la envolvente, lo que redundará un mayor consumo de energía por parte de las instalaciones de acondicionamiento térmico dispuestas en el edificio.

Estos problemas son especialmente relevantes en los cerramientos verticales de la edificación, ya que estas partes de la envolvente térmica no cuentan con materiales impermeabilizantes específicamente dispuestos para impedir el paso de humedad. Otros componentes de la envolvente, tales como muros de contención, suelos o cubiertas, en los que se considera la posibilidad de un contacto continuado con agua líquida, cuentan obligatoriamente con estos materiales impermeabilizantes, de tal forma que su estanqueidad depende directamente de la durabilidad de los materiales y de su adecuada puesta en obra.

Los cerramientos verticales, sometidos únicamente a aportes de agua puntuales, producidos por la intensidad de la precipitación y la velocidad del viento simultáneo a la misma que desvía agua sobre el cerramiento (lluvia batiente), no se impermeabilizan y por ello están sometidos a riesgos de penetración de humedad al interior del edificio más acusados, que deben ser minimizados mediante el adecuado diseño de la solución constructiva. Los cerramientos verticales o fachadas, constituyen por lo tanto la parte más sensible de la envolvente edificatoria y en ellos, la adecuada prestación de protección frente a la humedad depende en exclusiva de la optimización del diseño planteado para la solución constructiva.

Por ello, el trabajo desarrollado en esta Tesis Doctoral se centra en el estudio y caracterización de los parámetros que determinan la exposición del cerramiento a la humedad, así como en el desarrollo de procedimientos de verificación del cumplimiento de la protección frente a la humedad atmosférica por parte de los cerramientos verticales del edificio.

Suelen distinguirse dos líneas de trabajo en relación al estudio de la protección frente a la humedad atmosférica en cerramientos verticales:

- Evitar la formación de condensaciones intersticiales o superficiales en los componentes del cerramiento.
- Evitar la penetración de agua en estado líquido a través de la fachada.

Para alcanzar ambos objetivos de una forma óptima y adaptada a las necesidades de cada cerramiento, es preciso disponer de dos requisitos indispensables:

- Una precisa estimación de la exigencia o condiciones de contorno sobre el cerramiento.
- Un procedimiento de verificación de la protección, técnico y riguroso, que permita extrapolar los resultados obtenidos a otras condiciones de contorno y configuraciones de cerramiento.

No obstante, el humedecimiento de las fachadas por parte de la lluvia batiente, es un fenómeno de compleja caracterización por la multitud de parámetros que influyen en el mismo: climatología del emplazamiento, altura, entorno y orientación del cerramiento, presencia de elementos arquitectónicos... En él además confluyen varios fenómenos meteorológicos como son la precipitación, la velocidad de viento simultánea a la precipitación o la dirección de dicho viento, que determinan todos ellos la magnitud de la lluvia batiente que incide sobre el cerramiento.

Se añan a estas dificultades los complejos mecanismos de transferencia de humedad que se desarrollan en el interior de los medios porosos de los materiales y que están fuertemente condicionados por condiciones intrínsecas al material, como son su porosidad, capilaridad, absorción, capacidad de almacenamiento de humedad, pero también por aspectos coyunturales como su grado de saturación, temperatura o situación de histéresis en el almacenamiento de humedad.

Estas dificultades, especialmente acusadas para la caracterización de la penetración de agua en estado líquido a través de la fachada, provocan que los ámbitos normativos internacionales afronten la exigencia de protección desde una perspectiva prescriptiva, basada en estimaciones aproximadas y condicionada por la utilización de soluciones constructivas tradicionales y basadas en la experiencia previa para los cerramientos. A este respecto, las regulaciones normativas establecidas por el DB-HS1 del Código Técnico de la Edificación español, como consecuencia de su reciente aparición, se demostrarán si cabe especialmente inadecuadas y escasamente prestacionales.

El estudio pormenorizado del ámbito normativo español e internacional como primera tarea abordada, ha de permitir identificar las principales deficiencias existentes en relación a la precisa estimación de la exposición a la humedad. Estas deficiencias comienzan al obviar el parámetro de la lluvia batiente sobre el cerramiento, como el factor que determina dicha exposición, caracterizando de este modo inadecuadamente la exigencia.

Identificadas estas deficiencias, ha de ser posible proponer mejoras alternativas capaces de determinar rigurosamente la exposición a la humedad a través de la lluvia batiente esperada sobre cada emplazamiento y condición de servicio del cerramiento. Igualmente, será posible corregir otros aspectos derivados de la falta de prestación e integración entre las diferentes partes del Código español en relación a la protección frente a la humedad.

En relación a la verificación del cumplimiento de protección frente a la penetración de agua líquida, dada la complejidad de los mecanismos de transporte que intervienen, todas las normativas a nivel internacional han optado por homologar las diferentes soluciones constructivas de cerramientos mediante ensayos de estanqueidad.

Estos ensayos, caracterizados por someter a los sistemas de cerramiento a situaciones de exposición a la penetración de agua, utilizan parámetros de exposición constantes y estandarizados, que por su funcionalidad y reproducibilidad, no son representativos de todas las posibles exposiciones reales que pueden darse en condiciones de servicio.

Dado que en la actualidad no se simulan todas las infinitas condiciones de exposición que pueden darse sobre cada cerramiento, los resultados obtenidos por los mismos no son enteramente satisfactorios y no permiten determinar con precisión la prestación del cerramiento en condiciones de utilización real.

Igualmente al utilizar parámetros de exposición diferentes en cada ámbito normativo, tampoco es posible comparar en base a un criterio objetivo y común los resultados obtenidos mediante dos ensayos diferentes.

Las dificultades para determinar con precisión la cantidad de agua batiente esperada sobre los cerramientos, han impedido igualmente determinar parámetros de ensayo que simulen con rigor las condiciones de exposición que se espera se produzcan en cada una de las posibles condiciones de servicio para el sistema de cerramiento sometido a ensayo.

El desarrollo de esta Tesis Doctoral ha de permitir establecer una relación inequívoca entre los resultados obtenidos en estos ensayos y la prestación de estanqueidad ofrecida por el cerramiento en cualquier emplazamiento y condición de servicio real. Inversamente, ha de ser capaz de determinar con precisión los parámetros de exposición que han de ser superados en cualquier ensayo, para garantizar una determinada prestación en las condiciones de diseño planteadas para el cerramiento.

Este desarrollo posibilitará la comparación en base a un criterio de prestación entre los resultados de diferentes ensayos de estanqueidad, posibilitando la utilización de un único ensayo para la homologación internacional de cualquier sistema de cerramiento.

La utilización de los resultados de prestación obtenidos para los cerramientos mediante los ensayos de estanqueidad, permitirá igualmente proporcionar un procedimiento de verificación capaz de sustituir de forma prestacional, la actual de utilización de soluciones aceptadas prescriptivas por parte del Documento Básico HS1 del Código Técnico de la Edificación.

Estos ámbitos de mejora en el campo normativo en relación a la protección frente a la humedad, se amplían al caracterizar la relevante influencia que las condiciones de humedecimiento y temperatura presentes en los cerramientos tienen sobre el comportamiento higrotérmico de la envolvente de los edificios.

La utilización por parte del Código Técnico de la Edificación español de un valor de temperatura y contenido de humedad inadecuados para caracterizar la conductividad térmica de los materiales de construcción, provoca un significativo error de cálculo que redundará en un incremento del consumo energético en nuestros edificios.

A pesar del reciente desarrollo de herramientas informáticas capaces de optimizar los cálculos térmicos realizados para los edificios españoles, en virtud de las directivas europeas de ahorro energético, este incremento de precisión se ve desvirtuado por la utilización de datos de partida como la conductividad de los materiales, no adaptados a las características de la climatología española ni determinados en base a las condiciones climáticas de cada emplazamiento.

La estimación aproximada de las condiciones reales de temperatura y contenido de humedad existentes en los materiales de construcción de cada posible emplazamiento español, habrá de permitir evaluar prestacionalmente el error cometido, así como determinar los factores de corrección que deben ser aplicados para minimizarlo en cada diferente localización y climatología.

Los tres aspectos indicados, perfilan en su conjunto la línea principal de investigación abordada en documento, que se ve completada con una mayor profundización en la materia y con el desarrollo de otros aportes originales paralelos, de interés tanto en el ámbito nacional como internacional.

I.2.- OBJETIVOS DE LA TESIS

Para definir cerramientos más optimizados y prestacionales, es necesario abordar dos tareas fundamentales:

- Determinar de forma exacta, objetiva y precisa las condiciones de exigencia por humedad atmosférica sobre los cerramientos en cualquier emplazamiento y condición de servicio.
- Desarrollar un método de verificación técnico y riguroso que permita evaluar el grado de cumplimiento del objetivo de protección frente a la humedad atmosférica de cualquier posible cerramiento, bajo dichas exigencias.

En la actualidad, ninguno de los dos aspectos se da en la normativa española de construcción definida por el Código Técnico de la Edificación y el segundo aspecto se da únicamente de forma parcial y aproximada en las restantes normativas internacionales.

Ambos ámbitos de mejora se abordan a lo largo de los capítulos del presente trabajo de investigación.

Para estimar de forma más precisa y exacta la exposición a la humedad atmosférica en cualquiera de los cerramientos de nuestro país, es necesario estudiar los parámetros climáticos que intervienen en la deposición y penetración de agua través de los mismos.

A este respecto, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) tiene por objeto en nuestro país el desarrollo, implantación y prestación de los servicios meteorológicos de competencia del Estado, así como el apoyo al ejercicio de otras políticas públicas y privadas que contribuyan a la seguridad de personas y bienes y al bienestar y desarrollo sostenible de la sociedad española.

Para este trabajo se ha contado con la extensa información recopilada y facilitada tanto de forma pública como en virtud a un acuerdo de colaboración, por la Agencia Estatal de Meteorología en relación a múltiples emplazamientos de nuestro país. De este modo ha sido posible el estudio pormenorizado de la incidencia de la precipitación, de la velocidad del viento simultáneo a la precipitación y de la duración de esta exposición al humedecimiento, en los cerramientos de nuestro país.

Para estimar la exposición a la humedad de los cerramientos de forma realista, exacta y objetiva, habrán de ser adoptados los procedimientos de determinación de la exposición aceptados internacionalmente y que se basan en el cálculo de la lluvia batiente o cantidad de agua de lluvia que se espera sea recogida sobre el cerramiento vertical.

No obstante, estos han de ser adaptados a los datos climáticos disponibles en nuestro país, definiendo por primera vez en España una caracterización de la exposición a la humedad basada en la cantidad real de agua recogida sobre cada cerramiento en cada emplazamiento. Paralelamente a esta adaptación, se optimizan y desarrollan estos procedimientos de determinación de la exposición, abordando aportes también de utilidad, en el ámbito internacional del campo de conocimiento.

Para poder evaluar el grado de cumplimiento de la protección frente a la humedad atmosférica de cualquier cerramiento en cualquier condición de servicio, la precisa caracterización de la exposición en dichas condiciones debe traducirse en una mejora efectiva de los diseños de cerramientos existentes.

Dado que en la actualidad no ha sido posible definir un único modelo matemático unitario capaz de describir todos los parámetros, fenómenos y mecanismos que intervienen en la transferencia de humedad a través de los medios porosos y que además pueda ser utilizado sin la ayuda de sistemas informáticos de simulación numérica, la verificación de la estanqueidad de los cerramientos se realiza en la actualidad mediante ensayos de estanqueidad, que no obstante, no asocian de forma técnica, rigurosa e inequívoca los resultados obtenidos en los mismos, a las condiciones de prestación en cualquier condición concreta de exposición.

Han de redefinirse por lo tanto los parámetros que rigen los actuales ensayos de estanqueidad utilizados y que homologan en este sentido a los diferentes sistemas de cerramiento, siendo necesario definir un criterio de prestación comparable entre los diferentes ensayos de estanqueidad actualmente vigentes en el ámbito internacional, que pueda ser evaluado en condiciones reales de exposición del cerramiento en cualquier emplazamiento.

Dicho criterio de prestación, definido como el periodo de retorno de la máxima exposición que el cerramiento será capaz de soportar, permitirá definir su estanqueidad en cualquier condición de servicio. Inversamente, el mismo criterio de prestación habrá de permitir determinar de forma exacta los parámetros de ensayo normalizados que el cerramiento habrá de soportar, para la homologación de su estanqueidad bajo unas determinadas condiciones de utilización.

Como objetivo complementario, se desarrollará un procedimiento capaz de determinar de forma analítica los coeficientes correctores de necesaria aplicación sobre los valores de conductividad térmica actualmente utilizados en nuestro país. Estos valores de conductividad de los materiales de construcción, definidos en base a unas condiciones de temperatura y contenidos de humedad marcados por el Código Técnico de la Edificación, resultan en la actualidad inadecuados y llevan a significativos errores en el cálculo térmico.

Partiendo de datos disponibles en el propio Código relativos a la temperatura y humedad relativa en diferentes emplazamientos de nuestro país, se estimarán las condiciones medias de ambos factores que se dan en los cerramientos de edificación, proponiendo un factor corrector capaz de disminuir a la mitad mediante su aplicación, el error existente.

El procedimiento debe poder aplicarse, como para los anteriores aspectos mencionados, de forma diferenciada en cada emplazamiento, atendiendo a las condiciones climatológicas de la localización y de servicio del cerramiento. De esta forma, cualquiera de los aportes que se pretende obtener se ajustarán a las condiciones de

exposición realmente existentes sobre el cerramiento y por lo tanto, se enmarcarán dentro de un enfoque prestacional de la normativa en materia de construcción.

El conjunto de estas tareas se orienta a proporcionar aportaciones relevantes al estado general del conocimiento en el ámbito abordado, pero paralelamente, posibilitan aportar medidas directamente implementables para la mejora del actual marco normativo español actual en materia de protección frente a la humedad.

La amplitud del campo abordado y los resultados obtenidos han de permitir igualmente abrir nuevas líneas de investigación y trabajo que constituirán en el futuro, pautas de acción por parte del Área de Conocimiento de Ingeniería de la Construcción en la Universidad de Zaragoza.

Todo lo anterior configura las líneas fundamentales de trabajo a abordar en esta Tesis Doctoral, de las cuales pueden esquematizarse varios objetivos fundamentales que se exponen a continuación y de los cuales a su vez, se desglosan otros objetivos parciales o secundarios que han sido resueltos en cada uno de los capítulos que conforman este trabajo:

- 1) **Establecer un análisis crítico y comparativo entre las diferentes regulaciones normativas utilizadas en el ámbito de la construcción para garantizar la protección frente a la humedad de los cerramientos verticales en edificios.**
 - 1.1) Obteniendo un conocimiento específico de los conceptos, metodologías y procedimientos relacionados con el campo del conocimiento abordado.
 - 1.2) Caracterizando pormenorizadamente el marco normativo español en materia de protección frente a la humedad, comparándolo con los marcos normativos definidos en otros países.
 - 1.3) Identificando las principales deficiencias existentes en el marco normativo y sintetizando los aspectos fundamentales necesarios para su corrección y mejora.

- 2) **Determinar con precisión la exposición a la humedad existente en los cerramientos verticales de edificación españoles, en base a planteamientos científicos comparables a los de otros países.**
 - 2.1) Analizando pormenorizadamente en base a datos climáticos facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología para una variedad suficientemente representativa de emplazamientos en nuestro país, los parámetros atmosféricos que influyen en la penetración de agua a través de los cerramientos verticales de edificación.

- 2.2) Estableciendo los procedimientos científicos para estimar con precisión la exposición a la humedad en cualquier fachada de cualquier emplazamiento, a partir del análisis previo realizado de los datos climáticos, evaluando para ello la lluvia batiente que se espera incida sobre cada cerramiento vertical.
 - 2.3) Desarrollando alternativas metodológicas para la estimación de la exposición, que mejoren y optimicen la funcionalidad de los procedimientos actualmente existentes e implementados en el ámbito internacional.
 - 2.4) Ofreciendo de forma gráfica y funcional la información obtenida acerca de la exposición a la humedad de los cerramientos de diversos emplazamientos de nuestro país.
- 3) Diseñar un procedimiento de verificación objetivo, exacto e inequívoco para evaluar el grado de prestación frente a la penetración de la humedad en cada cerramiento vertical, en relación a las condiciones de exposición que ha de soportar a lo largo de su vida de servicio.**
- 3.1) Identificando las carencias actuales existentes en los ensayos de estanqueidad utilizados por diferentes ámbitos normativos en todo el mundo para homologar la estanqueidad de los cerramientos.
 - 3.2) Definiendo una metodología que permita determinar con precisión el periodo de retorno con el que se espera se produzca en cualquier condición de servicio, la condición de exposición utilizada durante el ensayo.
 - 3.3) Posibilitando la comparación de los resultados obtenidos mediante diferentes ensayos de estanqueidad, caracterizados por parámetros de exposición diferentes, en referencia a cualquier condición de servicio.
 - 3.4) Estableciendo una homologación internacional de la estanqueidad de cerramientos a partir de los resultados obtenidos por un único ensayo normalizado, independientemente de cuál sea éste.
 - 3.5) Sentando las bases científicas para la creación de una normativa prestacional capaz de determinar, en función de la exposición a la humedad esperada en cada región y situación de servicio, los parámetros que han de ser superados en los ensayos de estanqueidad para homologar un sistema constructivo de cerramiento.
 - 3.6) Desarrollando una herramienta informática que permita desarrollar de forma ágil, funcional y precisa los procedimientos anteriores, automatizando el proceso de cálculo.
- 4) Reducir el error térmico actualmente cometido al determinar la conductividad térmica de los materiales de construcción, al considerar unas condiciones de temperatura y contenidos de humedad, inadecuados y optimistas en el interior de los mismos.**

- 4.1) Evaluando el error cometido en cualquier emplazamiento de nuestro país, al estimar la conductividad térmica de los materiales en relación a los parámetros marcados por el Código Técnico de la Edificación.
- 4.2) Determinando analíticamente una aproximación a la corrección necesaria por la diferente temperatura de diseño realmente existente en los materiales de construcción de los cerramientos, en cualquier emplazamiento español.
- 4.3) Determinando analíticamente una aproximación a la corrección necesaria por el contenido de humedad realmente presente en los materiales de construcción de los cerramientos en cualquier emplazamiento español.
- 4.4) Calculando un único factor corrector a aplicar sobre el valor de conductividad térmica actualmente considerado, que posibilite cálculos y estimaciones térmicas más realistas y de mayor precisión y ahorro energético.
- 4.5) Ofreciendo de forma gráfica y funcional la información obtenida acerca de la corrección necesaria en cada emplazamiento.
- 4.6) Desarrollando una herramienta informática que permita determinar agilizar y automatizar el proceso de cálculo anterior, estimando con mayor precisión la corrección necesaria en cualquier localidad española, considerando para ello diferentes condiciones climáticas externas, condiciones interiores del edificio y configuraciones del cerramiento.

En definitiva, este trabajo representa un aporte útil para mejorar el actual comportamiento de nuestros edificios frente a la humedad atmosférica, proporcionando los procedimientos y análisis científicos centrados en los cerramientos verticales, necesarios para disponer de espacios interiores caracterizados por un menor riesgo de presencia inadecuada de agua, más salubres y más habitables.

Con ello se sientan las bases para incrementar la durabilidad de los cerramientos, optimizar su diseño en base a las solicitaciones derivadas de sus condiciones de servicio y vida útil y mejorar las condiciones higrotérmicas de los mismos bajo cualquier situación.

I.3.- ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

Con el propósito de alcanzar los objetivos marcados, el trabajo doctoral desarrollado comprende una organización estructurada en los siguientes capítulos de estructura auto-contenida:

En el **capítulo II**, se han establecido los conceptos generales básicos relacionados con el campo del conocimiento abordado por este trabajo. Se analiza la importancia de la protección frente a la humedad en la edificación, los síndromes más frecuentes y las principales metodologías aceptadas para estimar la exposición a la humedad a la que debe hacer frente un edificio.

Esta información se complementa con una descripción de los fenómenos y mecanismos relativos al transporte de humedad por el interior de los materiales porosos de construcción, así como con un análisis de las propiedades físicas que caracterizan a los materiales a este respecto.

A continuación en el **capítulo III**, se estudia una relación de los principales mecanismos normativos articulados para garantizar la protección frente a la humedad en las edificaciones, centrándonos en el ámbito normativo español definido por el Código Técnico de la Edificación.

Se presentan los procedimientos utilizados para establecer la solicitud por humedad existe, así como para definir aquellos procedimientos y soluciones que verifican el cumplimiento de la exigencia de protección frente a la humedad, analizando la prestacionalidad efectiva del Código en esta materia. Este análisis y la comparación con otras normativas internacionales, permitirá identificar los ámbitos de mejora necesarios tanto en nuestro marco normativo, como a nivel internacional en el campo de conocimiento.

A lo largo del **capítulo IV**, se establece una metodología aplicable en nuestro país para determinar de modo prestacional la solicitud por humedad a la que se ven sometidos los cerramientos verticales en diversos emplazamientos. Para ello se parte de las metodologías vigentes en un contexto internacional, adaptándolas a las particularidades de los datos climáticos disponibles en nuestro país y facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología.

La metodología planteada se desarrolla ofreciendo información útil para la caracterización normativa de la exposición en España (generando una abundante información técnica y gráfica), articulando nuevos procedimientos de estimación más precisos y funcionales, valiosos en el ámbito internacional, así como detectando puntos de mejora y líneas de trabajo futuras en relación a los procedimientos que actualmente se utilizan en otros países para determinar la exposición a la humedad atmosférica.

En el **capítulo V**, se establece un procedimiento de verificación pionero para evaluar el cumplimiento de las exigencias de protección frente a la humedad en base a un criterio de prestación objetivo y cuantitativo. Utilizando para ello los mismos ensayos que actualmente homologan la estanqueidad de los cerramientos en base a parámetros de exposición aproximados y generalistas, el procedimiento presentado permite evaluar, a

partir de estos ensayos, el periodo de retorno exacto asociado a la máxima exposición a la humedad que el cerramiento será capaz de soportar sin pérdida de su estanqueidad.

Este procedimiento de verificación representa un avance relevante, al permitir evaluar de forma exacta la prestación frente a la humedad de cualquier cerramiento sean cuales sean sus condiciones de servicio, estableciendo de esta forma un mecanismo prestacional para la evaluación de la exigencia.

Paralelamente, permite comparar los resultados obtenidos por diferentes ensayos internacionales de estanqueidad de cerramientos, estableciendo de esta forma por primera vez una homologación universal de soluciones a partir de cualquier ensayo de estanqueidad utilizado. El desarrollo de una herramienta informática que automatiza todos los cálculos a realizar por el procedimiento de verificación, complementa las aportaciones anteriores.

La correlación futura entre las caracterizaciones de exposición a la humedad previamente existentes y las condiciones de exposición a utilizar durante la realización de los ensayos, ha de permitir articular normativas que determinen los parámetros de ensayo a superar en cada emplazamiento o región concreta, para diferentes condiciones de servicio del cerramiento y periodos de retorno definidos por el diseño.

Posteriormente en el **capítulo VI**, se estudia la caracterización de las propiedades higrotérmicas de los cerramientos de edificación adoptada por el Código Técnico de la Edificación. Analizando las condiciones reales medias de temperatura y contenido de humedad en las fachadas de nuestro país, se identifica el actual error derivado de la determinación de la conductividad térmica de los materiales que componen estos elementos de la envolvente en base a los criterios marcados por el Código español.

Partiendo de nuevo de una aproximación prestacional, en cada emplazamiento español se analizan las condiciones higrotérmicas medias a las que el cerramiento se encuentra sometido, determinando factores de corrección de necesaria aplicación para minorar el error detectado. Una herramienta informática desarrollada al respecto, permite estimar estos factores de corrección para cualquier emplazamiento y configuración posible de fachada, optimizando cualquier cálculo térmico posteriormente desarrollado para la edificación.

Finalmente se resumen en el **capítulo VII** las principales conclusiones derivadas de este trabajo doctoral, estructuradas según se trate de aportaciones generales al conocimiento, medidas directamente aplicables a la mejora del marco normativo español actual en materia de protección frente a la humedad o líneas de trabajo futuras abiertas a raíz de la investigación realizada.

A este respecto, al final de cada uno de los capítulos se incluye un apartado dedicado a presentar de forma más desarrollada las principales conclusiones de cada uno ellos, por lo que en el capítulo VII estas conclusiones se presentan de forma esquemática.

En el apartado de **nomenclatura**, se describen las notaciones matemáticas y acrónimos utilizados a lo largo de todos los capítulos que componen este trabajo.

Por último se adjuntan una serie de **anejos**, que presentan contenidos relacionados con los capítulos anteriores a los que complementan en forma de tablas e información gráfica, referidas tanto a los valores de exposición a la penetración humedad en cerramientos identificados en nuestro país, como a la determinación de coeficientes correctores para la adecuada estimación de la conductividad de los materiales utilizados para la ejecución de fachadas en España.

También se aporta información adicional sobre los aportes de investigación obtenidos por medio del presenta trabajo doctoral, entre las que se incluyen cinco artículos enviados a revistas internacionales. Si bien actualmente estos artículos se encuentran en proceso de revisión por pares en diferentes revistas de prestigio, uno de ellos ha sido ya publicado por *Building and Environment*, revista científica del grupo ELSEVIER que cuenta con un factor de impacto de 2.129 y una clasificación Q1 dentro del índice JCR en el ámbito de la Construcción y la Tecnología de la Edificación.

Cada uno de los capítulos de este documento cuenta en su parte final con un apartado destinado a incluir tanto la bibliografía utilizada para la redacción de cada uno de ellos, como para indicar las tablas y figuras elaboradas durante la realización del capítulo.

CAPÍTULO II

HUMEDAD ATMOSFÉRICA EN LA CONSTRUCCIÓN

II.1.- Introducción	II.-2
II.2.- Relevancia de la protección frente a la humedad	II.-6
II.2.1.- Fuentes de humedad y síndromes patológicos	II.-6
II.2.2.- Incidencia estadística de la humedad en edificación	II.-43
II.2.3.- Afecciones indirectas en la envolvente edificatoria	II.-53
II.3.- Caracterización de la sollicitación por humedad atmosférica	II.-81
II.3.1.- Condiciones ambientales exteriores de exposición	II.-86
II.4.- Mecanismos del transporte de humedad en materiales de construcción	II.-112
II.4.1.- Fenómenos asociados al transporte de humedad	II.-117
II.5.- Propiedades higrotérmicas del material de construcción	II.-135
II.6.- Caracterización higroscópica del material de construcción	II.-155
II.7.- Estrategia de trabajo utilizada	II.-171
II.8.- Bibliografía y apéndices	II.-173

II.1.- INTRODUCCIÓN

La humedad se encuentra relacionada, como causa directa o indirecta, con un gran número de lesiones patológicas de ocurrencia habitual en la edificación. Ésta se manifiesta de muy diversas formas para limitar la durabilidad de los elementos constructivos, mediante ataques físicos, químicos y mecánicos.

Estas lesiones se relacionan con procedimientos físico-químicos que se desarrollan en el interior de los elementos constructivos y que tienen como principal escenario, la envolvente exterior del edificio y como principal actor, la presencia de humedad en estado líquido.

En ocasiones, actúa como principal protagonista de los ataques, si bien en otras situaciones, su presencia es utilizada como vehículo catalizador o como soporte para otras agresiones no directamente producidas por la acción del agua.

Es por ello que la prevención de la presencia indebida de agua en la edificación es una medida fundamental para aumentar la durabilidad de las construcciones. Como tal, dicha prevención ha sido regulada por múltiples normativas de construcción, entre ellas y desde 2006 la española, así como analizada por múltiples autores:

“La importancia de la protección frente a la humedad no precisa de una elaborada justificación. Simplemente es necesario destacar que aproximadamente un tercio de las patologías en las construcciones, son derivadas directamente de los problemas de humedad, y que del resto de patologías, otro tercio derivan indirectamente de las mismas causas”. (Linares y Tenorio, 2009).

“Water is the prime cause of deterioration in building materials and constructions and the presence of moisture encourages growth of mould that is injurious to health”. Standard 3.4 Mandatory. Scottish Building Standards.

“By 1997, several fields surveys in north America had indicated that rain penetration in exterior walls and poor construction contributed to the shortening of the service life of recently built exterior walls of low-rise buildings with high exterior moisture loads”. Final Report from task 8 of MEWS Project (T8-03) – Hygrothermal response of exterior wall systems to climate loading: Methodology and interpretation of results for stucco, EIFS, Masonry and siding clad wood-frame walls (Beaulieu et al., 2002).

Son las peculiares condiciones físico-químicas del agua, debido al carácter polar de su molécula, las que la hacen especialmente nociva para las envolventes edificatorias. Su capacidad para disolver gran variedad de sustancias la convierte en el vehículo idóneo para el transporte de sales y otras sustancias en su recorrido a través de la envolvente. Estas sustancias, una vez depositadas, pueden llegar a afectar y alterar químicamente las superficies de los cerramientos o a degradar la estructura interna de los propios materiales porosos.

Este efecto es particularmente acusado en el caso del agua de lluvia, la cual arrastra en su caída partículas contaminantes, sulfuros, sulfatos y anhídridos carbónicos, que son depositados en el interior de los cerramientos humedecidos por la precipitación atmosférica. La acción del viento, en conjunción con la lluvia, potencia este efecto,

erosionando los materiales y provocando una mayor penetración del líquido en el interior de los cerramientos.

También por las singulares características químicas de la molécula de agua, la tensión capilar que se produce tiene una mayor relevancia que en otros líquidos, favoreciendo su rápida penetración en el sistema poroso de los materiales de construcción.

Por todo ello, las especiales condiciones físicas y químicas del agua, favorecen que la naturaleza de las lesiones sobre la edificación sea muy variada, identificándose síndromes físicos, químicos e incluso mecánicos.

De forma somera, se analizarán a lo largo de este capítulo las posibles fuentes que posibilitan la presencia de humedad en los materiales de edificación, así como se analizarán igualmente los más relevantes síndromes patológicos relacionados con su presencia indebida.

Por desgracia, el agua es un elemento ampliamente presente en las construcciones, debido fundamentalmente a las inevitables precipitaciones atmosféricas, provenientes del entorno natural del edificio y que penetran en el cerramiento. Pero también la propia naturaleza de los procesos constructivos utilizados en el sector de la edificación, que requieren un importante volumen de agua en su ejecución, la presencia de agua en el terreno en contacto con elementos estructurales o de cerramiento y la condensación del vapor de agua transportado por el propio aire, pueden ser responsables de múltiples síndromes y afecciones a la envolvente.

A pesar de ello, son las precipitaciones atmosféricas sobre el edificio, por sí mismas o con la ayuda del viento en el caso de cerramientos verticales (lluvia batiente o wind driving rain WDR), las principales responsables de las variaciones de contenido de agua que se producen en los cerramientos sobre rasante de nuestros edificios.

La exposición a esta humedad atmosférica interviene decisivamente como catalizador de otras afecciones a la durabilidad de la envolvente del edificio y es igualmente responsable de infiltraciones de agua a través de fachadas, cubiertas o carpinterías al interior de la envolvente, si existe alguna deficiencia en su impermeabilidad.

Es por ello que la caracterización de las condiciones de sollicitación producidas por la humedad atmosférica es sumamente relevante para establecer estrategias de diseño y construcción que minimicen su afección, aumentando la durabilidad de los materiales de construcción e incrementando la habitabilidad y salubridad de los espacios interiores a los edificios.

No obstante, la humedad atmosférica no solo es responsable de múltiples afecciones directas a la envolvente (apreciables por los daños físicos producidos y por la reducción obvia de las condiciones de habitabilidad y salubridad de los espacios interiores), sino que también es responsable o interviene decisivamente en otras afecciones de índole indirecta, no por ello menos importantes.

Elevados contenidos de humedad en los materiales, aunados a temperaturas elevadas, determinan importantes reducciones en la resistencia térmica de la envolvente edificatoria, incrementando el consumo energético en los edificios, el coste económico asociado y la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

Estas afecciones indirectas, habitualmente soslayadas ante otras más obvias y aparatosas, son igualmente importantes dentro del marco actual establecido por la necesidad de un desarrollo más sostenible y por ello, son igualmente analizadas a lo largo de este capítulo.

En definitiva, las lesiones patológicas y afecciones provocadas por la humedad, no se derivan de un único proceso o fuente concreta (a pesar de que la humedad atmosférica es el parámetro más relevante), sino que varios de ellos suelen estar relacionados o bien se van sucediendo unos a otros aumentando su gravedad como consecuencia del mantenimiento de las condiciones que han originado la problemática. Otras ocasiones, la existencia de síndromes previos no relacionadas directamente con la presencia de humedad, establecen las condiciones idóneas para su penetración y el desarrollo de lesiones relacionadas.

A esta variabilidad, se añade la conjunción de diversos fenómenos físicos, tales como heladas, ataques químicos, desarrollos biológicos... que configuran un amplio abanico de acciones sobre los cerramientos, cuya evolución depende de los procesos físicos implicados y de las características y diseño que el cerramiento presente ante los mismos.

Si bien las causas físicas últimas de todos estos procesos patológicos no pueden ser evitadas, por corresponder a fenómenos atmosféricos intrínsecos a las propias condiciones de contorno de los edificios, sí es posible incidir en las condiciones de la construcción que propician o permiten su desarrollo lesivo.

En muchos de estos síndromes, la utilización de materiales con las adecuadas propiedades físicas y químicas y la correcta disposición y diseño de los diferentes elementos del cerramiento, puede paliar y prevenir en gran medida la incidencia de estas afecciones. No en vano, son la mala calidad de los materiales o su inadecuada disposición, puesta en obra y mantenimiento, los principales responsables de las patologías que se pueden detectar habitualmente en relación a la humedad.

Por todo ello que a lo largo de este capítulo se describen los principales parámetros higrotérmicos e higroscópicos que caracterizan a los materiales de construcción, al tiempo que se profundiza en la compleja interrelación de fenómenos y mecanismos que se conjugan en el transporte de humedad a través de sistema poroso de la envolvente edificatoria.

La comprensión de estos mecanismos de transporte y el análisis de su progresión en el interior de los materiales que configuran la envolvente edificatoria es necesaria para identificar la complejidad inherente a la caracterización matemática de estos procesos, en contraposición a otros procedimientos de transferencia como el térmico, perfectamente caracterizados y parametrizados en la actualidad.

En definitiva, para determinar las propiedades y configuración necesarias en los cerramientos para garantizar una adecuada protección frente a la humedad, es necesario tanto estimar con adecuada precisión las acciones derivadas de la humedad a las que los mismos se van a enfrentar (principalmente humedad atmosférica), como conocer los mecanismos mediante los cuales la humedad afecta a las prestaciones de los cerramientos. Solo así será posible establecer diseños prestaciones, ajustados a las necesidades y razonablemente económicos para los sistemas constructivos utilizados en la envolvente edificatoria.

No en vano, diversos estudios han demostrado que la gestión y rendimiento de las soluciones constructivas frente a la humedad, se ve afectada por tres parámetros fundamentales (Beaulieu, 2002):

- Las condiciones climáticas existentes a ambos lados de la solución constructiva.
- La configuración de las hojas del cerramiento y sus condiciones higrotérmicas e higroscópicas.
- La gestión de la humedad que incide sobre elementos de discontinuidad en la envolvente, tales como ventanas, perforaciones, dinteles... y otros detalles de acabado.

Identificar solicitaciones sobre el cerramiento y predecir con exactitud el comportamiento de los mismos ante dichas solicitaciones, constituye por lo tanto un punto de indudable interés, que se desarrolla íntegra y científicamente a lo largo de los diferentes capítulos que integran este trabajo doctoral.

La justificación de su necesidad de este estudio es por otra parte indudable, en vista de la amplia variedad de afecciones que se relacionan con la humedad y que se describen en este capítulo.

En gran medida, todas ellas podrían paliarse mediante una adecuada caracterización constructiva y un cuidadoso diseño higrotérmico, lo que da pie, como primer paso de dicha tarea, a presentar de forma amplia y general, los parámetros básicos recopilados en este capítulo.

II.2.- RELEVANCIA DE LA PROTECCIÓN FRENTE A LA HUMEDAD

A lo largo de este apartado se identificarán las principales afecciones de la humedad sobre los edificios, analizando tanto las afecciones más directas y obvias, habitualmente resultantes en síndromes patológicos que precisan de un mantenimiento y adecuada subsanación, como las afecciones indirectas, habitualmente relacionadas con la reducción de alguna de las prestaciones de la envolvente y que suelen pasar inadvertidas a los usuarios de los edificios.

Un análisis estadístico de la incidencia de estas primeras afecciones directas, dará cuenta del importante papel que la humedad representa en la mayoría de los procesos patológicos y judiciales que se abren en el ámbito de la construcción. Para ello, diferentes fuentes nacionales e internacionales han sido consultadas. En todas ellas, queda patente la necesidad de mejorar la protección frente a la humedad en los edificios, como medio efectivo para reducir los costes de mantenimiento y mejorar la calidad de las edificaciones actuales.

El apartado se completa igualmente por la valoración de la afección indirecta más relevante ejercida por la humedad y que se relaciona con la disminución de las prestaciones térmicas ofrecidas por los cerramientos. Para ello, se analizará el caso concreto de nuestro país, demostrando la importancia de reducir no solo las afecciones directas, sino de controlar adecuadamente las indirectas.

Se comprobará igualmente a lo largo del presente apartado, como la humedad atmosférica, principalmente en forma de precipitación, juega un papel fundamental para generar o permitir la ocurrencia de estos procesos de afección sobre la envolvente edificatoria.

II.2.1.- FUENTES DE HUMEDAD Y SÍNDROMES PATOLÓGICOS

Los ataques a la durabilidad de los cerramientos más representativos, son aquellos en los que la propia presencia de humedad representa el origen directo de la lesión provocada, sin necesidad de ningún medio adicional. No obstante, la presencia de humedad conlleva con frecuencia el desarrollo simultáneo de acciones nocivas por parte de otros agentes externos involucrados.

La humedad patológica puede definirse como la presencia no deseada de agua en estado líquido, en lugares o periodos de tiempo variables (Broto, 2005). Estas humedades indeseadas son responsables de síndromes muy habituales, como cambios de color, manchas, hongos, disgregaciones de material, erosiones, desprendimientos, deformaciones... pero también son responsables indirectas de lesiones constructivas de mayor gravedad.

En cualquier caso, las humedades patológicas en la edificación rara vez pueden atribuirse a una única causa, siendo frecuente que varias fuentes de agua y condiciones en la construcción, se combinen para dar como resultado una determinada lesión patológica. Puede sin embargo establecerse que aquellos síndromes que se presentan en similares elementos constructivos, son frecuentemente atribuibles a una misma patología. Según el elemento constructivo analizado, la naturaleza y gravedad de las lesiones identificadas, se verá también modificada.

Mayoritariamente, todas las disposiciones normativas en el ámbito de la construcción, tanto en el ámbito nacional como internacional, coinciden al agrupar las afecciones de la humedad sobre la edificación en dos grandes grupos:

- Generadas por la acción de la condensación.
- Generadas por la acción de la penetración de agua.

La misma disposición de adoptará en el presente trabajo, que se centra fundamentalmente en aspectos relacionados con el segundo grupo, cuya prevención normativa se realiza en la actualidad de forma menos prestacional y rigurosa en cualquier normativa internacional.

Ambas afecciones se encuentran claramente relacionadas con la humedad atmosférica si se analizan las partes del edificio situadas sobre la rasante del terreno. Esta fuente de humedad atmosférica aporta una cantidad variable de humedad sobre los materiales de construcción, dependiendo del clima, estación del año, régimen de eólica y de precipitaciones, proximidad a grandes superficies de agua...

Esta continua variación dependiente de la climatología atmosférica hace que se establezca un constante equilibrio higrotérmico en los materiales que componen la envolvente del edificio, que puede provocar la saturación de los medios porosos de los materiales en condiciones de lluvia y nevada o su secado y evaporación en días cálidos y soleados.

Condiciones extremas de temperatura y humedad relativa serán las principales responsables de afecciones generadas con la acción de la condensación, mientras que aportes de agua de lluvia significativos, se traducirán en un mayor riesgo de penetración de agua al interior de las edificaciones.

El primero de los grupos, derivado de la condensación de agua, se caracteriza por la transferencia de humedad en estado gaseoso, que puede pasar a estado líquido al darse determinadas condiciones térmicas en el interior del cerramiento o en la superficie interior del mismo, provocando los síndromes por condensación.

El comportamiento térmico del cerramiento es de gran relevancia en este mecanismo patológico, así como las condiciones atmosféricas internas y externas de humedad relativa y temperatura. La mayoría de las normativas abordan su prevención mediante el control de la transmitancia térmica del cerramiento según las condiciones internas del recinto, disponiendo barreras al paso del vapor en el caso de que se prevean posibles condensaciones.

Para analizar la transmisión de vapor han sido desarrollados diferentes métodos de verificación y simplificaciones analíticas, que permiten prever con precisión aceptable la ocurrencia de condensaciones de vapor de agua.

El segundo de los grupos, se caracteriza por la presencia de transferencia de humedad en estado líquido, desde la fuente de la humedad (generalmente exterior, provocada por la precipitación atmosférica) hasta elementos sensibles de la edificación como espacios interiores, acabados y revestimientos.

Los materiales empleados en la ejecución de los cerramientos, su puesta en obra y detalle constructivo y su posterior mantenimiento son los principales factores que

actúan sobre la posibilidad de penetración de agua en estado líquido. Con grandes diferencias entre unas y otras, todas las normativas abordan su prevención mediante la prescripción de utilizar soluciones constructivas más o menos elaboradas para impedir el paso de humedad, basadas en las tradiciones constructivas locales sancionadas por la práctica.

Estas soluciones constructivas de carácter prescriptivo, se complementan a su vez con recomendaciones y prescripciones que inciden en la ejecución de puntos sensibles de la envolvente, como huecos de carpinterías, encuentros en cubiertas, arranques de fachada...

Si se analizan las fuentes de la humedad relacionadas con la aparición de problemas en la edificación, es posible identificar claramente los dos grandes grupos de afecciones descritas con anterioridad.

Tabla II.1.- Porcentaje de aparición de las humedades según su tipo. Fuente: Broto 2005.

TIPO DE NATURALEZA DE LA AFECCIÓN	%
Humedades de condensación	44
Humedades de penetración (ascensión capilar y filtraciones)	52
Humedades accidentales	4

De la anterior tabla se observa como ambos grupos, condicionados en gran medida por las condiciones atmosféricas, representan el 96 % de las afecciones que se manifiestan de diferentes formas en la envolvente edificatoria. Otras fuentes de afección, como las accidentales, provocadas por usos indebidos de las instalaciones del edificio o por roturas no previsibles en las conducciones de agua, apenas son representativas.

Independientemente de la relación directa con el origen último de la humedad (habitualmente como se ha dicho, atmosférica), a continuación se describen de forma somera las principales fuentes de procedencia de la humedad en el edificio, mencionando los procesos patológicos que pueden provocar en los materiales que componen la envolvente, así como con una breve enumeración de algunas medidas paliativas más habituales para neutralizar la fuente de humedad.

Humedades de construcción

A pesar de que hoy en día la utilización de elementos prefabricados va cobrando una mayor importancia relativa, sigue siendo predominante la utilización de sistemas constructivos que precisan de un elevado aporte de agua para su colocación y puesta en funcionamiento.

La presencia de una elevada cantidad de agua en los materiales utilizados y ensamblados en la obra como consecuencia de su conformación "in situ", es causa frecuente de lesiones si no se permite su evaporación adecuada y la misma queda retenida en el interior de los elementos constructivos. El origen de esta humedad se debe a diversos factores:

- La presencia de agua de precipitaciones atmosféricas caídas durante la construcción de la obra, con anterioridad a la cubrición de la misma e impermeabilización de las cubiertas, que queda almacenada en el interior de los materiales empapados.
- El agua utilizada para la elaboración y acabado de numerosos elementos y materiales utilizados en la obra, como cementos y hormigones, los cuales precisan de un periodo para su secado paralelo al necesario para el endurecimiento definitivo del material y que puede no respetarse por la premura de los plazos de ejecución adquiridos.
- El agua contenida en los propios materiales utilizados para el ensamblaje de la construcción, bien en su superficie, bien contenida en el interior de su matriz porosa.

Aunque un cierto grado de humedad en la construcción es no solo inevitable, sino recomendable, en algunos materiales un elevado contenido es responsable de gran cantidad de síndromes relacionados frecuentemente con los primeros meses y años del edificio. Así por ejemplo la madera precisa un cierto contenido de humedad (10-20%), para su adecuado funcionamiento y mantenimiento en la edificación. Otros materiales, como cementos y hormigones, precisan de grandes aportes de agua para su adecuado fraguado y retienen relevantes cantidades de la misma dentro de su estructura interior una vez conformados.

Para evitar la retención de esta humedad excesiva en el interior de los materiales, es necesario permitir la lenta evaporación y ajuste de la humedad de la obra a las condiciones de trabajo de los materiales (humedad de equilibrio). Para ello no debe interrumpirse dicha transferencia por la colocación prematura de acabados y terminaciones en cerramientos y coberturas, ya que de lo contrario, se producirán síndromes relacionados con la humedad en distintos grados de severidad.

Algunos de estos síndromes son meramente estéticos, pero otros pueden alterar el correcto funcionamiento higrotérmico de la envolvente, derivando en lesiones más severas. Así, en cubiertas planas es frecuente la pérdida de adherencia de las membranas de impermeabilización y la formación de bolsas bajo la superficie de las mismas, al evaporarse la humedad interna de los materiales y no encontrar ésta posibilidad de salir al exterior por la presencia de la lámina.

También en cubiertas, cuando la humedad se dirige hacia la planta inferior o simplemente se mantiene en contacto con los componentes de la cubierta, es responsable de manchas y coloraciones en la parte inferior de los forjados y de la progresiva degradación de los aislamientos térmicos colocados, con la consiguiente disminución del rendimiento térmico previsto.

En fachadas y otros paramentos verticales, la aparición de hongos derivados de la exudación de las paredes, con las coloraciones y olores asociados a los mismos, la deposición de sales solubles en las superficies exteriores (eflorescencias), arrastradas por el agua en su salida del interior del material o el despegue de las pinturas y yesos utilizados en acabados, son consecuencias frecuentes de la interrupción prematura del proceso de secado de la obra.

Especialmente grave es la variación de humedad en hormigones y morteros de cementos, en los que un secado excesivamente rápido o lento puede afectar igualmente las propiedades resistentes del producto final, impidiéndole alcanzar las prestaciones inicialmente previstas.

La variación dimensional producida por el secado diferencial de la obra, con dilataciones y deformaciones no admisibles por los elementos de acabado prematuramente colocados, generan por la misma causa, el desprendimiento de aplacados, fisuraciones y abombamientos en revestimientos de madera, especialmente en suelos.

La configuración actual del sector de la construcción, no contribuye a la disminución de los niveles de humedad en la obra. La construcción in situ mediante juntas húmedas que precisan el aporte de grandes cantidades de agua, continua hoy en día siendo la forma predominante de trabajo frente al ensamblaje industrializado en seco. El rápido ritmo de construcción, que se opone frontalmente al lento proceso de secado de la obra, contribuye a que el agua aportada durante la ejecución no sea adecuadamente eliminada del interior de la obra antes de su entrada en servicio.

Las precauciones relativas al almacenamiento de los materiales de construcción fuera del alcance de las precipitaciones atmosféricas, el adecuado secado de la obra con anterioridad a la colocación de revestimientos y la rápida cobertura de la misma e impermeabilización de sus cubiertas, pueden en gran medida, minimizar los problemas derivados de esta fuente de humedad. El uso de materiales de escasa porosidad y de espesor reducido, que permita la rápida evaporación del agua contenida, también contribuye a este efecto paliativo.

Humedades de condensación

Un importante grupo de síndromes de construcción relacionados con la aparición de humedad líquida tiene como origen la condensación de agua en puntos inadecuados de la envolvente. Este proceso de condensación se produce cuando el aire atmosférico, con una humedad relativa determinada, es enfriado hasta que la humedad que contiene alcanza el punto de saturación, transformándose el vapor en líquido.

Una transmisión de vapor excesiva a través de los cerramientos, bajo condiciones térmicas propicias, puede dar lugar a la condensación en agua líquida en el interior del cerramiento o en su superficie, sin necesidad de una transmisión directa de agua líquida desde el exterior.

En nuestra climatología este hecho se produce generalmente cuando el aire húmedo procedente del interior del edificio (más caliente), se pone en contacto con superficies frías del cerramiento, como pueden ser vidrios, fachadas con deficiente asilamiento o puentes térmicos. Es en estos puntos con una reducción brusca de la temperatura, donde la humedad sobrante del aire es depositada hasta formar gotas de agua líquida en la superficie de los elementos constructivos.

Con toda lógica, este fenómeno es más acusado en periodos fríos cuando el cerramiento desciende su temperatura y en aquellas construcciones con deficientes aislamientos y frecuentes puentes térmicos. Esta sintomatología ha tenido gran repercusión en el sector de la construcción en décadas pasadas por la mala calidad de múltiples construcciones. En la actualidad, el desarrollo de normativas energéticas más restrictivas y pormenorizadas como el CTE DB-HE1 (España, 2006), buscan paliar las deficiencias en el aislamiento térmico de la envolvente de los edificios, minorando indirectamente la incidencia de este problema.

Este tipo de síndromes se manifiestan superficialmente mediante manchas localizadas en zonas de mala ventilación (esquinas), donde la humedad permanece durante largos periodos sin aireación. Se deduce por lo tanto que la ventilación y renovación de aire interior es otro factor relevante para la aparición de estos síndromes (Gavira y Linares, 2005). Así, este tipo de fuente de humedad es responsable de la mayoría de los síndromes relacionados con coloraciones y ataques químicos, bien en los acabados interiores del cerramiento, en sus superficies intermedias o dentro de la propia estructura del material poroso.

La falta de una adecuada renovación del aire interior y el incremento paulatino de la humedad relativa más allá de límites habituales, no solo incrementa la incidencia de las condensaciones, sino que favorece la proliferación de colonias biológicas en los cerramientos. Así, como consecuencia de este exceso de humedad en el cerramiento y unas condiciones interiores húmedas y cálidas, es frecuente la proliferación de mohos, hongos, bacterias y microorganismos, que pueden afectar a las condiciones de habitabilidad de la vivienda y que coloran el cerramiento, generando olores, alergias y otras afecciones para la salud de las personas.

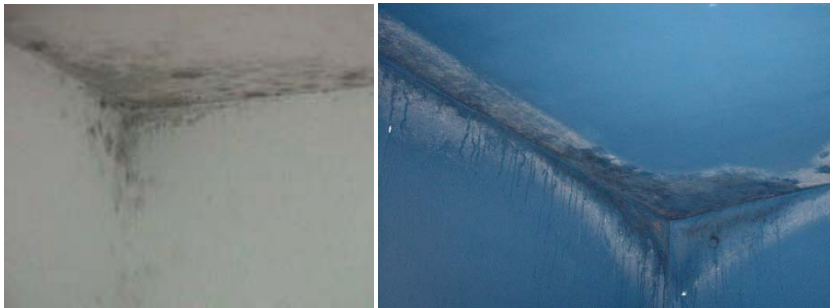


Figura II.1.- Aparición de condensaciones en aristas de las estancias por efecto de condiciones higrotérmicas inadecuadas en el cerramiento y deficiente ventilación interior.

Este tipo de humedades por condensación no solo se producen en las superficies interiores de los cerramientos y también puede darse en superficies intersticiales de los propios cerramientos o incluso en el interior de la matriz porosa de los materiales, generando efectos similares y precisando soluciones al síndrome mucho más complejas y difíciles.

Estas condensaciones intersticiales, frecuentemente localizadas en el interior de la cámara de aire del cerramiento, se producen cuando el aire interior cargado de vapor, entra en contacto con las hojas externas del cerramiento, que se encuentran a una temperatura casi similar a la existente en el exterior de la edificación (muy fría en invierno).

Cuando los procesos de condensación intersticial son especialmente acusados, pueden derivar en el escurrimiento de agua líquida sobre la superficie de condensación (generalmente esta cámara de aire), dando lugar a la aparición de síndromes de humedad alejados, sobre los frentes de forjado, dinteles u otros elementos que interrumpen dicha cámara.

La solución más extendida para estas problemáticas consiste en impedir el paso de vapor contenido en el aire hacia el exterior, colocando barreras de vapor en la parte

caliente del cerramiento que impidan este movimiento y por lo tanto, la presencia de una elevada concentración de vapor en contacto con superficies frías del cerramiento, donde puede producirse la condensación.

Si bien estas barreras no impiden totalmente el paso del vapor hacia la parte externa del cerramiento, sí retrasan y disminuyen su flujo, por lo que con su denominación más exacta sería la de retardadores de vapor. Por otra parte, la inexistencia de solapes, la presencia de encuentros mal sellados o roturas en la barrera, con frecuencia permite difusiones de vapor mucho mayores que las inicialmente previstas. Únicamente la utilización de láminas impermeabilizantes adecuadamente dispuestas, selladas y solapadas o la aplicación de productos bituminosos adheridos o similares, constituyen una barrera efectiva frente a la difusión de vapor.

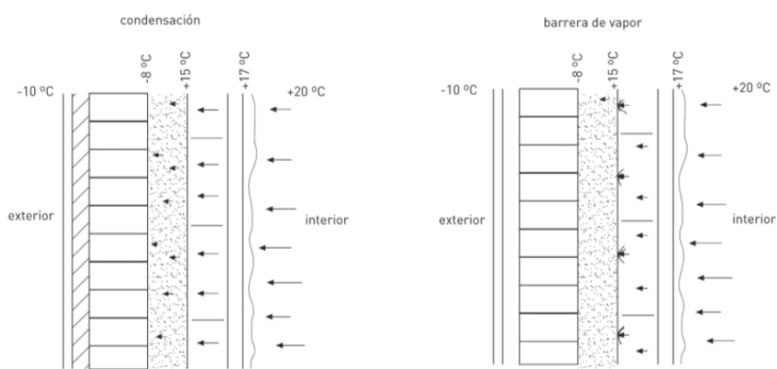


Figura II.2.- Efecto de la inserción de una barrera de vapor en el interior de un muro, para evitar la condensación intersticial. Fuente: Broto, 2005.

Este tipo de protecciones, será tanto más valiosa de disponerse en los espacios interiores en los que la producción de vapor es elevada, como aseos y cocinas. También la propia presencia humana genera vapor mediante el sudor y la exhalación, pero sobre todo la cocción de los alimentos, secado de ropa, utilización de agua caliente en aseos y baños... son las causas más frecuentes de una elevada concentración de vapor en el ambiente interior.

El adecuado revestimiento de estos cuartos húmedos (mediante alicatados) para evitar la degradación de las superficies internas en contacto con la humedad y su adecuada ventilación, para eliminar el exceso de humedad en el aire interior (véase CTE DB-HS3) (Gavira y Linares, 2005), son medidas paliativas muy efectivas para prevenir este tipo de lesiones y síndromes. Especialmente la renovación del aire interior, sustituyéndolo por aire de aporte desde el exterior con una menor concentración de vapor, anula técnicamente si es caudal de renovación es suficiente, la aparición de este síndrome.

No obstante, la utilización residencias progresivamente más pequeñas, en los que por el contrario las actividades generadoras de humedad se mantienen intactas o incrementan con varios baños, derivan en una mayor concentración de humedad en el aire interior, frente a viviendas con una superficie mayor, donde el vapor producido puede repartirse proporcionalmente en un mayor volumen de aire (menor saturación), antes de incidir sobre la envolvente.

Humedades accidentales

Se consideran humedades accidentales aquellas que se producen como consecuencia de accidentes, fallos o roturas de las instalaciones de los edificios y también a los descuidos humanos en los cuartos húmedos de la edificación. A pesar de ser comparativamente, la causa menos relevante en cuanto a las que tienen relación con la humedad, sus consecuencias a diferencia de otras causas, suelen producirse de forma repentina, localizada y acusada, dado que los puntos donde se producen no se encuentran adecuadamente protegidos.

En ocasiones no se precisa de un fallo en la estabilidad de la construcción, para que se produzca este síntoma. Un mal aislamiento térmico de las mismas, como en el caso de instalaciones de fontanería, puede producir episodios de condensación o congelación, similares a los presentados en el apartado de condensaciones.

De producirse, las roturas en las instalaciones pueden generar lesiones potencialmente graves, como las producidas por el colapso de suelos inundados por aguas pertenecientes a redes de abastecimiento o saneamiento del entorno del edificio. También es frecuente la aparición de humedades severas en techos y suelos, como consecuencia de la rotura de conducciones particulares en las viviendas, así como una más progresiva aparición de humedad por el uso de una cantidad excesiva de agua para el fregado de los pavimentos.

Corrosiones y manchas en falsos techos, deterioro de pavimentos, corrosión de elementos metálicos, desprendimientos y desconchamientos y pérdida de adherencia en revestimientos, son las consecuencias más frecuente de las roturas y mal funcionamiento de las instalaciones de transporte de aguas en el edificio. El uso de conducciones perfectamente ensambladas, la accesibilidad para el mantenimiento de las mismas y la utilización de materiales de calidad y compatibles entre sí, constituyen las principales medidas de precaución en contra de estos efectos negativos en la edificación.



Figura II.3.- Afección patológica en enlucido de yeso pintado en falso techo, como consecuencia de la rotura de una conducción de evacuación de aguas.

Humedades por ascensión capilar

Otro importante número de las lesiones provocadas por la humedad en el edificio se deben a la infiltración indebida de agua desde el exterior. Estas humedades, procedentes habitualmente del terreno en contacto con el edificio, se producen por el

transporte de humedad a través de procesos de capilaridad atravesando la estructura porosa de los materiales de construcción utilizados en la ejecución de la envolvente.

La existencia de agua en el subsuelo, como consecuencia de un nivel freático en contacto con elementos del edificio o por el estado húmedo del terreno tras precipitaciones atmosféricas, permite la ascensión por capilaridad de la humedad a través de los elementos estructurales enterrados, manifestándose en forma de manchas de humedad por encima de la rasante.



Figura II.4.- Manchas y desprendimientos de revestimientos ocasionados por la ascensión capilar de humedad contenida en el terreno a través de los materiales de la envolvente.

La presión hidrostática en el terreno, condiciona la fuerza de penetración del agua en los elementos constructivos y su altura de ascensión. Del mismo modo, la porosidad de los materiales utilizados en la construcción, influye decisivamente en la permeabilidad al paso de agua a través de la matriz porosa hacia el interior.

Habitualmente, la altura que la humedad de cimentación (*tidemark*) es capaz de alcanzar sobre la rasante, depende tanto de las condiciones internas de la matriz porosa, como de las condiciones de diseño del propio elemento. Así, en dicha altura se produce un equilibrio en el que la cantidad de agua capaz de ascender por capilaridad a través de la matriz porosa, es igual a la que se evapora por encima de la rasante en contacto con el ambiente exterior.

En condiciones ideales de ausencia de evaporación, la altura máxima que el fluido podrá alcanzar dentro de los capilares del material, solo se vería limitada por la acción de la gravedad, siendo la altura alcanzada mayor cuanto menor sea el tamaño del poro. No obstante, al reducirse el tamaño de poro también se reduce la velocidad de ascensión del agua, llegando a un punto en el cual la ascensión es tan lenta que se considera inexistente.

A mayor grosor del elemento constructivo, menor radiación solar se recibirá sobre la humedad contenida en el cerramiento, menor temperatura ambiental y menor ventilación actuará y mayor será la altura que este tipo de síndromes podrá alcanzar antes de alcanzar el equilibrio evaporativo. Por debajo de las manchas de humedad que indican

este nivel, los elementos constructivos actúan como medio continuo para el mecanismo de transporte de humedad desde el subsuelo hasta el aire exterior.

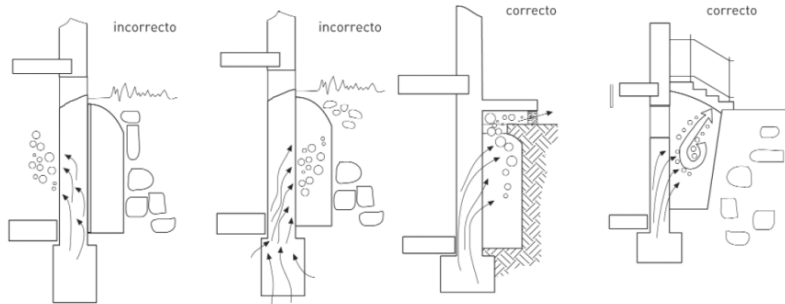


Figura II.5.- Soluciones correctas e incorrectas para facilitar la evaporación de la humedad ascendente de un muro de sótano: Broto, 2005.

Las manchas de humedad se producen como consecuencia del depósito prolongado en la superficie del cerramiento, donde el agua se evapora o es exudada, de sales transportadas por el agua. Estas sales solubles, orgánicas e inorgánicas, quedan adheridas a la capa porosa más externa del material, alterando su coloración original, generando oscurecimientos e incluso de material en los recubrimientos y pudiendo afectar a la adherencia química de los mismos.

Estas eflorescencias superficiales, pueden producirse también en el interior del material poroso, cuando se dan condiciones para la evaporación del agua sin necesidad de que ésta llegue a la superficie del cerramiento. En estos casos las sales quedan depositadas en el interior de los poros, produciendo criptoflorescencias, que pueden afectar igualmente la estabilidad química del material y pueden alterar las condiciones del medio poroso, generando tensiones internas y disgregación del material.

Resulta obvio afirmar que aquellos materiales con un sistema poroso accesible y abierto, buena ventilación y sometidos a alta radiación solar, son particularmente susceptibles de ser afectados por estos síndromes, al presentar un recorrido franco para la ascensión de la humedad desde el terreno por capilaridad y posibilitar una evaporación no superficial.

La utilización de cerramientos y revestimientos exteriores poco porosos, es por lo tanto la mejor medida preventiva para evitar la aparición de humedades en fachadas. La impermeabilización de los elementos estructurales en contacto con el terreno, el uso de forjados sanitarios adecuadamente ventilados y cerramientos en contacto con el terreno no excesivamente sobredimensionados, contribuye igualmente a evitar y la ascensión capilar de humedad a través de los materiales o en su defecto, a que esta ascensión se reduzca en la medida de lo posible.

El drenaje del propio terreno en contacto con el elemento constructivo, mediante geo-compuestos, materiales drenantes, drenes para recogida de agua insertos en el terreno o la propia protección superficial del entorno de la edificación aumentando las aguas de escorrentía, puede igualmente paliar esta afección, si bien no evitarla completamente.

Humedades de filtración

Un segundo procedimiento para la penetración directa de agua no se debe al aporte de agua proveniente del terreno, sino al derivado de la acción de las precipitaciones atmosféricas sobre los elementos constructivos. Estas precipitaciones, como en el caso anterior, pueden derivar en infiltraciones indebidas de agua desde el exterior, a través de los elementos que conforman la envolvente. Para ello, la penetración puede producirse a través de los capilares de los materiales de construcción, de forma similar al mecanismo anterior (ascensión por capilaridad).

Si bien las precipitaciones atmosféricas pueden producirse tanto en forma de lluvia, como de nieve o granizo, solo en estado líquido, el agua puede desplazarse a través de la matriz porosa de los materiales. La acción conjunta del viento simultáneo a las precipitaciones (lluvia batiente), resulta especialmente perjudicial, favoreciendo la penetración del agua en el poro y con ello una mayor incidencia de la filtración, dando lugar a síndromes tanto más severos, cuando mayores son las fisuras y aberturas presentes en los materiales de la envolvente y más severas son las condiciones pluviométricas y eólicas. A menor tamaño de dichas aberturas o tamaño de poro en el material, menor será la influencia de la lluvia y el viento.

A pesar de lo que pudiera parecer, las consecuencias de estas humedades pueden aparecer de forma diferida en el tiempo y en localizaciones no necesariamente cercanas a los puntos en los que se produce la filtración de agua en el cerramiento. Especialmente en nuestro país, donde el uso de cerramientos con cámara de aire no ventilada se encuentra muy extendido, es habitual la filtración de agua exterior hasta dicha cámara, para luego discurrir hacia la parte inferior de la misma.

En caso de no disponer en la cámara los preceptivos mecanismos de aireación y/o drenaje, el agua encontrará en su discurrir obstáculos que propiciarán su retención y posterior migración por capilaridad de nuevo a otros elementos, pudiendo aparecer humedades en puntos de la edificación diferentes de la fachada, tal y como pasaba con las humedades de condensación. Dinteles, frentes de forjado o alfeizares aparecen como zonas habitualmente húmedas del cerramiento vertical, aun cuando la penetración de la humedad se esté produciendo en otras zonas de la fachada.

La existencia de grietas, fisuras, defectos en la cobertura de los tejados o en la disposición de láminas impermeables en las cubiertas planas, virios rotos o carpinterías no estancas, no viene sino a contribuir a la entrada de agua en la edificación, con vías mucho más directas que la derivada de la capilaridad a través del medio poroso del material.

Esta fuente de humedad, es la responsable fundamental de síndromes frecuentes como las eflorescencias, pero también de otros más graves, como corrosión o pudrición de revestimientos, vigas metálicas o de madera. Así por ejemplo, se recomienda no superar humedades relativas superior al 60% sobre la superficie de los cerramiento durante varios días, por el peligro inherente al posible desarrollo de corrosiones en los elementos metálicos que pudieran existir (AENOR, 2002a).

Por su parte, la lenta erosión y disgregación química de los morteros en las fábricas externas, contribuye a su envejecimiento prematuro, lo que redundará en una mayor porosidad de los mismos, con el consiguiente incremento de estos problemas.

Lógicamente, todos estos problemas se relacionan directamente, con la climatología atmosférica asociada al emplazamiento del edificio, siendo más acusadas cuanto mayor es la cantidad de agua recibida sobre los materiales no protegidos.

Los cerramientos verticales del edificio (fachadas y medianerías), a diferencia de las cubiertas, no se hayan habitualmente provistas de láminas impermeables dispuestas para impedir el paso de la humedad.

Es por ello, que la cantidad de agua batiente recibida por los cerramientos verticales del edificio, influye decisivamente en la ocurrencia de estos efectos de infiltración y en la amplia variedad de síntomas que le son asociados. La determinación de esta sollicitación por agua atmosférica sobre los cerramientos verticales, ligada al la climatología de cada emplazamiento, constituye por lo tanto un aspecto de gran interés para definir diseños y soluciones constructivas adecuadas a cada emplazamiento.

Esta dependencia de las condiciones atmosféricas externas habituales, constituye una característica diferenciadora respecto al resto de fuentes de humedad analizadas, en las que la sollicitación depende de otros factores (térmicos, de ventilación y humedad interior para condensaciones; humanos y de mantenimiento para humedades accidentales; constructivos para las humedades de obra; asociados a la presencia de agua en el terreno...).

Debido a esta dependencia, es posible establecer una correlación entre la sollicitación establecida para un determinado emplazamiento y el diseño y sección constructiva más adecuada para evitar estos problemas de infiltración. Para ello, el primer paso debe ser caracterizar de forma precisa dicha sollicitación. Esta tarea se aborda con mayor detalle en el capítulo IV de este trabajo, aunque en el apartado II.3 se analizan las bases vigentes actualmente para su análisis.

Posteriormente, se hace necesario identificar el comportamiento de diferentes posibilidades constructivas ante dichas sollicitaciones, para a partir de dicha sollicitación prevista, proponer metodologías de diseño prestacionales y optimizadas a dichas exigencias. Esta tarea se aborda con mayor detalle en el capítulo V de este trabajo.

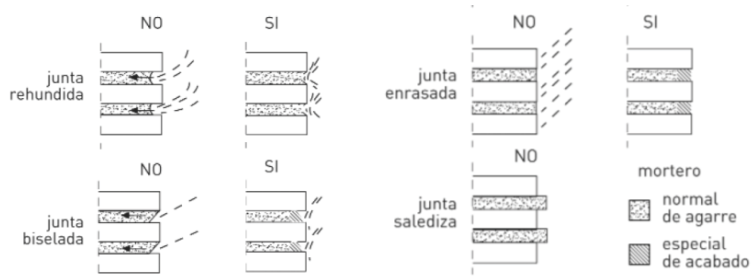


Figura II.6.- Juntas de mortero de agarre en un muro de ladrillo a la vista y su comportamiento frente a la acción de la lluvia: Broto, 2005.

Paralelamente, la utilización de revestimientos exteriores de escasa porosidad, geometrías adecuadas para impedir la acumulación de agua en el cerramiento, disposición de elementos arquitectónicos de protección como aleros, cámaras interiores óptimamente ventiladas o con capacidad de drenaje y el adecuado mantenimiento de los defectos, grietas y fisuras que la envolvente pueda presentar, constituyen medidas generales efectivas para minimizar la filtración de humedad al interior de la construcción.

II.2.1.1.- Síndromes patológicos relacionados con la humedad

De forma similar a la esta variedad de fuentes de la humedad existente en la edificación, existe una amplia caracterización de patologías que pueden desarrollarse a partir de las mismas. Erosiones, deformaciones, fisuraciones y agrietamientos, pérdida de material, desprendimientos, ataques químicos, corrosión, afecciones estéticas o desarrollos biológicos, son solo las lesiones más representativas que pueden derivarse de la acción de la humedad.

A continuación se analizan esquemáticamente aquellos síndromes que surgen en la edificación como consecuencia de la presencia de la humedad. Dada la extensión del campo relacionado con síndromes y patologías en construcción, solo se describirán brevemente los procesos físico-químicos que las hacen posibles, caracterizando su causa última, así como las medidas de minimización y prevención más habituales.

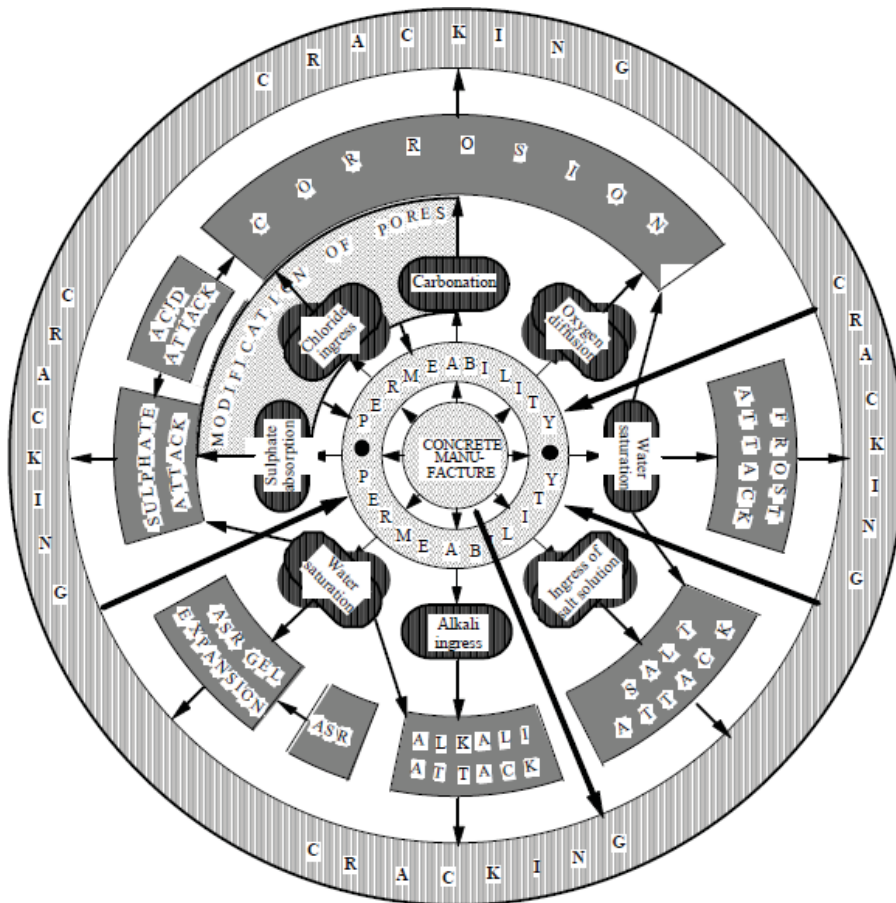


Figura II.7.- Interdependencia de las propiedades de permeabilidad del hormigón y su durabilidad. La manufactura del hormigón se refiere a sus constituyentes, métodos de preparación y tratamientos posteriores. Fuente: Basheer, 1994.

Síndrome erosivo

El agua proveniente de la precipitación juega un papel muy relevante en la progresiva erosión de los materiales en contacto con el exterior, al igual que el viento. Se da lugar así a redondeamientos en las aristas de los materiales, a la lenta disgregación de los materiales porosos y al desconchamiento de acabados.

El impacto de las gotas de lluvia junto con el viento concomitante o granizo sobre la superficie exterior de fachadas y cubiertas, desgasta el material, provocando el arrastre de partículas en las fachadas, desprendidas de los materiales originales. La energía cinética de estos impactos, repetidos a lo largo del tiempo, es suficiente para desgastar el material, produciendo la pérdida de materia. Así, cuando la agresión es frecuente durante largos periodos de tiempo, los revestimientos pueden perder parte de sus características resistentes, dando lugar a fisuras y agrietamientos.

Sobre la rasante este efecto erosivo se ve condicionado también por el crecimiento y desarrollo de vegetación, cuyas raíces penetran a través de grietas, fisuras o juntas entre piezas de revestimiento. Esta penetración proporciona puntos de paso al agua para penetrar en el cerramiento, sirviendo como sustrato para un desarrollo más vigoroso de la planta. Su propio crecimiento, aunado a la mayor presencia de agua bajo el revestimiento, termina por producir tensiones inadmisibles, responsables de desprendimientos y disgregación del material.

A pesar de la predominancia de erosiones externas, éstas pueden producirse también en el interior de la matriz del material, como consecuencia de los procesos de humedecimiento y secado a los que se ve sometido el material. Al penetrar el agua por filtración en los poros del material, éste incrementa su volumen, para reducirlo al evaporarse la misma en un periodo caluroso. La repetición del fenómeno, origina ciclos de tensiones que afectan al material, erosionando y disgregando su estructura interna.

La variación térmica por los ciclos diarios y estacionales generan dilataciones y contracciones sobre los elementos constructivos, tanto mayores, cuando mayor sea su contenido de agua. Debido a ello, se producen movimientos diferenciales en los materiales de diferente naturaleza y en consecuencia, grietas y fisuras con el paso del tiempo, que en ningún caso debe permitirse que afecten a las hojas interiores del cerramiento.

El propio proceso de construcción, suele estar detrás de estas tensiones por humedecimiento-secado, cuando la parte externa del cerramiento se seca con mayor velocidad que la interior, contrayéndose diferencialmente respecto de la primera, sin necesidad de un ciclo externo de precipitación-radiación solar. De ahí, que el proceso de secado de la obra, deba realizarse de forma lenta y progresiva, minimizando de este modo las tensiones generadas y las fisuras consecuentes.

La presencia de agua en el sistema poroso, es especialmente peligrosa en casos de muy bajas temperaturas exteriores, ya que la congelación de la misma conlleva fuertes tensiones sobre las paredes porosas del material, que acaban en disgregación del material por helacidad. Hemos de recordar que el aumento de volumen en la congelación del agua supera el 8%, por lo que las tensiones y erosiones internas sobre el material no son despreciables, llegando a provocar fracturas y desprendimientos en el elemento constructivo.

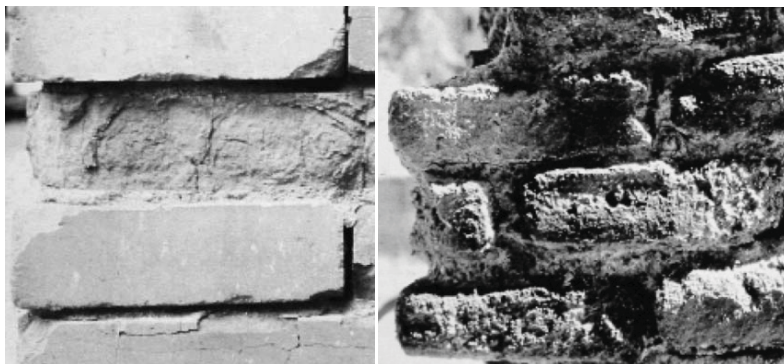


Figura II.8.- Desconchamiento de ladrillos por acción del congelamiento del agua contenida en los poros del material. Fuente: Broto, 2005.

A pesar de todo, es la también acción conjunta de la precipitación con el viento, la principal responsable de estos problemas. El viento no viene sino a intensificar los efectos antes mencionados, incrementando la violencia de las erosiones exteriores y favoreciendo la mayor penetración del agua en el interior del material. El agua dirigida por el viento (lluvia batiente o *wind driven rain*), puede igualmente alcanzar puntos de la envolvente, habitualmente resguardados de la precipitación por elementos arquitectónicos, encontrando nuevos puntos para la filtración.



Figura II.9.- Desprendimiento de revestimiento continuo exterior y erosión de fábrica de adobe como consecuencia de la acción continuada de humedad por precipitaciones atmosféricas.

La presencia del viento, resulta igualmente relevante en los procesos de secado de los cerramientos, más intensos y efectivos en presencia del mismo. Así, el agua puede evaporarse en puntos más internos del material poroso, favoreciendo la aparición de de

otros síndromes como ciptoflorescencias y aumentando la velocidad del secado y magnitud de las tensiones por ciclos de humedecimiento-secado. La radiación solar, juega igualmente, un importante papel en estos procesos erosivos.

Así pues, si bien el agua no es la única protagonista de las erosiones en los cerramientos, su presencia es constante en casi todas las formas de erosión, por lo que la estimación precisa de la cantidad de agua incidente sobre los cerramientos habría de permitir caracterizar eficazmente la magnitud del ataque erosivo sobre los materiales.

Dado que las agresiones atmosféricas sobre fachadas y cubiertas son inevitables, las únicas medidas paliativas para prevenir estas degradaciones consisten en el adecuado mantenimiento y renovación de los revestimientos externos, la utilizaciones de materiales de elevada resistencia y escasa porosidad y la disposición de elementos arquitectónicos que ofrezcan cierta protección frente a la acción directa de la precipitación, como aleros y cornisas.

Síndrome estético

La humedad atmosférica, sirve igualmente como medio transporte para la deposición de un gran número de partículas presentes en ambiente, que al fijarse al cerramiento, generan afecciones estéticas sobre el mismo y pueden dar lugar a reacciones químicas no deseadas con los materiales de construcción.

La suciedad en un cerramiento, se define como la acumulación sobre su superficie de partículas contenidas en el aire exterior, dando lugar a la percepción visual de contraste cromático. No obstante, esta acumulación puede producirse igualmente en el interior de los poros de la matriz del material, si el agua participa en este proceso, transportando las partículas hacia el interior del mismo.

Dejando a un lado reacciones químicas, el ensuciamiento es el efecto más visible de esa deposición de partículas. La penetración de sales y partículas de contaminación disueltas en el agua, en el interior de la estructura porosa, da como resultado la aparición de manchas y suciedad localizada en los cerramientos, en aquellos puntos en los que discurre habitualmente el agua de precipitación.

Las partículas presentes en el aire con mayor incidencia para los cerramientos, proceden de fuentes artificiales, como el tráfico urbano o la combustión de los sistemas de calefacción. Algunas actividades industriales, pueden igualmente generar un importante volumen de partículas. Monóxido de carbono, hidrocarburos, cenizas, arena, hollín, óxido de nitrógeno, alquitranes, polvo, polen... son las partículas más frecuentes y son además las de mayor poder colorante, generando un color pardo o gris que denota la evidencia del ensuciamiento sobre la fachada. Este síndrome es especialmente virulento en entornos urbanos e industriales, por la concentración y proximidad de las fuentes generadoras de partículas.

Las partículas de menor tamaño necesitarán la presencia de precipitación para poder fijarse a los cerramientos, siendo arrastradas en la caída de las gotas de agua e introduciéndose con gran facilidad con ella en el poro del material. Las partículas más grandes, dado su mayor peso, son depositadas por el viento en las superficies, sin necesidad de la intervención de agua, generando una pátina de suciedad seca.

Una vez transportadas al interior del medio poroso por la acción del agua, éstas forman una capa de suciedad en el interior del material al evaporarse el agua, que

también puede aparecer en la superficie exterior y que aflora ante episodios de lluvia intensa, cuando una lámina de agua se extiende por la fachada.



Figura II.10.- Estado de saturación en la superficie rugosa de un antepecho, provocado por lluvia intensa e impacto de agua de lluvia sobre superficie saturada.

El agua también juega un importante papel limpiador sobre la superficie, cuando se dan las condiciones apropiadas para ello. Así en primera instancia, la precipitación incidente sobre los cerramientos penetra en los poros más superficiales por capilaridad, posibilitando el transporte de suciedad al interior. Pero si la precipitación se mantiene con suficiente intensidad, los poros superficiales alcanzan un estado de saturación, propiciando que gran parte de la humedad se deslice por la superficie, arrastrando las partículas adheridas y limpiando la misma.

Según algunos autores, en este estado de fuerte precipitación, el discurrir de la lámina de agua sobre la superficie del cerramiento, puede generar un efecto Venturi sobre los poros del material, succionando parte del agua superficial contenida y con ello las partículas que transporta (Broto, 2005). A mayor precipitación y velocidad de la lámina superficial, mayor será el lavado y limpieza de la superficie.

No obstante este efecto succionador solo se considera posible a juicio del autor (superando las fuerzas de capilaridad hacia el interior del material), cuando el tamaño del poro o fisura sea sustancialmente grande. A ello se debe la dificultad de limpiar estas superficies aun a pesar de aplicar grandes cantidades de agua sobre su superficie, puesto que ésta de no aplicarse a presión, es incapaz de arrastrar hacia el exterior la suciedad interna del poro.

Aquellas zonas del cerramiento protegidas de la precipitación o en las que el discurrir de la lámina es interrumpido por elementos constructivos, la magnitud del lavado es deficiente. Se da así lugar a zonas con lavado diferencial en la fachada, que muestran áreas de ensuciamiento mucho más acusado que el resto. Los problemas de este tipo son claramente identificables bajo alfeizares, dinteles, vierteaguas, antepechos, cornisas, molduras, albardillas... en las construcciones de cualquier de nuestras ciudades.

La aparición de zonas de lavado diferencial o escurriduras, se produce al ser arrastradas las partículas acumuladas en una superficie singular de la fachada, sobre el plano vertical. Si la velocidad de la lámina de agua al caer no es muy elevada o la precipitación no es intensa, las partículas penetran en el poro del material provocando el ensuciamiento de la fachada. En zonas libres de obstáculos o con gran incidencia de viento, la velocidad de la lámina de agua es más elevada, lo que impide esta deposición arrastrando la suciedad superficial previamente existente.



Figura II.11.- Lavado diferencial o “churretones” en fachada, como consecuencia del escurrimiento a baja velocidad de agua y carencia de goterón, desde una terraza superior.

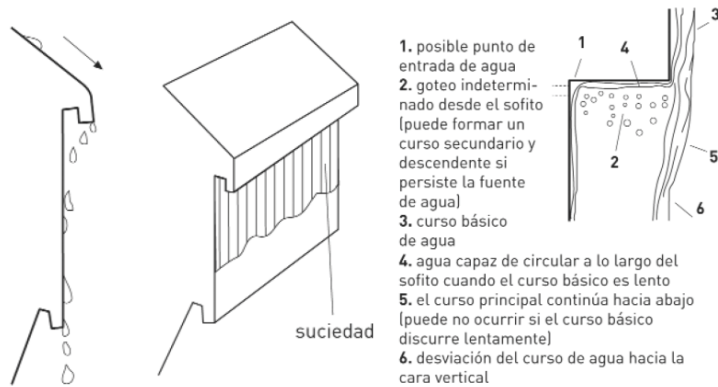


Figura II.12.- Análisis del escurrimiento de agua a lo largo de un paramento vertical exterior.
Fuente: Broto, 2005.

El viento, al igual que el agua, juega un importante papel de limpieza y ensuciamiento sobre las paredes, siendo el principal responsable del transporte de las partículas hasta las edificaciones, favoreciendo también el efecto limpiador de la lámina de agua, incrementando su velocidad y energía cinética en caso de precipitación.

También en la superficie exterior de las fachadas puede darse similar fenómeno de ensuciamiento si se produce condensación de agua líquida sobre el material (rocío). No obstante, el agua de condensación rara vez permite generar una lámina de agua líquida continua sobre el material, por lo que su poder de limpieza es considerado nulo, aportando únicamente un efecto ensuciante sobre la fachada. Este efecto se considera relevante en periodos con una humedad relativa superior al 65%, que pueden dar lugar a condensaciones puntuales en caso de bajas temperaturas (Broto, 2005).

Dado que gran parte de la humedad se concentra en los poros superficiales del material, cuanto menos poroso sea el material de revestimiento, menor será el ensuciamiento y más rápidamente y con menor cantidad de precipitación se saturarán los poros superficiales dando lugar a la lámina de agua limpiante. Si por el contrario el

material es muy poroso, gran parte de la suciedad se introducirá en el material, siendo además necesario un importante caudal de precipitación para que se sature el material y la escorrentía limpiante se forme.

La geometría de estos poros superficiales, la rugosidad y textura superficial del revestimiento y la existencia de relieves y singularidades en la fachada, serán también parámetros relevantes en el ensuciamiento, al favorecer el depósito de partículas y alterar el recorrido del flujo limpiador de precipitación. La inclinación del cerramiento y su altura (exposición directa al lavado por lluvia), influyen igualmente en el grado de ensuciamiento de las fachadas.

Síndrome por deformación

Son también recurrentes los problemas de deformaciones, agrietamientos y abombamientos en materiales de revestimiento a consecuencia de dilataciones y contracciones más acusadas que la de los elementos sobre los que se fijan.

La colocación a tope de cerramientos de madera tradicionales, con escasa holgura para los movimientos de contracción-dilatación derivados de un incremento de su contenido de agua, hace que éstos se levanten ante un incremento de volumen inesperado o dejen espacios entre los elementos. También son habituales los problemas de fisuración en hormigones y morteros, por su elaboración y curado con una cantidad de agua no idónea o su velocidad de secado inadecuadamente rápida.



Figura II.13.- Deformaciones típicas en parquet en contacto con la humedad, como consecuencia de la deformación por incremento de volumen.

La humedad es también causante de esfuerzos mecánicos en los materiales, que producen deformaciones de los elementos constructivos, grietas y fisuras en su superficie, desprendimientos y desgaste progresivo del material. Éstos efectos se manifiestan con mayor profusión en esquinas, huecos, retranqueos y nichos, donde materiales con diferente rigidez tienen su encuentro o en zonas expuestas de fachada, donde las variaciones de temperatura y de humedad que pueden darse a lo largo del día pueden tener oscilaciones de hasta 40 °C y un 80% de humedad relativa y la disposición constructiva impide la aparición de fisuras y grietas.

Ambos efectos de deformación (térmica y por acción de la humedad), se oponen entre sí, al reducirse progresivamente la cantidad de humedad en los

revestimientos de fachada al aumentar la temperatura (y con ello la radiación solar), sobre la misma. Es necesario destacar que puede estimarse como más acusado el efecto de la humedad, en aquellos casos en que el material posea una elevada capacidad de absorción de humedad.

Cuando la variación en el contenido de humedad de la matriz porosa del material se prolonga a lo largo del tiempo, el material puede adoptar una deformación característica, que afecta estéticamente pero que también induce un elevado estado tensional. Este estado tensional, junto con los desplazamientos no deseados entre materiales de deformabilidad y exposición a la humedad diferentes, redundan en su menor durabilidad y en una menor resistencia de los materiales al paso de agua, favoreciendo las infiltraciones e incrementando la virulencia de síndromes posteriores.

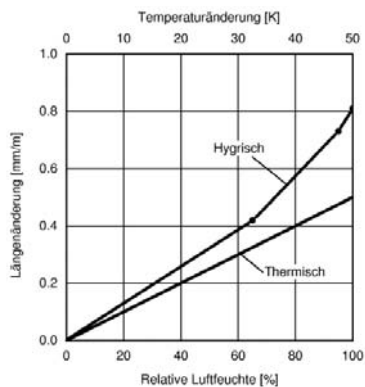


Figura II.14.- Estimación de la deformación debida a la acción de la temperatura y humedad en revestimientos exteriores de fachada. Fuente: Künzel y Tanaka, 2005.



Figura II.15.- Desplazamientos, roturas, abombamientos y colapsos de fábricas sometidas a variaciones de volumen periódicas por humedad. Fuente: Isidro, 2003

Los materiales de fachada, especialmente los cerámicos, son los más expuestos a estas variaciones de humedad, iniciándose incluso desde el momento de conformación, cocción y secado del material. Se estima que en materiales cerámicos de fachada, la humedad ambiental es responsable aproximadamente del 35% de la expansión por humedad que el material sufre a lo largo de su vida útil (0,6 mm/m aprox.) (Isidro, 2003). El tipo de arcilla utilizada, temperatura de cocción o el tiempo transcurrido entre la

fabricación y puesta en obra, son factores igualmente relevantes en la deformación producida durante la vida útil de la fábrica.



Figura II.16.- Graves síndromes en la fachada de un edificio por asentamiento diferencial de la cimentación (izq.) y hundimiento de solera y conducciones de evacuación por el asentamiento de pilar, derivado de la rotura de una conducción de abastecimiento enterrada cercana (der.).



Figura II.17.- Oquedad desarrollada bajo cimentación de planta industrial en suelo kárstico del valle del Ebro. Detalle de cimentación carente de apoyo.

Las deformaciones más graves que la humedad puede generar sobre la edificación se deben al asentamiento de terrenos bajo el sistema de cimentación de la construcción. En dichas condiciones la estructura del edificio puede asentarse diferencialmente, adoptando deformaciones que llegan a ser inasumibles para los elementos constructivos estructurales y de cerramiento.

Las precipitaciones y/o roturas de canalizaciones de suministro o evacuación de agua, pueden, en contacto con terrenos arcillosos o kársticos, experimentar variaciones importantes de su volumen e incluso de su naturaleza compositiva. En ocasiones, como sucede en terrenos yesíferos, el agua puede disolver parte del sustrato resistente, dando lugar a que parte de las cimentaciones queden sin apoyo en el terreno.

El incremento de la presión del terreno sobre muros enterrados, por su mayor contenido de humedad, puede ser igualmente causante de deformaciones en estos elementos, propiciando la aparición de grietas y fisuras en su superficie.

La realización de rigurosos estudios geotécnicos previos a la construcción, la elección de elementos de cimentación adecuados y el control de las aguas de escorrentía, previenen en gran medida estas problemáticas. El control de la calidad de las instalaciones de transporte de agua enterradas en el terreno, una adecuada urbanización exterior de las edificaciones y la especial vigilancia de suelos susceptibles de presentar estos problemas, son a su vez las herramientas adecuadas para paliar estas afecciones.

Síndrome por fisuración

Relacionado con el síndrome anterior, la humedad es igualmente responsable de lesiones mecánicas y grietas en los materiales, provocadas por dilataciones y contracciones higrotérmicas cuando los materiales sufren cambios apreciables, continuados y relativamente rápidos en sus contenidos de humedad o temperatura.

La aparición de aberturas incontroladas en las superficies de los materiales, son lesiones a evitar en las construcciones actuales si quiere optimizarse la resistencia a la filtración en la envolvente. Cuando estas fisuras alcanzan dimensiones considerables que no se circunscriben únicamente a la superficie de los materiales (grietas), llegan a provocar la pérdida de resistencia de los mismos y a comprometer su integridad.

En todos los casos son cambios en la temperatura y contenido de humedad los que producen movimientos y deformaciones diferenciales en los materiales, que acaban generando la formación de fisuras, que en caso de ser especialmente acusadas, generarán grietas más profundas. Por ello la aparición de estas lesiones está muy extendida en las fábricas de albañilería, hormigones y morteros de cemento, dada la vital presencia de humedad en sus procesos de construcción y durante su vida útil y la coexistencia de diferentes materiales en la fábrica.

En el caso de fábricas de albañilería, es indispensable un cuidadoso proceso de secado en horno durante la fabricación de los ladrillos. Un secado demasiado rápido, suele ser el responsable de variaciones diferenciales en el volumen del ladrillo, lo que da lugar a tensiones internas que fisuran la pieza o la deforman, mermando su resistencia final.

Durante su proceso de colocación en obra, el uso de morteros con excesivo aporte de agua o cemento, puede al secarse producir una fuerte retracción del mismo. Este movimiento diferencial respecto al de los ladrillos, es responsable de agrietamientos en la unión, de la reducción de la estanqueidad de la junta de mortero y en definitiva, de una reducción importante de la resistencia de la albañilería. Si son los ladrillos los que absorben parte del agua contenida en el mortero antes de su completo secado, pueden deformarse, dando lugar igualmente a juntas de mortero muy debilitadas.

En el hormigón la presencia de agua es inherente a su constitución. Una pérdida acusada de agua durante su proceso de fraguado suele ser la responsable directa de la aparición de fisuras por retracción, si bien otros factores son también influyentes, como las dimensiones de los elementos hormigonados y las características de los cementos, áridos y aditivos empleados.

Los yesos y morteros de cal, tampoco quedan exentos de las afecciones patológicas por humedad, al ser frecuentes las fisuraciones en los primeros, si absorben

más humedad de la debida tras el proceso inicial de endurecimiento. En los segundos, la insuficiencia de agua torna su composición pulvurenta, mermando su adherencia al soporte sobre el que se aplican.



Figura II.18.- Fisuraciones y grietas de mayores dimensiones en muros de hormigón.

La utilización de juntas de dilatación frecuentes y la buena ejecución de los trabajos, respetando las dosificaciones y procedimientos establecidos, viene a minimizar la cuantía y dimensión de las fisuras, aun cuando su eliminación es prácticamente imposible.

Síndrome por pérdida de adherencia

La humedad influye negativamente en la estabilidad de los revestimientos exteriores de la envolvente del edificio, mermando su adherencia al soporte y provocando su desprendimiento final si no se adoptan las necesarias precauciones. Consecuentemente resulta frecuente en los edificios, que las fachadas de mayor exposición a las precipitaciones atmosféricas y cambios de temperatura, sean siempre las más afectadas por este síndrome.

Los revestimientos pueden responder a diferentes tipologías, entre las que destacan los revestimientos continuos (morteros, cales y pinturas), los adheridos (aplacados y alicatados cogidos con mortero o equivalente) y los colocados en seco, mediante un simple anclaje o cuelgue mecánico (fachadas ventiladas entre otras). Para cada tipología las causas de los desprendimientos de material deben analizarse de forma específica al intervenir diversos factores, aunque la humedad juega un papel relevante en todas ellas.

En los dos primeros casos, el mortero, cal o pintura es aplicada sobre el soporte en un estado plástico, para adquirir una consistencia endurecida tras un proceso de secado en el que intervienen reacciones físico-químicas. De este modo se protegen las superficies exteriores de la acción atmosférica, impermeabilizándola a la vez que se obtiene un acabado estético. En otras ocasiones, este material sirve para adherir otro revestimiento exterior ya constituido, quedando por lo tanto el mortero con una función de simple agarre o sujeción del revestimiento exterior.



Figura II.19.- Desprendimiento de aplacado sobre soporte de fábrica en fachada y muro de hormigón. Deficiente adherencia en la interfaz entre mortero y revestimiento, a consecuencia del secado excesivo derivado de su ejecución en verano.

Para los morteros, la adherencia se debe a una interacción mecánica, por la penetración del mortero o cal en la rugosidad superficial del soporte. La magnitud de esta adherencia depende por lo tanto de la dosificación del ligante y de la presencia de aditivos que refuerzan la penetración en los poros del soporte. También esta adherencia se encuentra también muy relacionada con la capacidad de retención de agua del mismo.

Si la retención de agua del mortero es adecuada (por encima del 90%), otros parámetros como la rugosidad del soporte o la succión del material de base, influye relativamente poco en la adherencia. No obstante, si el mortero de revestimiento se ve sometido a fraguados inadecuados o a ciclos de humedecimiento y secado, la consecuente dilatación-contracción acabará por provocar un empuje perpendicular al cerramiento, que afecta a su adherencia. Cuando los propios morteros son utilizados no como revestimiento continuo del cerramiento, sino como base para la adherencia de otros materiales de revestimiento como baldosas o aplacados, el resultado es similar, produciéndose el desprendimiento de la baldosa por la mala adherencia del/al mortero.

Si las juntas entre las piezas de revestimiento no se han ejecutado adecuadamente, la humedad penetrará con mayor facilidad hasta el interfaz entre soporte y revestimiento, afectado al mortero encargado de la adherencia. La acumulación de humedad en esta interfaz, puede producir efectos de congelación o de depósito de sales solubles (criptoflorescencias) en la misma.

La cristalización de las sales y la congelación del agua, dado el aumento de volumen producido, erosionan la interfaz, alterando la adherencia. Es más acusado este síndrome en la parte baja de los cerramientos por la combinación del efecto descrito, con la ascensión de humedad por capilaridad desde el terreno.



Figura II.20.- Desprendimiento de revestimiento continuo exterior y conservación del mismo en áreas bajo aleros y vierteaguas, por menor incidencia de la climatología atmosférica.

Una adecuada adherencia al soporte, maximizando la rugosidad del material utilizado para tal fin, la limpieza del mismo antes del revestimiento y una cobertura integral del mismo, que impida la penetración de agua hasta el soporte, proporciona un mejor comportamiento en la durabilidad de los revestimientos. La disposición de elementos arquitectónicos que eviten la incidencia directa de humedad por precipitación sobre los revestimientos, contribuye igualmente a maximizar la durabilidad de la envolvente.

Cuando las prestaciones de retención de agua del mortero son inadecuadas, es necesaria una continua hidratación del mismo si se aplica sobre bases de elevada succión. Del mismo modo, durante su ejecución el soporte ha de estar adecuadamente humedecido. De no ser así, absorberá parte del contenido de humedad destinado al mortero ligante, provocando su fraguado deficiente y una menor penetración y adherencia mecánica de éste a la rugosidad del soporte.

Si el elemento utilizado como revestimiento es madera, las variaciones atmosféricas de humedad provocan la absorción de agua por parte de la misma y su incremento de volumen. Inverso mecanismo se da cuando se establece un periodo de secado o alta radiación solar. Al absorber agua y aumentar su volumen, las piezas del revestimiento de madera pueden empujarse entre sí si no se han dispuesto con la suficiente holgura, acabando por levantarse. Si la penetración de agua es más profunda, los propios rastreles sobre los que se disponen los revestimientos, pueden también dilatarse y separarse del soporte.

El mejor procedimiento para evitar estas lesiones consiste en la impermeabilización del soporte y madera mediante producto hidrofugante, de tal forma que no se vea afectado por cambios en su contenido de humedad. Este tratamiento previo de la madera, permite igualmente la aplicación de otros tratamientos superficiales, como pinturas, sin que corran peligro de desprenderse por mecanismos similares.

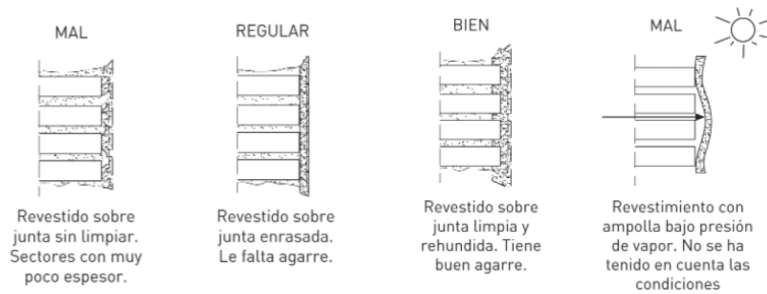


Figura II.21.- Ejecución de un revoco. Fuente: Broto, 2005.

En el caso de pinturas, cuya adherencia se debe a reacciones químicas sobre el soporte, la entrada de humedad en la interfaz puede alterar las uniones químicas establecidas disminuyendo la adherencia de la pintura. Dado que su espesor es muy reducido, la dilatación por esta humedad, puede fácilmente romper la adherencia entre pintura y soporte. Es un caso muy frecuente en obra cuando se pinta sobre paredes y techos que no han tenido el tiempo suficiente para un adecuado secado, que la pintura no tarde en desprenderse.

La acumulación de humedad entre la interfaz de pintura y soporte y la consecuente ruptura de los enlaces químicos creados, la dilatación y empuje del agua acumulada, están igualmente detrás de estas lesiones. Si la pintura se aplica sobre soportes metálicos, es la corrosión producida en dicho interfaz, la responsable de la pérdida de adherencia de la pintura y la ruptura de los enlaces químicos.

El uso de pinturas de poro abierto, que impiden la filtración de agua pero sí permiten el libre recorrido de vapor de agua, constituyen una solución efectiva para impedir la acumulación de humedad en la interfaz, si su aplicación se ejecuta correctamente y no se dan situaciones de condensación.

También el uso de productos hidrofugantes en los soportes, previos a la aplicación y compatibles con la pintura, contribuye a minimizar los problemas de este tipo.

Si nos centramos en los revestimientos con anclaje o cuelgue mecánico, los principales síndromes de desprendimiento se deben a la corrosión de los anclajes que han de soportar las piezas exteriores, hasta el punto en el que éstos son incapaces de soportar el peso del revestimiento. Es necesaria la adecuada ventilación de la cámara situada tras el revestimiento o la buena ejecución de las juntas entre piezas de revestimiento, impidiendo la penetración de agua desde el exterior, para evitar estos procesos de degradación.

En cuanto a los revestimientos interiores, como escayolas y yesos, dada su naturaleza higroscópica (capacidad de absorber y ceder humedad al ambiente), tampoco son infrecuentes los problemas derivados de un exceso en su contenido de humedad, con el consiguiente ablandamiento o desprendimiento respecto del soporte, como sucede habitualmente, al producirse una humedad accidental en falsos techos o ante condiciones de condensación en la superficie interior de las estancias del edificio con mayor contenido de humedad relativa.

Síndrome por sales y ataque químico

Las construcciones pueden también ser objeto de ataques químicos de diversa índole, en los cuales la humedad desempeña un papel catalizador de las reacciones o bien logístico, al transportar los elementos necesarios para posibilitar que la reacción química tenga lugar. Tanto las eflorescencias como las corrosiones, son ejemplos de estas reacciones químicas patológicas.

En el caso de las eflorescencias, las sales solubles presentes en el interior del sistema poroso del material, son arrastradas hacia el exterior del mismo por la acción del agua, evaporándose el agua en la superficie del cerramiento. Las sales son así depositadas cerca de la superficie del material, provocando su cristalización, su coloración característica y posteriores ataques químicos.

Este síndrome se define como la cristalización en la superficie del material de sales solubles en el agua, que pueden provenir de diferentes fuentes. Cuando estas sales no cristalizan en la superficie del material, sino en el interior de su sistema poroso o de fisuras profundas, el fenómeno es conocido como criptoefflorescencia.

Este último síndrome es mucho más peligroso que el primero, dado que a las alteraciones químicas habituales producidas por las sales y a la afección estética, se añade el posible desprendimiento de la capa más externa del material y la consiguiente erosión progresiva del mismo. Las tensiones internas provocadas por la cristalización de las sales (y el consecuente aumento de su volumen en el espacio limitado del poro interno o fisura), son las responsables de estos episodios de desprendimiento y rotura, que a su vez, favorecen una creciente filtración y penetración del agua en el cerramiento.

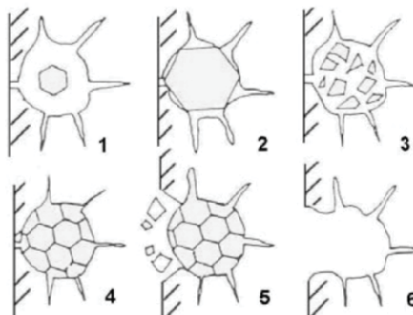


Figura II.22.- Desarrollo de eflorescencias: 1, depósito de sales en el interior del poro; 2, Aumento del volumen por cristalización o hidratación; 3, Fracturación del cristal confinado; 4, Recristalización o hidratación de la sal y aumento de volumen; 5, Disgregación de la capa superficial del material por tensiones; 6, Acceso de la humedad patológica externa hacia nuevos poros. Fuente: ASEFA, 2011.

En cualquier caso, para el desarrollo de eflorescencias y criptoefflorescencias, es necesaria la intervención de la humedad, bien sea ésta debida a la propia humedad de ejecución de la obra, a la infiltración de agua del exterior por la acción de la lluvia atmosférica, a la rotura de conducciones o a la condensación intersticial o superficial.

En condiciones normales, el grado de humedad existente en el interior del material para producir la disolución de las sales, es variable para cada tipo de componente químico, por lo cual, la incidencia de las mismas, se ve condicionado por las

condiciones de humedad relativa alcanzadas en las diferentes capas del cerramiento. Así, el proceso podrá alcanzar únicamente profundidades de algunos milímetros en el material o bien extenderse a capas mucho más profundas.

Las sales disueltas en la humedad contenida en el material, son transportadas por la misma hacia la superficie del mismo cuando el material se seca, siendo depositadas al evaporarse el agua por incidencia de la radiación solar y el viento. El proceso de deposición y cristalización de la sal, contribuye a que ésta se adhiera al material y conlleva con frecuencia una coloración característica de cada sal.

En materiales de gran porosidad, la evaporación del agua contenida puede realizarse sin que ésta alcance la superficie del material, siendo depositada la sal en el interior del medio poroso. La incidencia de viento y una alta radiación solar, contribuyen a esta evaporación prematura.



Figura II.23.- Aparición de eflorescencias en ladrillos. Es en las partes más expuestas de las obras de fábrica donde primero afloran las sales solubles: Broto, 2005.

La existencia de cierto grado de humedad es inevitable en la obra, especialmente la adquirida en el proceso de construcción. En el caso de humedad por condensación intersticial, la lesión aparecerá con especial virulencia sobre los puentes térmicos de la edificación, al ser estos puntos donde se concentran las condiciones más favorables para la condensación y aparición de agua líquida.

Varias pueden ser las fuentes de estas sales solubles, si bien en la mayoría de los casos, se encuentran contenidas en los propios materiales de construcción. Otras veces, las sales son depositadas sobre las envolventes de los edificios cuando estas se encuentran presentes en la contaminación atmosférica habitual de grandes centros urbanos y áreas industriales (polvos, hollines, cenizas y aerosoles). En este caso, serán el dióxido de azufre y el dióxido de carbono las sales más representativas y las responsables de posteriores reacciones químicas en los cerramientos para dar lugar a sales solubles como carbonatos y sulfatos.

El propio terreno, fuente inagotable de sales, pueden a su vez ser fuente de otras sales solubles en el agua que se trasladan por ascensión capilar. Como las derivadas del terreno, en repetidas ocasiones las sales depositadas sobre un material, no provienen estrictamente de dicho material, sino de otros que le son adyacentes o interiores.

Dado que la humedad puede desplazarse a través de los componentes del elemento constructivo, las sales contenidas en alguno de ellos, pueden ser transportadas también hasta el punto en el que se produzca la evaporación, generalmente en la capa en

contacto con el ambiente exterior (por ejemplo en el caso de ascenso de agua por capilaridad desde el terreno y evaporación sobre la rasante).

Otro ejemplo recurrente se produce en las eflorescencias del perímetro de los ladrillos que conforman las fábricas, en los que las sales provienen del mortero de agarre. También la falta de hidratación del ladrillo en el momento de su colocación, puede hacer que éste absorba indebidamente agua del mortero y con ella, las sales disueltas.



Figura II.24.- El riego frecuente de la terraza posterior, arrastra las sales disueltas en el mortero de la fábrica, provocando eflorescencias a la altura del suelo en el muro de rampa de garaje.

Respecto a las sales contenidas en los materiales de construcción habituales, la mayoría se genera en los procesos de fabricación necesarios, bien por las propias materias primas empleadas, por las sales disueltas en el agua utilizada o por los procesos necesarios para su conformación final.

En los hormigones y morteros es frecuente la presencia de carbonato cálcico, tanto más acusada a mayor porosidad y contacto con la humedad del elemento constructivo. Los aditivos utilizados serán los principales responsables de las eflorescencias, siendo relativamente habituales los sulfatos.

Respecto a los elementos de albañilería, en ladrillos cerámicos es frecuente encontrar sulfato cálcico, aunque las arcillas empleadas, combustibles de la cocción y morteros y aguas utilizados para su colocación, pueden hacer aparecer una amplia variedad de sales. En aplacados y terminaciones pétreas, será el sulfato cálcico el elemento más habitual, al ser la caliza una piedra de amplia difusión en la construcción.

La naturaleza de cada sal determinará la gravedad del problema y la afección estética producida. Ciertas sales depositadas superficialmente poseen una escasa adherencia química y mecánica al material, por lo que la acción de la precipitación atmosférica es suficiente para eliminarlas. No obstante, otras presentan una gran adherencia, al incrustarse en los poros del material o partir de una situación de criptoeflorescencia. En estos casos, las operaciones de limpieza necesarias pueden precisar cierta agresividad sobre el material, incluyendo medios mecánicos o químicos.



Figura II.25.- Detalle de eflorescencias y procesos bioquímicos sobre albardilla cerámica en muro a la intemperie.

Debido a la relación de la lesión con los ciclos de humedad, aunque esta pueda ser eliminada de forma sencilla de los materiales, su reparación es periódica, coincidiendo con las temporadas del año de mayor precipitación y evaporación (primavera). Así, ante un nuevo aporte de agua (generalmente atmosférico coincidiendo prioritariamente con el invierno y primavera), nuevas sales serán disueltas y transportadas hacia la cara exterior del material, repitiéndose el proceso, si bien cada vez con menor virulencia.

Entre las sales de mayor trascendencia por su habitualidad y gravedad del síndrome, deben citarse los sulfatos, bien sean cálcicos, magnésicos, potásicos o sódicos. Aunque unas son más solubles que otras, todas ellas se encuentran con frecuencia en materiales utilizados en la obra, pudiendo asociarse entre ellas en mezclas relativamente solubles, por lo que su incidencia como lesión suele ser muy extendida.

Del mismo modo estas sales pueden encontrarse en diferentes estados de hidratación, lo que viene a agravar el problema por sus importantes variaciones de volumen, en función del contenido en humedad que presenten, siendo responsables de elevadas tensiones y graves daños micro-estructurales en la matriz porosa del material. El sulfato potásico puede incrementar su volumen un 35% según su estado de hidratación, mientras que el sulfato sódico puede multiplicar su volumen por 4, destruyendo poros y erosionando la resistencia del material.

Los carbonatos, cloruros y nitratos, son otros compuestos menos extendidos en las sales de los cerramientos, aunque también pueden darse en envolventes de edificaciones cercanas al mar o a superficies de aguas estancadas o fecales. Los carbonatos de sodio y potasio en el material, son poco solubles y por lo tanto inertes en este síndrome, pero pueden transformarse en sulfatos, incrementando de este modo su solubilidad.

Algunas de las sales mencionadas, son responsables igualmente de ataques químicos sobre los materiales, especialmente los pétreos, formando ácidos como el clorhídrico, sulfúrico, óxido de nitrógeno...



Figura II.26.- Eflorescencias derivadas del escurrimiento de agua fecal sobre fachada de ladrillo caravista y derivada de aguas cloradas en el forjado de soporte para una piscina.

Se deduce por lo tanto, que la lesión por eflorescencias y criptoeflorescencias, será tanto más infrecuente cuanto menor sea la porosidad y capacidad de absorción de agua por parte del material y cuanto menor exposición tenga el cerramiento a la acción de una fuente de humedad y de las condiciones climáticas externas. Dado que las reacciones químicas necesarias no se producen en ausencia de humedad, cuanto menor sea la capacidad de absorber humedad del material, menor será también la incidencia de las eflorescencias.

Como conclusión, para que se dé un síndrome de eflorescencia o criptoeflorescencia en un cerramiento, deben darse varias condiciones necesarias, pero no suficientes. Por un lado, deben existir sales solubles en el agua, lo que puede controlarse adecuadamente mediante la utilización de materiales apropiados, si bien la contaminación ambiental puede influir en la presencia de dichas sales.

En el caso habitual de ladrillos cerámicos de arcilla cocida, el ensayo UNE 67029:1995 (AENOR, 1995), “Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de eflorescencia”, permite determinar esta propiedad, lo que resulta de especial interés en los ladrillos caravista, tan extendidos en nuestro país y tan expuestos a las condiciones climáticas de humedad.

Tabla II.2.- Caracterización del grado de eflorescencia de los ladrillos cerámicos de arcilla cocida según intensidad de eflorescencia aparecido y superficie afectada. Fuente: UNE 67029 EX, 1995.

INTENSIDAD	SUPERFICIE AFECTADA		
	>25%	>5% a 25%	<5%
Velo fino	Ligeramente eflorescido	No eflorescido	No eflorescido
Velo grueso	Eflorescido	Ligeramente eflorescido	Ligeramente eflorescido
Mancha	Muy eflorescido	Eflorescido (ligeramente eflorescido, si sólo afecta a aristas)	Ligeramente eflorescido

En dicho ensayo, por comparación simple de 5 ladrillos prueba con un ladrillo patrón no ensayado, se determina el grado de eflorescencia de los ladrillos. Para ello, los ladrillos son sumergidos parcialmente por su cara interior durante una semana. Tras un periodo de secado de 24 horas, son sometidos durante 24 horas más a un proceso de secado en estufa de desecación, comprobando entonces las eflorescencias superficiales aparecidas.

Se deduce del procedimiento operatorio del ensayo, que la migración de las sales disueltas en el agua y su cristalización superficial, puede producirse apenas dos días después del humedecimiento en condiciones habituales de humedad relativa (60 a 80 %) y con un secado enérgico exterior por elevada temperatura o radiación.

Por último, para que el problema se produzca debe establecerse un mecanismo de migración del agua contenida, de tal forma que las sales disueltas se desplacen hacia capas superficiales del cerramiento, dando lugar a la evaporación del agua líquida. Como en el caso anterior, evitar que el agua pueda acceder a materiales internos del cerramiento, minimizará en gran medida el transporte de sales desde ellos hacia el exterior.

Síndrome por corrosión

Son comúnmente conocidos los problemas de corrosión derivados de la presencia de humedad en contacto con los elementos metálicos de la envolvente, problema éste especialmente grave, cuando se produce en los elementos con funciones de resistencia estructural.

La corrosión puede definirse como la interacción de un metal con el medio húmedo que lo rodea, produciendo el deterioro de sus propiedades físicas y químicas. El contacto prolongado de la humedad ambiental con las armaduras interiores del hormigón armado, constituye un síndrome de especial gravedad, al provocar la corrosión de estas armaduras, la disgregación del hormigón en contacto con las mismas y en definitiva, la invalidez para el servicio del elemento estructural.

Sus principales consecuencias son la disminución progresiva de la sección del material, el aumento consecuente de sus tensiones, disminución de resistencia y la aparición de roturas y disgregaciones superficiales de la capa de metal corroído. Se trata de uno de los síndromes más extendidos y en el cual la humedad adquiere una importancia fundamental.

La lesión electroquímica afecta a dos zonas de la superficie del material (ánodo y cátodo), conectadas por un fluido conductor (agua), entre las que se establece una pila electroquímica. Como resultado de las reacciones químicas establecidas en ambas zonas, se liberan iones y electrones, que degradan progresivamente el material en la zona del ánodo. Este fenómeno de degradación no afecta únicamente a la capa superficial del material, sino que puede continuar hasta su disgregación completa.

La presencia habitual de sales disueltas en el agua, como se ha visto en el anterior síndrome, incrementa la conductividad del fluido conductor, potenciando el mecanismo de corrosión. Dada la frecuente exposición de elementos metálicos a la intemperie en cerramientos de la edificación (barandillas, vierteaguas, albardillas, herrajes de carpintería, tapajuntas...), la corrosión es un problema frecuente cuando los elementos metálicos no han sido adecuadamente protegidos o cuando esta protección no se ha aplicado concienzudamente.

Tabla II.3.- Corrosividad de los ambientes a los que puede estar sometida una estructura metálica.
Fuente: Broto, 2005.

AMBIENTE		CORROSIVIDAD		
		Alta	Media	Baja
Inmersión	Agua de mar	*		
	Agua dulce estancada		*	
	Agua dulce corriente			*
Enterradas en terrenos	Salinos o costeros	*		
	Ácidos	*		
	Húmedos (neutros)		*	
	Secos			*
Atmósferas	Costera	*		
	Industrial			
	Urbana		*	
	Rural			*

Uno de los tipos más frecuentes de corrosión se da entre la capa de oxidación superficial del material (con alto potencial eléctrico) y el metal no oxidado que subyace bajo ella. Al humedecerse la capa superficial y permitir el paso del agua hasta la capa no oxidada, se genera la pila electroquímica para la corrosión. En otras ocasiones, son dos metales de diferente potencial eléctrico, los conectados por el agua. Es el caso de herrajes de latón en carpinterías de aluminio, con una pintura protectora más colocada.

Aunque menos frecuente, puede producirse cierto grado de corrosión por aireación diferencial del metal, cuando una parte seca del mismo actúa como cátodo y otra (húmeda), como ánodo. La acumulación de agua en zonas horizontales del metal, como resultado de condensaciones o precipitaciones, suele estar detrás de estas “picaduras” puntuales.

También si el metal permanece sumergido en el agua de forma continuada, se produce un proceso de disgregación del metal, al combinarse sus iones con el hidrógeno del agua, lo que también provoca una lenta pérdida de material. Es infrecuente, no obstante la existencia de elementos metálicos sumergidos en las edificaciones o al menos, sin la adecuada protección superficial (recubrimiento) y mantenimiento.

Además de la consecuente afección estética y resistente sobre el metal afectado, es necesario destacar que el elemento corroído ocupa un volumen mayor al del elemento original. Así, en armaduras interiores al hormigón, afectadas por procesos de corrosión por escaso recubrimiento o fisuración severa, este incremento de volumen provoca fisuras mayores, grietas y la destrucción de la adherencia armadura-hormigón, base del adecuado funcionamiento estructural y resistente del hormigón armado.

Evitar la aparición de síndromes de fisuración sobre los elementos o minimizar su tamaño para que las armaduras no se vean expuestas a las condiciones atmosféricas externas, es la mejor medida preventiva frente a su corrosión. Es conveniente dotar al hormigón del espesor de recubrimiento adecuado y aplicar sobre el mismo, tratamientos superficiales hidrofugantes, como la colmatación de poros, de estar en contacto permanente con la humedad y en casos extremos, proceder a una protección catódica.

En la actualidad se utilizan aleaciones resistentes a este fenómeno, pero aún así suele ser frecuente en el caso de herrajes y carpinterías, aplicar pinturas o revestimientos de protección sobre los elementos, para evitar la corrosión o retrasarla en la medida de lo

posible. Dicha pintura requiere de un mantenimiento y repintado periódico, que ha de realizarse para evitar una futura aparición del problema.

Síndrome bioquímico

Con frecuencia, el desarrollo de organismos vegetales sobre los elementos constructivos como consecuencia de una humedad excesiva en el sustrato, contribuye a la degradación de los materiales, mediante un ataque fundamentalmente químico, propio de su actividad orgánica. La naturaleza de estos organismos es muy variada, pudiendo abarcar desde microorganismos como bacterias (especialmente en materiales pétreos), hasta musgos, líquenes, mohos y plantas mayores, las cuales, en su proceso biológico, desprenden sustancias químicas responsables de cambios de coloración, olores y erosiones sobre el material.

Además de segregar ácidos orgánicos sobre los materiales que les sirven de soporte y sustrato, tienen la capacidad de mantener la humedad de forma permanente en éstos, agravando otros síndromes. Para el desarrollo de estos problemas bioquímicos, las condiciones necesarias son variables en función del tipo de organismo.

Dado que existen multitud de mohos y microorganismos que pueden proliferar sobre las superficies de los cerramientos, es difícil establecer condiciones mínimas a partir de las cuales es previsible su formación. La naturaleza del hongo, las temperaturas registradas y niveles de humedad relativa, iluminación incidente, nutrientes del sustrato y mantenimiento de dichas condiciones, son factores que afectan y regulan la aparición de este síndrome biofísico.

Mientras que los hongos precisan de una buena aireación y temperaturas suaves para su aparición y crecimiento, los mohos proliferan en condiciones de alta temperatura, baja ventilación y elevado aporte de nutrientes en el sustrato. Con frecuencia se estima que la humedad relativa del aire interior debe mantenerse durante varios días por encima del 80%, para que se produzca la aparición de mohos sobre las superficies interiores (AENOR, 2002a) (España, 2006), pero no especifica concretamente el número de días que ha de durar esta exposición. En estas condiciones, las posibilidades de desarrollo de un moho, se reducen a límites aceptables, inferiores al 5% (Díaz y Tenorio, 2005).

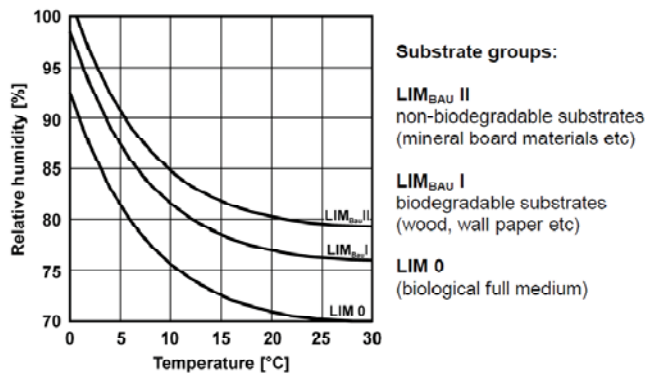


Figura II.27.- Pueden establecerse diferentes umbrales para el desarrollo de mohos en base al tipo de sustrato, siendo más favorable para su desarrollo las bases orgánicas, maderas o maderas empapeladas. Fuente: Little, 2010.

No obstante, otros estudios, como los desarrollados por el prestigioso Instituto Fraunhofer, avalan condiciones menos exigentes para el desarrollo de mohos en los cerramientos. Tal y como se muestra en la figura anterior, las condiciones generales para su desarrollo varían en función del sustrato presente, la temperatura y la humedad relativa del ambiente, pudiéndose definir varios umbrales de desarrollo. Así, en determinadas condiciones de sustrato, una humedad relativa del 80% en el material podría ser suficiente para el desarrollo del moho, siempre que la temperatura fuera suficientemente elevada.

Además de las condiciones ambientales, la tipología del moho tiene también una importante relevancia. Se tiene constancia de variedades de mohos poco comunes, que pueden llegar a desarrollarse a temperaturas entre 0 y 60 °C, si bien en su gran mayoría, estos se desarrollan entre 25 y 40 °C, rango de temperaturas habitual en el interior de viviendas con problemas de ventilación y renovación de aire. Diferentes autores como Geving (1997) o Trechsel (1994, 2001), han arrojado luz sobre la probabilidad de formación de hongos en diferentes sustratos, siendo la madera el material constructivo más profusamente estudiado.

En cualquier caso, además de la humedad ambiental, para todos ellos también el contenido de humedad del sustrato es un factor crucial, siendo necesario un contenido siempre superior al 20-30% para todos ellos. Es por ello, que siempre suelen desarrollarse preferentemente en zócalos, esquinas, huecos de ventanas cerradas o interiores afectados por goteras, donde el contenido de humedad es elevado y continuado por una menor aireación y radicación sobre el material.

Además de la afección sobre los materiales de construcción, sus procesos orgánicos pueden ser igualmente responsables de afecciones para la salud humana, provocando mayor incidencia de reacciones alérgicas, se desarrollen en la superficie exterior o en alguna de las hojas intersticiales del cerramiento.

En la madera, los ataques biofísicos producidos por organismos que precisan de la presencia de agua para su desarrollo, pueden ser especialmente graves si se dan condiciones de oscuridad, mala ventilación y alta temperatura. Se considera que una humedad en la madera superior al 20%, determina cierto riesgo de proliferación de hongos, que no obstante han de necesitar también alimento en su sustrato y una temperatura entre 2 y 40°C.



Figura II.28.- Pudrición por efecto del ataque de hongos a la celulosa de la madera y galerías realizadas por la acción de insectos xilófagos en el mismo sustrato.

Las principales lesiones en la madera como consecuencia del desarrollo de hongos se centran en la coloración diferente de las zonas afectadas y la pudrición progresiva del sustrato. No obstante, la presencia de humedad y el desarrollo de hongos, puede permitir la aparición de termitas o carcoma, que precisan de hongos para su alimentación y que son responsables de síndromes especialmente severos.

Evitar la proliferación de estas lesiones, puede hacerse indirectamente mediante el control de las condiciones climáticas en las que se desarrollan. Una adecuada ventilación de las estancias interiores, reduciendo el contenido de humedad de los revestimientos interiores, es suficiente para evitar la mayoría de los síndromes por musgos y hongos superficiales.

No obstante, para minimizar la aparición de hongos intersticiales, el control debe establecerse mediante el diseño y dimensionado de los diferentes materiales que configuran la envolvente del edificio, favoreciendo unas condiciones higrotérmicas desfavorables para su proliferación. El tratamiento de las maderas con productos específicamente dedicados para evitar ataques de organismos xilófagos, una periódica desinsectación y una reducción de los niveles de humedad en los materiales, suelen ser medidas suficientes.

II.2.1.2.- Prestación de protección frente a la humedad

En vista de todos los síndromes anteriores, puede afirmarse que la consecución de una adecuada durabilidad del cerramiento y habitabilidad y salubridad en el interior del edificio, dependen de forma decisiva de la protección frente a la humedad en el cerramiento. Así, la adecuada prestación de protección frente a la humedad del cerramiento, contribuye a la consecución indirecta y mejora de otras prestaciones de la envolvente del edificio, posibilitando que se den las condiciones adecuadas para su correcto funcionamiento.

Más allá de otras consideraciones, la exigencia de protección frente a la humedad, debe garantizar la disminución del riesgo de afecciones a los ocupantes derivadas de la presencia de humedad en los materiales del cerramiento y el ambiente interior. Indirectamente, el control de la humedad, ha de permitir la reducción o eliminación completa de los síndromes anteriormente citados, maximizando la durabilidad de la envolvente como objetivo secundario.

Para alcanzar estos objetivos, las prestaciones de protección frente a la humedad siempre han sido diferenciadas en dos grandes grupos por todas las normativas, atendiendo a los mecanismos físicos que propician la aparición de humedades:

- Condensaciones intersticiales y superficiales
- Penetración de agua líquida desde el exterior

La normativa española (Código Técnico de la Edificación o CTE), no es una excepción y también diferencia ambos mecanismos de acción de la humedad sobre la envolvente. Así, el control de las condensaciones se regula dentro del Documento Básico HE 1, Limitación de la Demanda Energética, mientras que dentro del Documento Básico

HS1, se aborda la Protección frente a la Humedad, entendida como protección frente a la penetración de agua al interior del edificio.

La ubicación del aspecto referido a las condensaciones de humedad, responde a la elevada influencia que el diseño térmico del cerramiento tiene sobre la aparición de condensaciones. La protección frente a las condensaciones, goza desde hace muchas décadas de metodologías de cálculo analítico, que permiten prever su ocurrencia de forma aproximada y simplificada. El desarrollo de herramientas informáticas progresivamente más precisas y la aplicación de las relaciones matemáticas que rigen la difusión de agua en estado gaseoso, están propiciando a su vez, una mayor precisión y exactitud en los resultados a este respecto.

Es por ello que el estudio de estos fenómenos de condensación, responsables de algunos de los síndromes analizados, se presentarán en este trabajo únicamente a efectos complementarios e informativos, no siendo objeto de un análisis exhaustivo.

Más precaria resulta la situación de la protección frente a la penetración de agua, responsable de la mayoría de los síndromes presentados y que en el caso de la normativa española, se desarrolla de forma independiente en el Documento Básico HS1, dentro de la sección referida a Salubridad.

En este caso, ningún método analítico o relación matemática permite relacionar las condiciones de exposición existentes sobre la envolvente, con el diseño necesario para hacerles frente. Esta situación se repite en todas las normativas consultadas en la materia, pertenecientes a los códigos legislativos internacionales más avanzados en la actualidad, tal y como se analizará con detalle a lo largo del capítulo III.

Dada esta deficiencia, impuesta por el estado del desarrollo de la ciencia en la materia, todas las normativas de construcción recurren a legislar en materia de penetración de agua, en base a consideraciones aproximadas, más o menos subjetivas y precisas, apoyadas sobre la práctica constructiva.

Así, suelen definirse diferentes sistemas para evaluar la exposición por humedad debida al agua líquida en la envolvente, no compatibles entre sí y de precisión y fiabilidad variable en cada caso. No obstante, con posterioridad, ninguna de estas exposiciones definidas son útiles para comprobar la adecuación de la solución constructiva para el cumplimiento de la prestación demandada. En consecuencia, las soluciones constructivas para la envolvente que se proponen, se determinan de forma aproximada, subjetiva y en ocasiones inadecuada.

Como se analizará a lo largo del capítulo III y quizá debido a su corta vida, la normativa española (CTE DB-HS1), presenta una regulación normativa especialmente inadecuada, estimando la exposición de forma claramente mejorable en cuanto a precisión y rigor científico y determinando unas soluciones constructivas a aplicar, caracterizadas por múltiples incongruencias.

Con la intención de sentar las bases para poner fin a tal situación de inadecuación normativa, a lo largo del capítulo IV se desarrolla un sistema de evaluación de la exposición a la humedad atmosférica más adecuado, planteado en base a los criterios más rigurosos y científicos actualmente vigentes en el ámbito internacional, adaptados a las particularidades de los datos disponibles en nuestro país para su cálculo.

Del mismo modo, a lo largo del capítulo V se sentarán las bases para dotar a la normativa española, de forma pionera, de la capacidad para evaluar la adecuación de las diferentes soluciones constructivas a las condiciones de exposición en cada situación de servicio.

La unión de todo ello, análisis de deficiencias presentes actualmente a nivel normativa, adecuada caracterización de la exposición a la humedad y evaluación objetiva y prestacional de las soluciones constructivas, hacen de este trabajo una herramienta indispensable para mejorar la prestación de protección frente a la humedad, minimizando los síndromes asociados a la humedad que se han expuesto con anterioridad

Estos importantes avances se complementan a lo largo del capítulo VI con el análisis de la integración de esta prestación con otra atribuida igualmente a los cerramientos edificatorios, como es el ahorro de energía en el edificio.

Para ello, en el apartado II.2.3 de este mismo capítulo se analizarán las afecciones que la humedad y otros factores climáticos como la temperatura producen sobre la resistencia térmica de la envolvente, desarrollando en el capítulo VI los mecanismos de cálculo que deben ser considerados para contabilizar y neutralizar dicha afección.

II.2.2.- INCIDENCIA ESTADÍSTICA DE LA HUMEDAD EN EDIFICACIÓN

Dada la amplia variedad de síndromes presentados hasta el momento, se hace necesario valorar en su justa medida su repercusión real sobre nuestros edificios.

La importancia clave del sector de la construcción en nuestro país está avalada por múltiples estudios, como los aportados por el Banco de España, al estimar en el año 2005 un parque de viviendas de 23.700.000 unidades, para un total de 15.390.000 hogares, lo que corresponde a la tasa mundial más elevada de viviendas por hogar (1,54).

En el mismo año, el coste medio de 1 m² de edificación residencial se situaba en 2510 €, con una producción anual de 154.000 nuevas licencias de obra residenciales de nueva planta, incluyendo en las mismas viviendas colectivas con varias unidades habitacionales. El precio de vivienda llegó a un pico cercano a 3000 €/m², apenas dos años después.

Conociendo que la superficie media de una vivienda oscila en torno a los 80 m², todo ello da, a pesar de la crisis que azota el sector desde el año 2007, un colosal volumen de negocio que ha llegado a representar el 20% del producto interior bruto nacional, cifra muy superior a la media de los países de nuestro entorno.

Este volumen de negocio, ha llegado a situarse según datos del Ministerio de Fomento, en casi 300.000 millones de euros anuales, correspondiendo la mayor parte (un 70%), a la construcción residencial. Paralelamente, ha llegado a representar más del 13% del empleo total en nuestro país, ocupando a más de dos millos y medio de trabajadores, cifras todas ellas en enérgica reducción en la actualidad.

Simultáneamente se ha incrementado de forma lenta pero continua, el número de intervenciones de rehabilitación sobre el edificio construido, ascendiendo en el año 2005 a una cifra de casi 32.000 licencias de obra, cifra no obstante significativamente inferior a la referida a obra nueva.

El repentino parón económico acontecido desde 2007, en gran parte propiciado por el desmedido crecimiento de este sector de actividad a la sombra de prácticas especulativas insostenibles, ha dejado en nuestro país un parque de viviendas amplísimo y escasamente utilizado, sobre las cuales todavía no se han aplicado las directrices marcadas por el Código Técnico de la Edificación (aprobado en 2006) en materia de protección frente a la humedad, que se analizarán a lo largo del capítulo III de este trabajo.

Así, el número de viviendas proyectadas de acuerdo al nuevo marco normativo (posteriormente al año 2006), licitadas y construidas desde entonces, puede considerarse despreciable frente a las previamente existentes, ya que por ejemplo debido a la crisis del sector, a lo largo del año 2010 apenas se solicitaron 50.000 nuevas licencias y la cifra se estima todavía mucho más baja para 2011 y 2012.

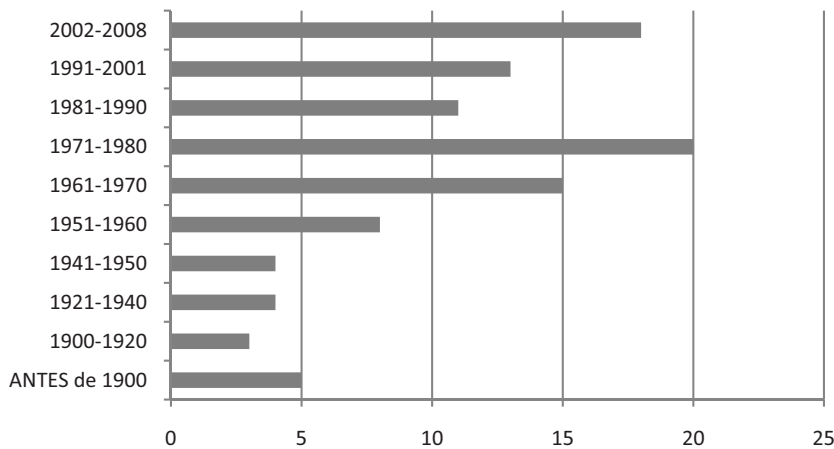


Figura II.29.- Porcentaje de viviendas sobre el total (25.000.000), según su año de construcción. La totalidad de las mismas puede considerarse proyectada previamente a la aprobación y aplicación del CTE. Fuente: Aranda et al, 2010.

Este brusco parón en la construcción permite no obstante establecer una revisión crítica de la norma de construcción aprobada en 2006, basada en una investigación prenormativa y no en su corrección por las deficiencias observadas en los edificios construidos. En este sentido, la irrelevante magnitud de nuevas edificaciones proyectadas y el cese en el negocio de multitud de profesionales proyectistas, ha impedido a la norma penetrar profundamente en el sector, permaneciendo en un estado “durmiente”.

La ausencia de realimentación con la obra ejecutada y habitada, ha impedido también identificar adecuadamente las muchas bondades y deficiencias de la norma, por

lo que aun se está a tiempo de proponer correcciones y mejoras, sin que el daño derivado de los aspectos mejorables sobre el parque edificatorio sea muy relevante.

Analizando la tipología de cerramientos más representativa en España, las fachadas ejecutadas mediante fábrica de albañilería, constituyen la forma de construcción más habitual en los edificios (llegando hasta el 80,7 % de los edificios), sea cual sea su uso y de forma especial, en el sector residencial (Ministerio de Fomento, 2012).

La naturaleza de estos cerramientos comprende diversas configuraciones, en función del número de hojas de albañilería dispuestas, presencia o función de la cámara interior y ordenación de los elementos. En cuanto a los acabados superficiales, tanto los acabados mediante ladrillo caravista, como los acabados basados en aplacados o revestimientos por mortero, son los más habituales.

La predominancia de este tipo de soluciones en nuestro país queda patente en la propia redacción del Código Técnico de la Edificación, donde los únicos casos considerados y soluciones aportadas para garantizar la protección frente a la humedad, se desarrollan para tipologías de fachada de fábricas de albañilería en sus muchas variantes (ladrillos macizos, perforados, huecos, de hormigón, termoarcillas...)

A pesar de esta relevancia, no es habitual encontrar estudios estadísticos o científicos relacionados con la incidencia de la humedad sobre la durabilidad y funcionalidad de las fábricas de albañilería.

Cuando existen, estos estudios se circunscriben a síndromes derivados de observaciones empíricas y al diseño de las mismas en base a la experiencia adquirida. Este diseño mejorado se basa en múltiples recomendaciones empíricas como las presentadas en los aparados anteriores, que no conllevan estudios estadísticos que ratifiquen o validen científicamente los resultados obtenidos.

Sí son más frecuentes estudios generalistas que investigan la incidencia de patologías en diferentes tipos de cerramiento. Ejemplos relevantes de estos estudios son las investigaciones de Kvande y Lisø (2009) en emplazamientos noruegos o el estudio realizado por la consultora Morrison Hershfield para un amplio número de edificaciones en Canadá (1996), por mencionar algunos ejemplos relevantes.

En el marco de nuestro país, un meritorio estudio generalista sobre siniestrabilidad arquitectónica, elaborado sobre todo tipo de edificaciones y tipologías constructivas, fue plasmado por el arquitecto D. Joseba Escribano Villán en 1994, aportando interesantes resultados a partir de sentencias dictadas a raíz de siniestros patológicos en la edificación.

De su pormenorizado estudio estadístico se desprende como la humedad, principalmente derivada de la precipitación atmosférica, se encuentra detrás de gran parte de las afecciones que inciden sobre las edificaciones de nuestro país, sea cual sea su carácter, uso o condición.

Así, las humedades constituyen el grupo de sintomatología más extendido entre los defectos patológicos, alcanzando una representatividad de más del 35 % sobre el total de síntomas detectados en la construcción (Escribano, 1994; Lozano et al., 2006). No obstante, las relevantes sintomatologías por defectos en los acabados y aparición indeseada de fisuraciones, como se ha visto en el anterior apartado, suelen estar también relacionadas con procesos de absorción de agua y dilatación por parte de los materiales.

En comparación, otros grupos representativos como defectos estructurales, representan, a pesar de su mayor repercusión mediática y mayor coste de subsanación, apenas un 5 % de los síntomas detectados.

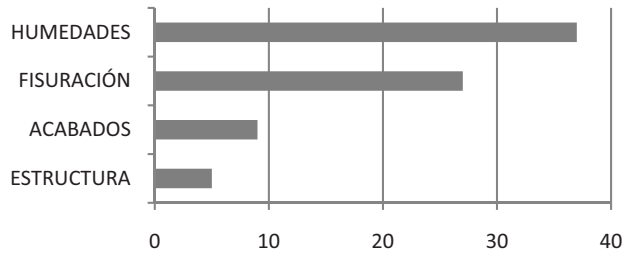


Figura II.30.- Relación entre la sintomatología general registrada en los siniestros. Fuente: *Escribano, 1994.*

Si nos centramos únicamente en la envolvente exterior de los edificios, entre un 75 y un 90% de los síndromes que se identifican anualmente, tienen su origen en problemas de humedad (Trechsel, 1994). Esta afirmación se ve corroborada 15 años después por otros estudios más específicos que el de *Escribano*, como el realizado por los investigadores *Kvande* y *Lisø* (2009), sobre 302 síndromes en cerramientos preferentemente de albañilería en Noruega.

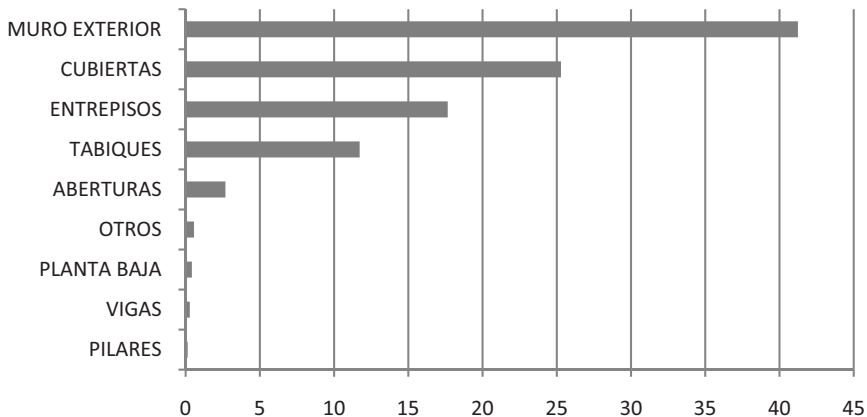


Figura II.31.- Zona de aparición de humedades en el interior de la edificación (%). Fuente: *ASEFA, 2011.*

Las conclusiones de dicho estudio ofrecen resultados similares, estimando que aproximadamente tres cuartas partes de todos los síndromes detectados sobre la envolvente se debían a la acción de la humedad atmosférica. Más rotunda es la

estimación realizada por Morrison Hershfield (1996) para cerramientos ubicados en la Columbia británica, donde se determina que en torno al 90% de los síndromes detectados pueden relacionarse de una u otra forma con la acción de la humedad.

Todo ello hace ver que la humedad y el comportamiento higrotérmico inadecuado de los cerramientos y sus materiales, es responsable de forma directa o indirecta de buena parte de los problemas que afectan a los edificios. Puede también considerarse de forma concreta, la humedad es la principal causa en la deterioración y pérdida de prestaciones de la envolvente de los edificios (prioritariamente de la prestación térmica), siendo la lluvia la principal responsable.

No es de extrañar por lo tanto que la mayor parte de las afecciones por humedad se localicen en muros, fachadas exteriores y cubiertas, dado que son estos los elementos de la envolvente más expuestos a la acción directa de las precipitaciones atmosféricas.

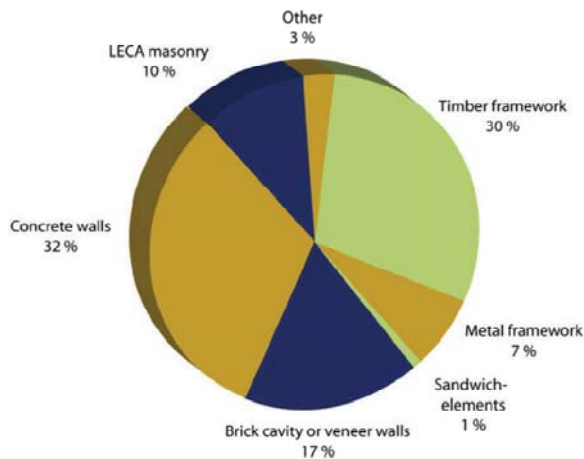


Figura II.32.- Distribución de síndromes por naturaleza del cerramiento en Noruega. Ha de mencionarse que en España, las fachadas con estructuras de madera (timber), son prácticamente inexistentes. Fuente: Kvande y Lisø, 2009.

Analizando de forma exhaustiva la incidencia de diferentes síndromes por humedad sobre diversas tipologías de muros exteriores (fachadas y medianerías sobre rasante), estudios como el de Kvande y Lisø (2009), han identificado una importante incidencia de las mismas sobre cerramientos de hormigón (*concrete walls*) y fábrica caravista o revestida (*brick cavity or veneer walls*). Ambas tipologías representan el 49% de los síndromes analizados, siendo el segundo y tercer grupo de mayor incidencia, solo por detrás de los cerramientos constituidos por entramados de madera.

Este resultado da muestra de la especial sensibilidad de los cerramientos de albañilería (revestidos o no), frente a las acciones de la humedad y la consiguiente importancia de incluir mejoras en su diseño y comportamiento en un ámbito tan dependiente de este tipo de edificación como es la construcción española.

La naturaleza de los síndromes analizados por Kvande en su estudio para edificaciones noruegas, coincide también con la enumeración de síndromes reflejada en el apartado anterior, identificándose la distribución presentada en la figura II.33.

Como se aprecia, la mayoría de estas deficiencias se relacionan con los mecanismos patológicos ya descritos, destacando las deformaciones indebidas, tanto térmicas como por absorción de agua (A), la merma de la durabilidad de la albañilería (E), la falta de adherencia (G), la corrosión (H), los asentamientos indebidos (J), la absorción capilar (K), los problemas estéticos (L) o las eflorescencias y ataques químicos (M).

Los grupos de causas B, C, D, F y M, corresponden a su vez con deficiencias en los sellados, barreras impermeabilizantes, adherencia de revestimientos pintados, problemas de drenaje de las cámaras del muro o condensación en los puentes térmicos, que por sí mismas, posibilitan el desarrollo directo de afecciones relacionadas con un excesivo contenido de humedad.

Main cause of defect	Explanation
A Shrinkage and thermal movement defects (19%)	Movement joints missing, absence of sliding layer between masonry and foundation, concentrated tension loadings, locking of masonry to other structures
B Deficient flashing (14%)	Deficient door/window/parapet flashing, faulty drainpipes and roof gutters, faulty door/window installation
C Deficient rain barrier (14%)	Non-water-tight/porous mortar joints or disintegration of the surface, faults in composure of the rendering
D Faulty painting system (10%)	Unfortunate choice of paint, paint that is too vapour tight
E Insufficient durability of masonry units (9%)	Low frost resistance of bricks and mortar, sulphate attack on block
F Deficient drainage of the wall (7%)	Too narrow air-gap, mortar bridges between outer leaves and rear wall, missing drainage opening at bottom of wall
G Lack of compatibility (adhesion) (6%)	Inadequate adhesion rendering/substructure, lack of compatibility mortar joints/masonry units
H Reinforcement corrosion (5%)	Corrosion on reinforcement
I Under dimensioning (4%)	Anchorage to rear wall missing, insufficient bearing capacity, earth pressure, overload
J Settling/settlements (4%)	Settling defects, soil mechanics
K Moisture absorption from the ground (4%)	Raising damp, capillary action, deficient drainage
L Aesthetic problems (2%)	Organic growth, unsatisfactory colour and structural variations, efflorescence of salts (not causing defects)
M Salt eruption (2%)	Crypto-efflorescence of salts causing scaling of rendering or bricks/blocks
N Thermal bridges (2%)	Heat loss, condensation, staining, discolouration

Figura II.33.- Principales causas de los defectos identificados en cerramientos exteriores. Fuente: Kvande y Lisø, 2009.

II.2.2.1.- Incidencia de los síndromes por humedad según fase de la obra

Un método eficaz para catalogar y analizar la incidencia de los síndromes sobre un edificio consiste en distribuir las mismas en función de la fase de la obra en la cual se originaron las causas de dicha afección.

Así es posible definir síndromes atribuibles a defectos asociados al proyecto (debidos por lo tanto a la mala estimación de solicitaciones, planteamiento de soluciones constructivas deficientes o normativa inadecuada), asociados a la ejecución del edificio (asociadas a una incorrecta manipulación y puesta en obra de los materiales) y asociados a un deficiente mantenimiento durante la vida útil del edificio.

Es el primer grupo, asociado a defectos en el proyecto, el de mayor interés para este trabajo, dado que estos problemas se pueden asociar fundamentalmente con los tres ejes que vertebran esta Tesis Doctoral: inadecuada estimación de las solicitaciones,

inadecuada prescripción normativa e inadecuada verificación del comportamiento de la solución planteada ante dichas solicitaciones.

Los defectos atribuibles a una falta de mantenimiento o ejecución incorrecta, aunque muy relevantes para prevenir problemas asociados a la humedad, quedan fuera del alcance de este estudio, debiendo afrontarse desde otras vías diferentes a las aquí planteadas, como una mejor formación de los operarios en obra, incremento de la construcción industrializada, mayor control en obra y periodicidad del mantenimiento entre otras muchas.

Para analizar estadísticamente las afecciones asociadas a las diferentes fases de la construcción, el citado estudio de Escribano (1994), resulta especialmente valioso, ya que establece un criterio objetivable para la consideración de los síndromes y sus causas. Para ello, se analizan los fallos judiciales establecidos en relación a denuncias derivadas de diferentes síndromes en la edificación, los cuales, vienen lógicamente validados por diferentes informes periciales en cada caso. La sentencia condenatoria permite de manera unívoca identificar la fase responsable de la patología, al agente y la propia patología, con un alto grado de objetividad.

Centrándonos en los siniestros en fase de proyecto, en torno a un 50% de los fallos judiciales, atribuyen la causa a deficientes detalles constructivos, mientras que otro 12% se atribuye a defectos normativos. Ambos parámetros se relacionan directamente con los resultados de este trabajo.

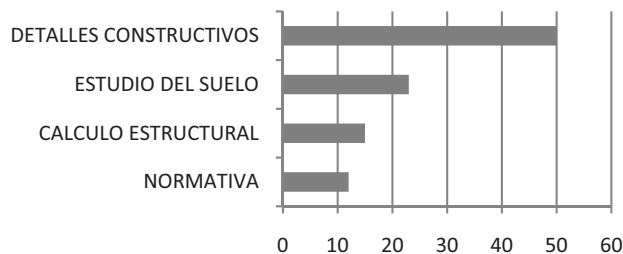


Figura III.34.- Proporcionalidad entre grupos de defectos imputados al proyecto, según sentencias judiciales. Fuente: Escribano, 1994

La ausencia de procedimientos de verificación prestacionales para la comprobación de las soluciones constructivas propuestas, la ausencia de soluciones constructivas recomendadas por norma alguna (recordamos que el estudio es anterior a la entrada en vigor del CTE) o la simple imposibilidad de determinar de forma exacta la sollicitación y acciones a las que el material del cerramiento se va a enfrentar, son los factores fundamentales tras la incorrecta definición de los proyectos edificatorios.

En el caso concreto de los detalles constructivos, la falta de previsión o insuficiente sellado de las juntas del edificio y puntos de encuentro entre distintos materiales y sistemas constructivos, la inadecuada elección de soluciones, la falta de especificaciones para los materiales o una inadecuada previsión de las sollicitaciones existentes tienen como consecuencia más generalizada la aparición de humedades por

filtración o por condensación. Estos efectos se concentran principalmente en cerramientos verticales, espacios bajo cubierta y huecos al exterior o intersección entre elementos constructivos en los cerramientos verticales, como frentes de forjado, dinteles y vuelos.

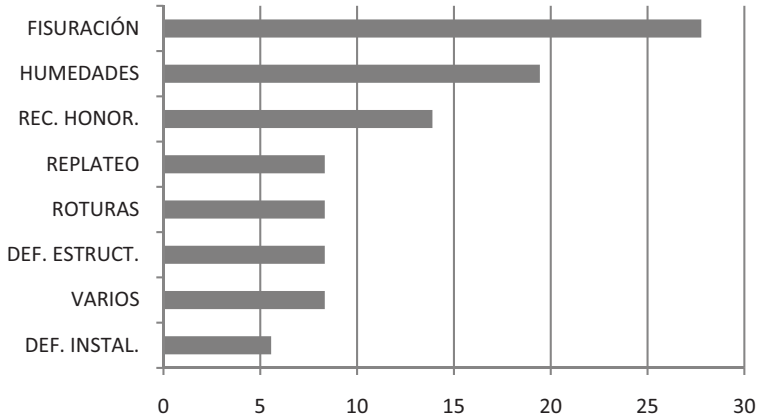


Figura II.35.- Relación entre la sintomatología detectada en los siniestros cuya causa principal son los defectos del proyecto. Fuente: Escribano, 1994

Entre los defectos imputables al proyecto, la sintomatología más frecuente corresponde a las fisuraciones en los materiales, con casi un 28% de las denuncias por parte de los usuarios. En segundo lugar (19%) se encuentran las humedades propiamente dichas en los espacios interiores, ocasionadas por condensaciones superficiales e intersticiales o por filtraciones de agua desde el exterior o desde el terreno. En cualquier caso, ambas sintomatologías, fisuraciones y humedades, se relacionan íntimamente, dado que las propias fisuraciones pueden provocar humedades y a su vez ser provocadas por un deficiente comportamiento frente a la humedad atmosférica.

En términos económicos, la resolución de los síndromes debidos a los dos grupos anteriores (fisuraciones y humedades), representan el 65% de los pagos efectuados por defectos atribuibles al proyecto, a pesar de que un 47% de las denuncias se corresponden con estas sintomatologías. Por lo tanto, las afecciones asociadas a humedades, representan además procedimientos de costosa subsanación, en comparación con otras deficiencias que pueden contenerse en el proyecto.

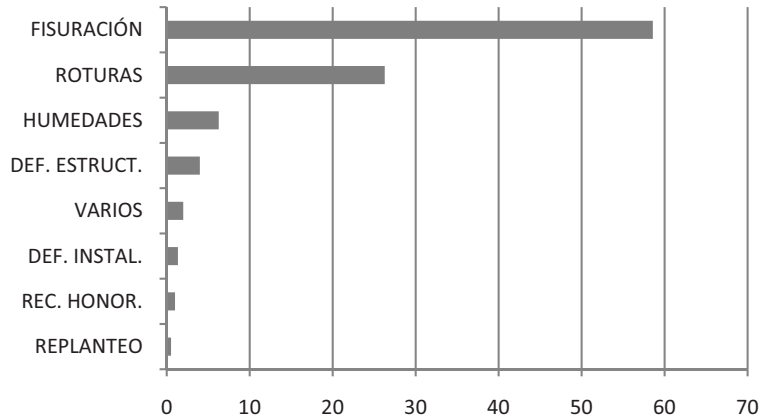


Figura II.36.- Porcentaje de los pagos efectuados por siniestros derivados de defectos del proyecto, en función de los síntomas detectados. Fuente: Escribano, 1994

Analizando los síndromes denunciados atribuibles exclusivamente a la ejecución de la obra, se puede constatar que el 37% de las mismas corresponden a la existencia de humedades, siendo este el grupo más numeroso. El segundo grupo en importancia lo constituyen las fisuraciones, con un 19% sobre el total. Ambas sintomatologías se asocian con una defectuosa colocación de los elementos, la falta de protección de los materiales durante la ejecución de los trabajos o movimientos no previstos en los cerramientos y la estructura. Se deduce de estos datos que la colocación de los materiales en obra, es una etapa de crucial importancia para configurar una envolvente suficientemente estanca para el edificio.

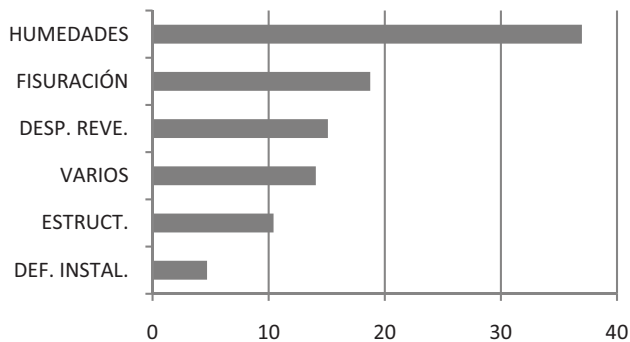


Figura II.37.- Relación entre la sintomatología detectada en los siniestros cuya causa principal son los defectos en la ejecución. Fuente: Escribano, 1994

Como ya sucedía en el análisis de las sintomatologías atribuibles a problemas en el proyecto, las humedades y la fisuración representan también la cuantía más

relevante de los pagos compensatorios efectuados, representando un 63% sobre el total, porcentaje muy similar al anterior, a pesar de que representan únicamente el 56% de las denuncias.

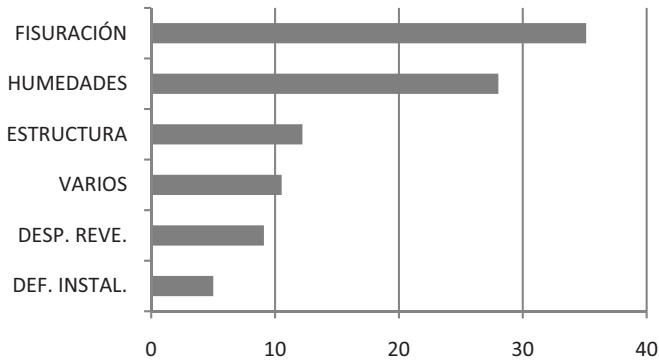


Figura II.38.- Porcentaje de pagos efectuados por siniestros derivados de defectos en la ejecución en función de los síntomas detectados. Fuente: Escribano, 1994

Centrándonos en las cuestiones referidas al mantenimiento del edificio, casi la mitad de las denuncias se deben a sintomatologías relacionadas con las humedades (46%), mientras que otro 40% se deben a fisuraciones. Ambos grupos constituyen de nuevo la práctica totalidad de las problemáticas detectadas por deficiencias en el mantenimiento y buen uso de la construcción.

Estos resultados indican la relevancia del adecuado mantenimiento de revestimientos, sellados, impermeabilizaciones y aislamientos para prevenir la aparición de fisuras por las que pueda penetrar el agua.

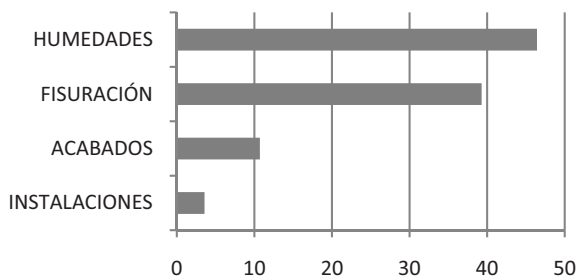


Figura II.39.- Relación entre la sintomatología detectada en los siniestros cuya principal causa es el uso de la obra. Fuente: Escribano, 1994.

En aquellos casos en los que la afección no pudo ser achacada de forma precisa a defectos de proyecto, ejecución o mantenimiento, sino a otros factores, Escribano

estimó de nuevo a las fisuraciones como el porcentaje de denuncias más elevado, llegando a un 50% en su estudio.

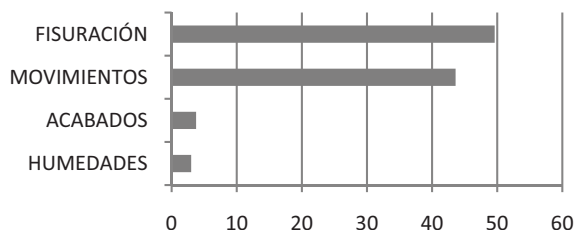


Figura II.40.- Relación entre la sintomatología detectada en los siniestros cuya causa principal corresponde a otros factores. Fuente: Escribano, 1994.

En el caso de las sintomatologías de humedades, éstas raramente se achacan a otras deficiencias diferentes de la ejecución, mantenimiento o proyecto, por lo que apenas representan un 3% de las denuncias en este grupo.

El análisis de la distribución de las afecciones patológicas por humedades en nuestro país, muestra un reparto homogéneo en la geografía nacional independientemente de las condiciones climáticas habituales en la zona. Así, computando las afecciones atribuibles al proyecto, a la ejecución y al mantenimiento del edificio, las denuncias por humedad representaron un porcentaje del 32% de las denuncias efectuadas en el norte del país, mientras que el mínimo se registró en el centro del país, con un total del 25% de las denuncias interpuestas.

Tabla II.4.- Porcentaje de la siniestralidad por zonas, con respecto a la misma y a su totalidad, en función de la sintomatología detectada. Fuente: Escribano, 1994.

	ZONA								Total
	NORTE		CENTRO		ESTE		SUR		
	parc.	%	parc.	%	parc.	%	parc.	%	
Fisuración	36.96	12.8	40.63	2.9	44.71	5.7	45.55	17.7	39.2
Humedades	32.07	11.0	25	2.3	25.88	4.3	26.70	13	30.7
Roturas	14.13	3.3	9.38	1.1	14.12	2	9.95	3.9	10.4
Varios	9.24	3.5	12.5	1.0	9.41	1.6	9.42	3.9	10
Def. instal.	3.26	1.2	6.25	0.4	2.35	0.4	1.57	1.5	3.6
Def. estruct.	2.17	0.8	6.25	0.4	0	0	1.57	1.7	2.9
Rec. honor	1.63	0.6	0	0	1.18	0.2	3.66	1.4	2.2
Replanteo	0.54	0.2	0	0	2.35	0.2	1.57	0.6	1
PARCIAL	100	33.4	100	8.2	100	14.5	100	43.8	100

Dado que el momento de realización de este estudio estadístico, no existía normativa reguladora de las soluciones de cerramiento frente a la exigencia por humedad, la disposición de una u otra solución constructiva se realizaba en base a la experiencia previa, siendo característicos de cada zona determinados tipos de cerramientos sancionados por la práctica.

En vista de los resultados regionales recopilados, todas las soluciones habitualmente dispuestas en cada región presentaban similares tasas de afección por humedad. Se deduce por lo tanto que de forma general a todo el país existe la necesidad de mejorar el comportamiento de las soluciones sancionadas por la práctica frente a las solicitudes para las cuales se disponen.

Por todo ello es necesario mejorar la caracterización tanto de la sollicitación considerada en el diseño, como del comportamiento de las diferentes soluciones constructivas ante las sollicitaciones. Solo de este modo podrán establecerse diseños óptimos y adecuados para los cerramientos, tarea en la que se enmarca este trabajo.

Como ya se ha comentado anteriormente, son comparativamente muy pocas las obras ejecutadas según proyectos elaborados con posterioridad al año 2006 (año de entrada en vigor del CTE y de sus condiciones de protección frente a humedad), por lo que puede considerarse que los datos presentados por Escribano en 1994, son similares a los existentes en la actualidad.

Definido el importante volumen de negocio de la construcción en nuestro país y la importancia que estas las afecciones por humedad tienen sobre el parque edificatorio español, se justifica la necesidad de desarrollar una investigación orientada a mejorar la prestación de las envolventes en este sentido, que garantice su durabilidad y una mayor habitabilidad y salubridad en el interior de los edificios.

II.2.2.2.- Otras consideraciones respecto a la incidencia de las humedades

En otro ámbito de la salubridad, el estudio de la incidencia de la humedad sobre las afecciones respiratorias de los ocupantes de los edificios, es en la actualidad un tema de gran interés, directamente relacionado con la calidad de los cerramientos dispuestos en los edificios.

Una inadecuada humedad relativa interior, el desarrollo de mohos, hongos y otros microorganismos o la aparición de eflorescencias, coloraciones y reacciones químicas producidas por la presencia inadecuada de agua, tienen una influencia negativa sobre la salud.

Son numerosos los estudios que alertan sobre el peligro de habitar en edificaciones afectadas de forma crónica por humedades, dadas las reacciones alérgicas, infecciones y agravamiento de enfermedades crónicas respiratorias como el asma, que se derivan.

A este respecto la Agencia Europea Oficial de Estadística (EUROSTAT), estimó en 2001 que gran parte de la población europea vive en edificaciones sometidas a diferentes grados de afección por humedad, oscilando entre el 4,9% de los finlandeses hasta el 35,7% de los portugueses o el 37,5% de los polacos (Haverinen-Shaughnessy, 2007).

La propia organización mundial de la salud ha calificado recientemente a la humedad excesiva en los edificios como una de las principales causas de riesgo para la salud asociadas a la industria de la construcción, siendo el principal causante de enfermedades como el asma (WHO, 2011).

Este tipo de afecciones se dan con mayor incidencia sobre personas con un modo de vida sedentario, dada la mayor permanencia en espacios interiores (niños y ancianos).

Más información relativa a la incidencia estadística de la humedad en las viviendas sobre el desarrollo de afecciones a la salud puede obtenerse de los extensos trabajos de investigadores como Jaakkola, Pekkanen, Haverinen, Zock, Cho o Kercksmar entre muchos otros.

No obstante, a pesar del indudable interés de este campo de investigación y la clara interrelación existente con el adecuado diseño y ejecución de los cerramientos que integran la envolvente del edificio, resulta de mayor interés, siguiendo el desarrollo del punto anterior, proseguir analizando la influencia de la humedad desde un punto de vista meramente constructivo.

II.2.3.- AFECCIONES INDIRECTAS A LA ENVOLVENTE EDIFICATORIA

La envolvente edificatoria se compone de todos los cerramientos del edificio, entendidos estos como los elementos constructivos que lo separan del exterior, ya sea aire, terreno u otros edificios (España, 2006). Bajo estas condiciones, puede entenderse la envolvente del edificio como su piel externa, capaz de aislar el ambiente interior de los fenómenos atmosféricos y condiciones inadecuadas del exterior.

Dado que la mayor parte de las fuentes de humedad causantes de síndromes y afecciones al edificio, provienen de fuentes externas al mismo o bien afectan únicamente a esta piel externa (humedad del terreno, precipitación, fenómenos de condensación...), el estudio pormenorizado de esta envolvente revela un gran interés.

Dentro de la definición de envolvente, podemos encontrarnos con una amplísima casuística de condiciones, materiales y soluciones constructivas posibles, que abarcan la mayoría de los ámbitos de la construcción. La primera clasificación tipológica puede realizarse por su posición en el edificio, diferenciando entre cubiertas, suelos, fachadas o muros enterrados, tal y como establece el DB-HS1 del CTE.

Similares clasificaciones podían establecerse atendiendo a otros parámetros, como el material utilizado en el revestimiento exterior, horizontalidad o verticalidad del elemento, ambiente exterior con el que se pone en contacto, solución estructural utilizada en su definición, número de hojas o componentes de las que está constituido...

No obstante, supone de mayor interés analizar las motivaciones que subyacen y determinan su diseño, las cuales vienen definidas por las prestaciones que debe satisfacer en cada caso concreto. Estas prestaciones se verán condicionadas tanto por el ambiente interior a proteger, como por las condiciones externas existentes fuera de la envolvente de las que se pretende aislar.

Las prestaciones o funciones adscritas a la envolvente, son hoy en día muy amplias, partiendo de una configuración estética adecuada, garantía de seguridad estructural, privacidad, obtención de una durabilidad suficiente que minimice su mantenimiento, accesibilidad para los equipos de extinción de incendios... No obstante, son las prestaciones funcionales de la misma las que están recibiendo una mayor atención legislativa mediante regulaciones como el Código Técnico de la Edificación.

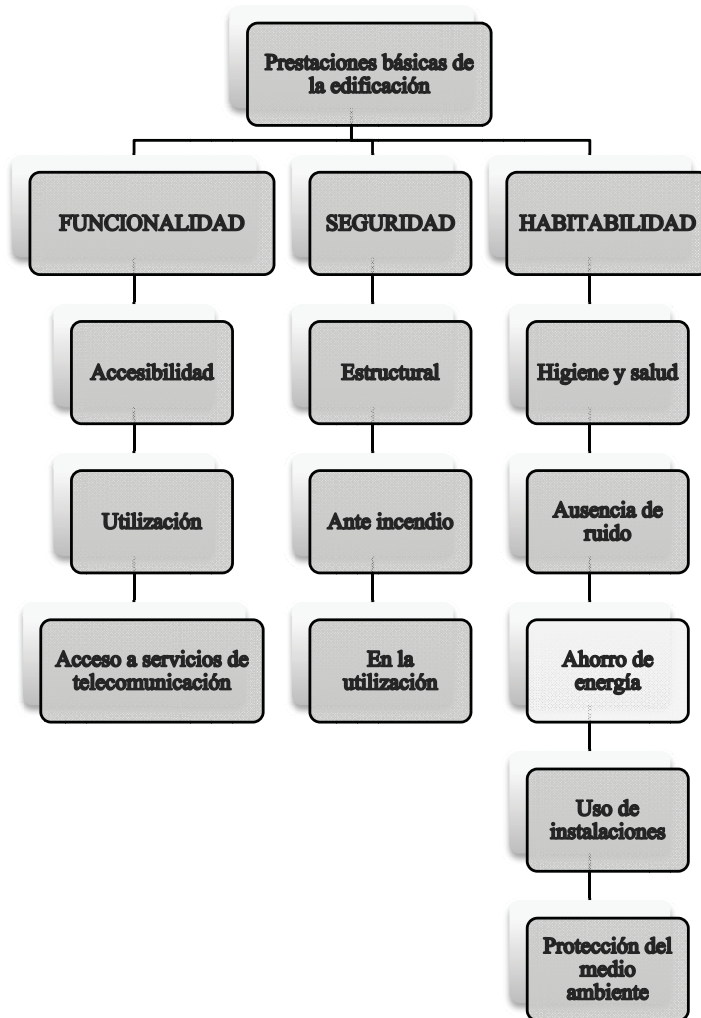


Figura II.41.- Requisitos básicos de la edificación recogidos por la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, con el fin de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente, mediante las prestaciones de los edificios.

Tal vez, la prestación funcional relacionada con la envolvente más relevante y desde luego la de mayor atención reciente, la constituye la limitación de la demanda energética, para la cual se debe limitar adecuadamente la energía necesaria para alcanzar el bienestar térmico dentro del edificio, sean cuales sean las condiciones externas. La limitación de la transmisión térmica a través de la envolvente (conductividad térmica de los materiales que configuran el cerramiento), es consecuentemente un parámetro crucial en este aspecto.

La humedad, debido a su presencia en la matriz interna de los materiales, altera las condiciones de conductividad térmica de los mismos, reduciendo sus prestaciones térmicas al tiempo que modifica las propiedades de inercia térmica en el cerramiento. Por

lo tanto, la interacción higrótérmica constituye un factor no despreciable en la limitación de la demanda energética.

No obstante esta interacción se ha venido simplificando, considerando la ausencia de humedad en los cerramientos a efectos térmicos. Tal y como se desprende de los apartados anteriores, esta ausencia muy frecuentemente no se cumple.

En cualquier caso, la prestación funcional que subyace a todo este trabajo se centra en la protección frente a la humedad por parte de la envolvente, la cual tal y como se aprecia, tiene relevantes repercusiones sobre las restantes prestaciones asignadas a los cerramientos, especialmente en el ámbito térmico y de durabilidad.

II.2.3.1.- Reducción de la prestación térmica de la envolvente

Uno de los principales roles de la envolvente del edificio es la de cumplir con el requisito básico de ahorro de energía, que puede concretarse en propiciar un uso racional de la energía necesaria para la utilización de edificios, reduciendo su consumo. Conjuntamente con el diseño de instalaciones más eficientes y la con participación de energías renovables, limitar la demanda energética del edificio constituye un pilar básico de acción.

La limitación de las pérdidas térmicas a través de la envolvente, asegurando que la demanda energética del edificio sea razonable y sostenible en el tiempo para alcanzar unas condiciones aceptables de bienestar interior, debe por lo tanto ser un objetivo básico a alcanzar mediante el diseño de los cerramientos del edificio. No obstante, aunque no puede considerarse una afección directa por sí misma, unos cerramientos excesivamente húmedos son responsables de una apreciable disminución de la resistencia térmica en la envolvente y por lo tanto de una menor prestación térmica.

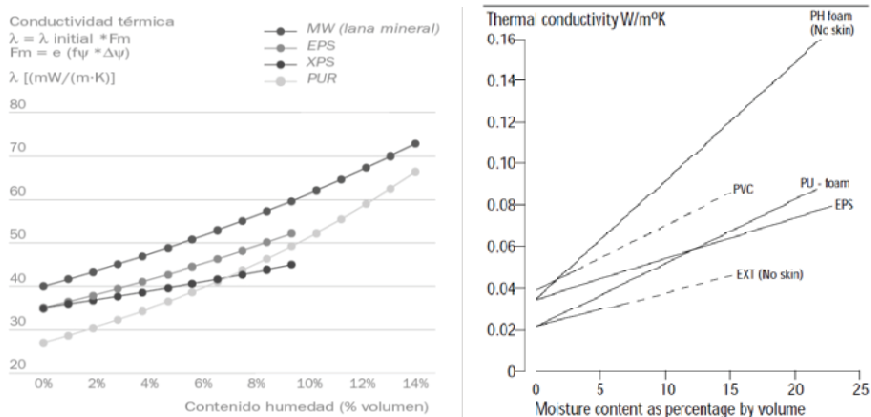


Figura II.42.- Relación entre la conductividad térmica de diferentes materiales aislantes y su contenido de humedad a 10°C. Fuentes: AIPEX, 2011; Hunter, 1996.

Así pues existe una interacción clara entre el comportamiento térmico de la envolvente y su protección frente a la humedad. Una deficiente estanqueidad del

cerramiento, comportará un peor comportamiento térmico, tanto más acusado cuando mayor sea la cantidad de agua almacenada en el interior del cerramiento. En general todos los materiales de construcción experimentan un aumento de su conductividad térmica cuando absorben agua. Este hecho resulta especialmente grave en los aislamientos térmicos, por su especial importancia para las prestaciones térmicas de la envolvente. Es por ello importante limitar su contacto con la humedad.

La conductividad térmica de los materiales aumenta al encontrarse estos en un estado de mayor humedad interna, al reemplazarse el aire contenido en su matriz porosa por el agua. El efecto de este aumento de conductividad por incremento de humedad se explica por el menor aislamiento térmico ofrecido por el agua frente al aire. Todavía más acusado es el aumento de la conductividad térmica en el caso de que el agua contenida pase a estado sólido. Por ello, no solo el contenido de agua en el medio poroso del material, sino también su estado, influyen en la variación de la conductividad del material.

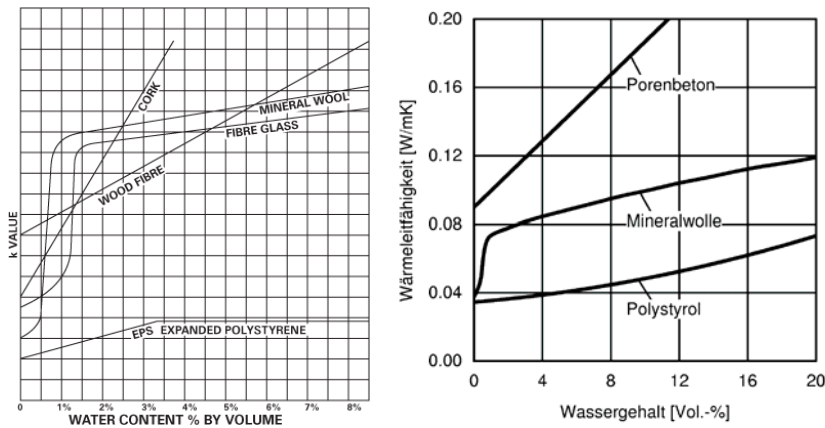


Figura II.43.- Efecto de la humedad en la conductividad térmica de diferentes materiales (hormigón celular, lana mineral y poliestireno) y la incidencia de los acusados efectos de calor latente en la lana mineral. Fuente: Künzel y Tanaka, 2005.

En ciertos materiales este incremento de la conductividad puede ser más acusado, debido a su mayor capacidad para almacenar agua en su matriz, siendo necesario evitar a toda costa esta exposición. Por ejemplo como se aprecia en las figuras anteriores, la estructura hidrófila de las lanas minerales, propicia una elevada absorción de agua, con una drástica reducción de las propiedades aislantes, que pueden llegar a doblar la conductividad térmica del material.

No suele contabilizarse en estos estudios, la aparición de procesos de condensación de vapor en la propia matriz porosa, capaces mediante el calor latente generado por la condensación, de aumentar la temperatura y la conductividad del aislante por encima de los valores teóricamente esperados.

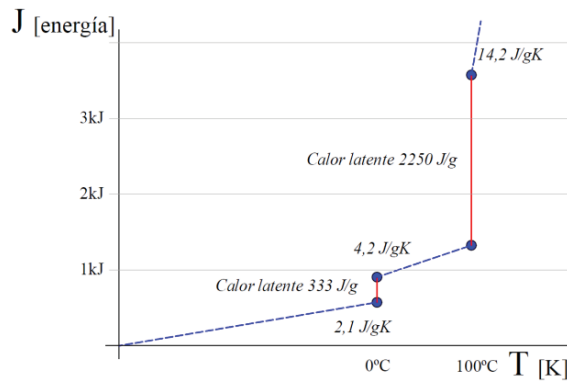


Figura II.44.- Representación de la relación entre energía y temperatura para el agua en diferentes estados (sólido, líquido y gaseoso) y los calores latentes derivados de su cambio de fase.

Tabla II.5.- Comparación de conductividad térmica en componentes habituales presentes en el espacio poroso en materiales de construcción.

Componente	Conductividad térmica [W/mK]
Aire	0,026
Agua	0,6
Hielo	2,15

Estas consideraciones son de gran relevancia si se encuadran en el marco global sobre el que se desarrollan. Así, el 15% del consumo energético primario anual total de nuestro país, 142.070 ktep en 2008 (Aranda et al, 2010), se destina exclusivamente al sector residencial, un 58% superior al valor registrado en 1990.

El Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, estimó también un consumo de energía por hogar que ascendía casi a 1,1 tep, siendo el destinado a usos térmicos (climatización del hogar), casi un 70% de dicha energía. A pesar de esta elevada incidencia de la climatización en el balance energético español, otros países de nuestro entorno se sitúan en consumos por hogar más elevados, alcanzado cifras que superan 1,8 Tep/hogar en países nórdicos.

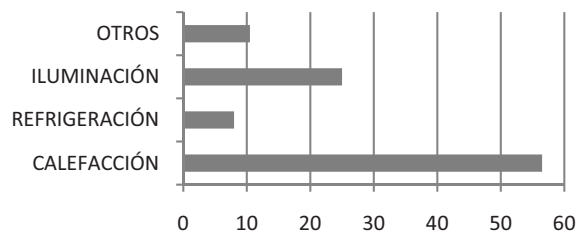


Figura II.45.- Porcentaje habitual de reparto del balance de energía en un edificio. Fuente: Aranda et al, 2010.

De estos datos puede desprenderse que más de un 10% del consumo total de energía en nuestro país se destina directamente a acondicionar térmicamente los edificios (climatización y refrigeración), función en la que interviene decisivamente la conductividad térmica de los materiales dispuestos en la envolvente.

En general, todos los países en virtud de los acuerdos internacionales alcanzados para optimizar los recursos energéticos y reducir la dependencia de combustibles fósiles, tienden actualmente a minimizar el consumo energético en los hogares.

Para garantizar la reducción y sostenibilidad del consumo energético en las viviendas, los cerramientos han de comportarse térmicamente en condiciones de diseño, de acuerdo a lo previsto en el proyecto edificatorio, para lo cual es ineludible la búsqueda de una mayor protección frente a la humedad.

Conductividad térmica de declarada y de diseño

Actualmente, los cálculos térmicos utilizados para el diseño y proyecto de la edificación se realizan empleando valores fijos de conductividad para los materiales de la envolvente. No obstante, las condiciones de servicio de estos materiales, no se mantienen fijas y por lo tanto, su conductividad tampoco es constante.

Este efecto de variación de la conductividad, puede estimarse de forma adecuada mediante la norma UNE-EN ISO 10456:2012 (ANEOR, 2012), “Materiales y productos para la edificación. Procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño”. En esta norma se especifica de forma analítica y aproximada, el aumento de conductividad experimentado por los materiales como consecuencia del aumento en su contenido de humedad. A este hecho se suma, que la conductividad térmica del material, también es variable en función de la temperatura de trabajo.

De la norma se desprende que las conversiones de valores térmicos (conductividad y resistencia térmica), a partir de un conjunto de condiciones iniciales o declaradas (λ_1 , R_1) a otro de condiciones reales de utilización (λ_2 , R_2), debe hacerse de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T \cdot F_M \cdot F_a \quad [\text{ec. II.1}]$$

$$R_2 = \frac{R_1}{F_T \cdot F_M \cdot F_a}$$

Siendo:

- F_T , Factor de conversión de temperatura.
- F_M Factor de conversión por contenido de humedad.
- F_a Factor de conversión por envejecimiento, obtenido de datos experimentales, para un tiempo de vida útil de 50 años, para el que se adopta generalmente la unidad, al estar incluido en las condiciones del valor declarado.

$$F_T = e^{f_T(T_2 - T_1)} \quad [\text{ec. II.2}]$$

$$F_M = e^{f_u(u_2 - u_1)} = e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)}$$

Siendo:

- f_T , coeficiente de conversión de temperatura, variable según material y conductividad del mismo, según valores tabulados en la propia norma para oscilaciones de 0 a 30°C.
- f_u coeficiente de conversión del contenido de humedad por unidad de masa, según valores tabulados en la propia norma, para el rango de contenido de humedad admisible por cada material (kg/kg). Similar aproximación puede establecerse utilizando para ello el contenido de humedad por unidad de volumen.

Se desprende de esta formulación, que para simular un comportamiento térmico realista en el cerramiento (prestacional), deben estimarse en el diseño, valores de conductividad para los materiales asociados de algún modo a las condiciones de sollicitación por humedad y temperatura a las que se vayan a ver expuestos, introduciendo así el concepto de “valor de diseño”.

Lógicamente, las condiciones de conductividad del material en condiciones “ideales” o de laboratorio, rara vez coinciden con las presentadas por los materiales durante su vida útil y por otra parte esta coincidencia variará con la climatología de cada emplazamiento. A mayor relevancia del material en la prestación térmica de la envolvente (fundamentalmente aislantes térmicos), mayor será la importancia de esta cuestión.

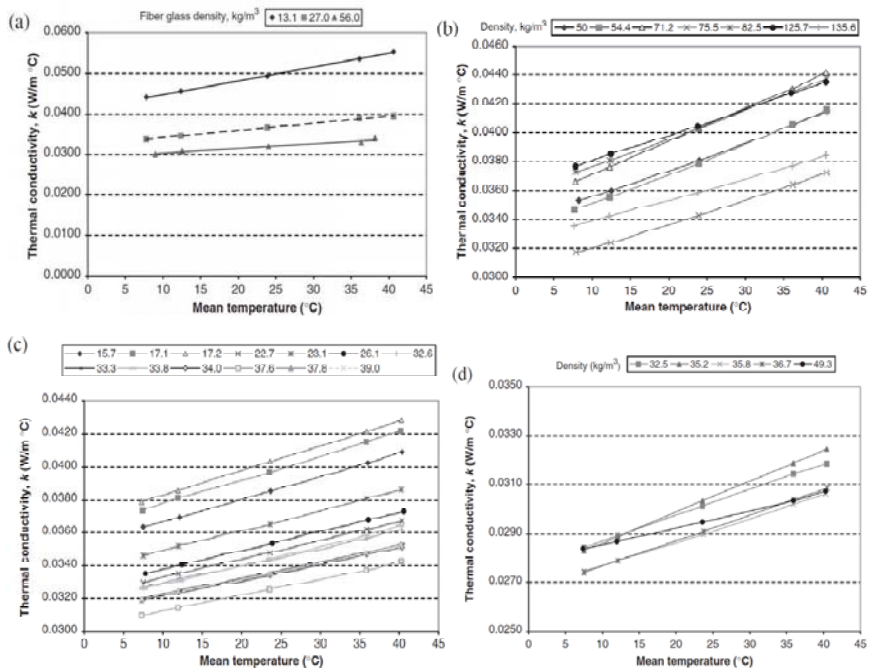


Figura II.46.- Influencia de la densidad y la temperatura de trabajo en la conductividad térmica de materiales aislantes en edificación: Fibra de vidrio, Lana de roca, EPS y XPS. Fuente: Abdou y Budaiwi, 2005.

La norma propone el concepto de valor térmico declarado ($\lambda_{\text{DECLARADA}}$) introduciendo una penalización estadística sobre los valores térmicos “ideales” obtenidos para el material, intentando suplir la indeterminación existente respecto a indeterminaciones difícilmente cuantificables como su degradación natural, la influencia del espesor de producto en su conductividad o la aleatoriedad en las prestaciones derivadas del propio proceso de fabricación del material.

Las normas europeas de producto obligan a que los fabricantes presenten la conductividad térmica de sus productos, teniendo en cuenta unos criterios estadísticos de seguridad del 90% (90 % de la población con una aproximación mínima del 90% al valor declarado). Aunque la distribución de la función es desconocida, la norma asume una distribución gaussiana para la realización de los cálculos matemáticos consecuentes. De este modo se garantiza una cierta seguridad respecto al valor declarado por el fabricante para el producto.

Las condiciones para caracterizar este valor declarado de los productos, se establecen específicamente para cada producto y por lo tanto no son generalizables.

No obstante, la presentación final de los datos se acomoda a ciertos grupos de condiciones de referencia universal (Ia, Ib, IIa, IIb), exigiéndose que los valores sean declarados para una temperatura de 10 o 23 °C y a su vez, para condiciones de humedad del 50% a 23°C o con un bajo contenido de humedad obtenido mediante secado del material.

Tabla II.6.- Condiciones posibles de condiciones para la referencian del valor declarado. Fuente: UNE-EN ISO 10456:2012.

PROPIEDADES	Conjunto de condiciones			
	I (10°C)		II (23°C)	
	a	b	a	b
Temperatura de referencia	10	10	23	23
Humedad	Seco	Hum.	Seco	Hum.
Envejecimiento	Envejecido	Envejecido	Envejecido	Envejecido
<i>Seco: es un contenido de humedad bajo, conseguido mediante secado del material.</i>				
<i>Hum: es el contenido de humedad cuando hay equilibrio a 23°C y humedad relativa 50%.</i>				

La precisión de este valor declarado respecto de las condiciones reales de funcionamiento, dependerá lógicamente de la diferencia de las condiciones de temperatura y humedad en obra, respecto a las utilizadas para su certificación (10 o 23°C y estado seco o húmedo).

En el caso de los materiales aislantes térmicos, cada uno cuenta con normas específicas que determinan los parámetros según los cuales han de presentarse sus datos declarados. Entre estos parámetros aparece de forma común a todos ellos la siguiente afirmación: “La temperatura media de referencia debe ser de 10°C” (conjunto de condiciones I):

4.2.1 Resistencia térmica y conductividad térmica

La resistencia térmica y la conductividad térmica se deben basar en mediciones realizadas de acuerdo con la Norma EN 12667 o la Norma EN 12939 para productos de alto espesor.

La resistencia térmica y la conductividad térmica se deben determinar de acuerdo con el anexo A y el anexo C y el fabricante debe declararlas de la siguiente manera:

- la temperatura media de referencia debe ser 10 °C;
- los valores medios obtenidos se deben expresar mediante tres cifras significativas;
- para productos de espesor uniforme, la resistencia térmica, R_D , siempre se debe declarar. La conductividad térmica, λ_D , se debe declarar cuando sea posible. Cuando sea apropiado, para productos de espesor no-uniforme (por ejemplo, productos inclinados o en rollo) solo debe declararse la conductividad térmica λ_D .
- la resistencia térmica, R_D , y la conductividad térmica, λ_D , se deben indicarse como valores límite que representen al menos el 90% de la producción, determinados con un nivel de confianza del 90%;
- el valor de la conductividad térmica, $\lambda_{90/90}$, se debe redondear al alza al siguiente 0,001 W/(m·K) y se debe declarar como λ_D en niveles con intervalos de 0,001 W/(m·K);
- la resistencia térmica declarada, \bar{R}_D , se debe calcular a partir del espesor nominal, d_N , y de la conductividad térmica correspondiente, $\lambda_{90/90}$;

Figura II.47.- Extracto de la norma UNE-EN ISO 13164:2009 (AENOR, 2009a), relativa a las condiciones en las que el fabricante debe declarar la resistencia y conductividad térmica.

No obstante, entre los anteriores parámetros no aparece referencia alguna al contenido de humedad en base al cual se debe declarar el producto, independientemente de cuáles sean los ensayos y procedimientos para determinar las magnitudes. Si bien los fabricantes tienden a declarar sus datos en condiciones similares a las de los ensayos de determinación de la conductividad (que se realizan en condiciones de humedad a 23°C y 50% de HR), tal práctica no queda expresamente regulada por la norma.

Dos importantes fabricantes consultados al respecto de esta cuestión (Ursa, Grupo Uralita y DOW Chemical Company), han asegurado que la conductividad de sus productos obviamente se ajusta a los ensayos de determinación estipulados y que por lo tanto, la conductividad de sus productos se expresa en base a condiciones húmedas o b. Es responsabilidad de los fabricantes determinar estos valores declarados y demostrar la conformidad del producto ofrecido a los mismos.



CT-300
 Producto XPS sin piel, de superficie lisa
 con conductividad térmica de 0,029 W·m/K
 - Reacción al fuego: E

Aplicación: producto diseñado para paneles de madera

Propiedad	Norma	Valor	Unidad
Espesor	EN 823	30 - 100	mm
Ancho	EN 822	595 - 1.250	mm
Largo	EN 822	2.440 - 2.500	mm
Conductividad térmica declarada λ_D	EN 13164	0.029	W/(m·K)

Figura II.48.- Valor en información comercial para conductividad térmica declarada en poliestireno extruido gran formato. Fuente: URSA.

Tabla II.7.- Algunas normas de referencia para la especificación de productos aislantes térmicos para aplicaciones en edificación y condiciones de determinación de la conductividad y resistencia térmica declarada.

Material aislante	Norma UNE especificación	Norma UNE ensayo	Temperatura $\lambda_{\text{DECLARADA}}$	Seguridad
Lana mineral MW	13162:2009	12667:2002 y 12939:2001	10 °C	90 %
Poliestireno expandido EPS	13163:2009			
Poliestireno extruido XPS	13164:2009			
Espuma rígida de poliuretano PUR	13165:2009			
Espuma fenólica PF	13166:2009			
Vidrio celular CG	13167:2009			
Lana de madera WW	13168:2009			
Perlita expandida EPB	13169:2009			
Corcho expandido ICB	13170:2009			
Fibra de madera WF	13171:2009			

La norma UNE-EN 12667:2002 (AENOR, 2002) “Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor” por ejemplo, establece como condiciones sugeridas de laboratorio una temperatura de 296 ± 1 °K, en la que debe dejarse las muestras para que alcancen el equilibrio con el habitáculo y una humedad relativa de 50 ± 10 %. La norma UNE-EN 12939:2001 (AENOR, 2001), refiere similares condiciones, adaptadas para materiales de aislamiento de mayor espesor, dado que el parámetro no puede ser determinado por la suma de los valores referidos a espesores menores.

El valor obtenido a partir de estos ensayos, debe por lo tanto transformarse a una temperatura y condiciones de contorno adecuadas a alguna de las hipótesis señaladas en la tabla II.6 y figura II.47, para la establecer un valor de comercialización del producto o valor declarado. Así, aunque los ensayos para la caracterización de los valores pueden adoptar otras condiciones ambientales, las condiciones declaradas deben especificarse de acuerdo a una de las combinaciones I (con temperaturas de $10 \pm 0,3$ °C), utilizando para ello las ecuaciones II.1 y II.2.

Frente a este valor declarado, se define el valor térmico de diseño ($\lambda_{\text{DISEÑO}}$) o valor de la propiedad térmica bajo condiciones específicas exteriores e interiores que pueden considerarse típicas de la situación de servicio del material en un componente de la edificación. Dicho valor puede obtenerse de tres formas distintas, tal y como recoge la norma UNE-EN ISO 10456:2012:

- Utilizando los mismos ensayos para determinar los valores declarados, para la determinación de la conductividad en otras condiciones, similares a las de uso futuro de la edificación.
- Por estimación o correlación obtenida a partir de los datos declarados.
- Utilizando directamente como valores de diseño los datos declarados, siempre y cuando sean adecuados para las condiciones de uso correspondientes.

En la actualidad, es el propio Código Técnico de la Edificación, quien especifica la utilización de la tercera opción para estimar las condiciones de diseño,

abogando así por la configuración más simple (igualando a la condición declarada I b), pero también la más imprecisa y poco prestacional. La combinación ambiental que ha de utilizarse para la presentación y utilización de los valores de conductividad de diseño, se recoge en su apartado DB-HE1.4.1.8:

“En todos los casos se utilizarán valores térmicos de diseño, los cuales se pueden calcular a partir de los valores térmicos declarados según la norma UNE EN ISO 10456:2001. En general y salvo justificación los valores de diseño serán los definidos para una temperatura de 10°C y un contenido de humedad correspondiente al equilibrio con un ambiente a 23°C y 50 % de humedad relativa”.

Similar tratamiento se aplica en otros documentos amparados por el CTE, como el Catálogo de Elementos Constructivos, donde las características de materiales y productos atienden al mismo criterio:

“Como se indica en el capítulo 4 Productos de Construcción de dicho documento (DB HE-1), los valores térmicos de diseño se pueden calcular a partir de los valores térmicos declarados -obtenidos del mercado CE o de documentos oficialmente reconocidos para cada tipo de producto- según el método descrito en la norma UNE EN ISO 10456:2001. En general y salvo justificación los valores de diseño serán los definidos para una temperatura de 10°C y un contenido de humedad correspondiente al equilibrio con un ambiente a 23°C y 50 % de humedad relativa”.

En este último documento, se ofrecen valores térmicos de diseño, calculados bajo las condiciones indicadas (Ib), al mismo tiempo que se presentan los factores de corrección utilizados para su cálculo a partir de las condiciones declaradas especificadas por las diferentes normas específicas de cada producto.

Material	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m-K	C_p J / kg-K	μ
Arcilla cocida para piezas de albañilería ⁽¹⁾	2300 $\rho \leq 2400$	0,90	1000	10
	2200 $\rho \leq 2300$	0,85	1000	10
	2100 $\rho \leq 2200$	0,79	1000	10
	2000 $\rho \leq 2100$	0,74	1000	10
	1900 $\rho \leq 2000$	0,69	1000	10
	1800 $\rho \leq 1900$	0,64	1000	10
	1700 $\rho \leq 1800$	0,59	1000	10
	1600 $\rho \leq 1700$	0,55	1000	10
	1500 $\rho \leq 1600$	0,50	1000	10

⁽¹⁾ Los valores de diseño corresponden a un percentil del 90% y provienen de los valores declarados obtenidos según la norma EN 1745:2002 y corregidos según los criterios de la norma UNE EN 12524:2000, con un factor de corrección de humedad, F_m , igual a 1,07.

Figura II.49.- Como se aprecia, se aplica únicamente una conversión por humedad ($F_M=1,07$) al producto, de donde se deduce que las condiciones declaradas establecidas por norma UNE-EN 10456:2012, corresponden al grupo de condiciones Ib. Fuente: IETcc, 2011.

Paradójicamente como se aprecia en la figura II.50, otros productos como los aislamientos térmicos, no presentan en el documento ningún factor de conversión por temperatura o humedad, a pesar de que, no se obliga a proporcionar los valores declarados de los mismos, en condiciones húmedas.

Aislantes térmicos				
Material o producto	HE			
	ρ kg / m ³	λ W / m·K	C_p J / kg·K	μ
Poliestireno Expandido (EPS)	-	0,039 ⁽¹⁾ – 0,029	-	20 - 100
Poliestireno Expandido Elastificado (EEPS)	-	0,046 – 0,029	-	
Poliestireno Extruido (XPS)	-	0,039 - 0,033	-	100 - 220
Expandido con dióxido de carbono CO ₂	-	0,039 - 0,029	-	100 - 220
Expandido con hidrofluorcarbonos HFC	-		-	
Lana mineral (MW)	-	0,050 - 0,031	-	1
Espuma rígida de Poliuretano (PUR) o poliisocianurato (PIR)	-		-	
Proyección con Hidrofluorcarbono HFC	30 - 60	0,028	-	60 - 150
Proyección con dióxido de carbono CO ₂ celda cerrada	40 - 60	0,035 - 0,032	-	100 - 150
Plancha con Hidrofluorcarbono HFC o Hidrocarburo (pentano) y revestimiento permeable a los gases.	-	0,030 - 0,027	-	60 - 150
Plancha con Hidrofluorcarbono HFC o Hidrocarburo (pentano) y revestimiento impermeable a los gases.	-	0,025 - 0,024	-	∞
Inyección en tabiquería con dióxido de carbono CO ₂	15 - 20	0,040	-	≤ 20
Otros materiales aislantes				
Corcho expandido (ICB) ⁽²⁾				
Arcilla Expandida ⁽³⁾	325 - 750	0,148 – 0,095	-	1
Panel de perlita expandida (EPB) (>80%)	140 - 240	0,062	-	5
Panel de vidrio celular (CG)	100 - 150	0,050	-	∞
Guata o fieltro de poliéster	20 y 50	0,038 – 0,033	-	
Espuma de polietileno reticular	-	0,072 – 0,038	-	
Espuma de polietileno no reticulado	-	0,042 – 0,035	-	

⁽¹⁾ Valor recomendado. Existen tipos de poliestireno expandido con una conductividad de hasta 0,046 W/mK

⁽²⁾ Véase el apartado 3.3 Maderas

⁽³⁾ Las características de la arcilla expandida corresponden únicamente al árido suelto

Figura II.50.- Como se aprecia, no se aplica conversión alguna por humedad al producto aislante térmico, a pesar de que no existe ninguna obligación de presentar el valor declarado en condiciones diferentes de las secas. Fuente: IETTcc, 2011.

Esta diferenciación entre condiciones declaradas y de diseño, lleva no obstante a errores durante la ejecución del proyecto, por desconocimiento u omisión. Así, no existe ninguna obligación normativa para utilizar los valores de diseño recopilados en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (CEC), por lo que en muchas ocasiones, se utiliza el valor ofrecido por el fabricante (declarado y por lo tanto en condiciones diferentes a las de diseño), en la creencia de que dicho dato será más ajustado que genéricamente aportado por el CEC.

El cálculo térmico resultante, es por lo tanto inadecuado, estimándose para el cerramiento una prestaciones térmicas diferentes a las realmente existentes. Por otro lado, tampoco las condiciones de diseño de los materiales en España, tal y como se demostrará a continuación, poco o nada tienen que ver con una situación de 10°C y humedad contenida a 50% de humedad relativa y 23°C, propuesta por el CTE.

La temperatura de 10°C en los materiales del cerramiento, supuesta una temperatura interior de 20°C, solo se da (simplificando enormemente el cálculo) con temperaturas ambientales muy bajas (cercanas a 0°C), propias de latitudes del norte y centro de Europa, de donde se importan estas regulaciones normativas. No obstante, en España, las temperaturas medias son mucho más cálidas y por lo tanto, peores las prestaciones térmicas de los materiales al ser mayor su temperatura.

Por otro lado, el contenido de humedad de los materiales se establece a una humedad relativa del 50%, valor este, que como se demostrará más adelante, resulta igualmente muy poco conservador para el conjunto del cerramiento. La necesidad de utilizar una temperatura de 23°C se deriva de las condiciones para la realización del ensayo de obtención de la curva de sorción, que se especificaran más adelante en este capítulo II y en el capítulo VI.

Así pues, además de inducir a error, el cálculo térmico realizado es igualmente impreciso, considerando condiciones en los materiales más favorables que las realmente existentes. De esta forma, la norma española no establece distinción alguna entre las condiciones “ideales” de los materiales y sus condiciones de trabajo, amparando así un relevante error de cálculo derivado de la temperatura y el contenido de humedad del material.

Dentro de la envolvente edificatoria, los cerramientos verticales son los más expuestos a variaciones en la humedad de los elementos, dado que no se dispone en ellos barreras impermeables para evitar la filtración de la humedad, a diferencia de cubiertas, suelos o muros en contacto con el terreno.

El CTE, al asumir como condiciones de diseño, una de las combinaciones de valor declarado (Ib), soslaya la intención de las normas europeas de producto, que pretenden garantizar al usuario final unas propiedades aislantes de los productos en las condiciones de trabajo reales de dichos productos.

Dado que ambos valores responden a conceptos diferentes, declarado para establecer condiciones unitarias en la caracterización del producto y de diseño, para su utilización adaptada a las prestaciones requeridas del proyecto, no resulta justificable que ambos parámetros se igualen en un mismo valor unitario. También se incumple la norma UNE-EN ISO 10456:2012, dado que la utilización de valores declarados como valores de diseño, no es adecuada en nuestra climatología, como se demostrará en este mismo apartado.

En el capítulo VI se propondrá una mejor estimación de las condiciones de diseño en nuestro país para caracterizar la conductividad térmica de los materiales, a partir de una aproximación analítica de gran simplicidad.

Propiedades de almacenamiento de agua en los aislantes térmicos

El elemento más sensible a este error asociado al valor de conductividad, es sin lugar a dudas el aislamiento térmico dispuesto en la envolvente, dado que son los materiales de mayor relevancia para obtener la prestación térmica necesaria. Así, la alteración de sus propiedades térmicas por consecuencia de la humedad y la temperatura es mucho más grave que en otros materiales.

La utilización de aislantes térmicos con escasa capacidad de absorción de humedad en su sistema poroso (no hidrófilos) o bien la protección de los mismos frente a la humedad exterior en la envolvente, para evitar su humedecimiento y minimizar la alteración conductiva, es un factor clave en el diseño del cerramiento y por lo tanto, de la prestación de protección frente a la humedad, si se quiere garantizar simultáneamente un adecuado comportamiento higrotérmico.

La cantidad de agua absorbida por un aislante térmico, dependerá en gran medida de la estructura de su matriz porosa interna. Así, materiales conformados a base

de fibras, como las lanas minerales, presentaran elevados valores de absorción, mientras que espumas plásticas en celda cerrada, presentan variaciones en su contenido de humedad más reducidas, sean cuales sean las condiciones de contorno a las que se vean expuestas.

Diferentes procedimientos son utilizados para determinar la absorción de agua por parte de cada material aislante, distinguiéndose tanto según la fuente de humedad a la que se someten los mismos (vapor o agua líquida), como por la forma de su aplicación: inmersión total o parcial de la muestra, exposición a la difusión de vapor o sometimiento del material a ciclos de hielo - deshielo.

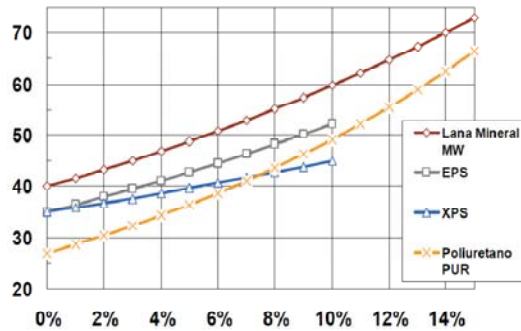


Figura II.51.- Conductividad térmica (mw/mK) según contenido en humedad (% en volumen), para cuatro aislantes térmicos habituales, según norma EN ISO 10456:2001. Fuente: AIPEX, 2011.

Por el ensayo UNE-EN 12086:1998 (AENOR, 1998), “Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de las propiedades de transmisión del vapor de agua”, los materiales se ven sometidos, bajo condiciones de temperatura estables a 23°C, a la difusión de vapor como consecuencia de inducir diferentes condiciones de humedad relativa en los extremos de la probeta. La repetición de sucesivas pesadas de la probeta, permite conocer la cantidad de vapor de agua que se transmite a lo largo del material de uno a otro extremo de la probeta.

El citado ensayo permite obtener del material algunas propiedades tales como la permeancia al vapor de agua (W), resistencia al vapor de agua (Z), permeabilidad al vapor de agua (δ) o factor de resistencia a la difusión de agua (μ), los cuales se analizarán con mayor detalle en este capítulo.

A mayor diferencia de presión de vapor entre ambos lados de la probeta (ΔP_v), mayor es la difusión que se produce y mayor el transporte de humedad hacia el lado de la probeta puesta en contacto con el desecante. La presión y temperatura de realización del ensayo, influyen igualmente en los datos obtenidos a través del mismo.

Una variante de este ensayo la constituye la norma UNE-EN 12088:1997 (AENOR, 1997b), “Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a largo plazo por difusión”, en el que las probetas se encuentran sometidas a un gradiente de presión de vapor ΔP_v y temperatura ΔT , durante un periodo de 28 días, a efecto de simular condiciones continuadas de muy elevada humedad relativa (cercana al 100%).

El ensayo representa la máxima cantidad de agua que pueden llegar a absorber estos materiales, en una situación normal, caracterizada por la ausencia de agua líquida en el cerramiento.

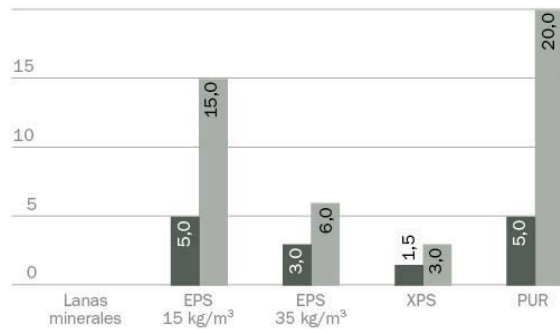


Figura II.52.- Resultados del ensayo de absorción de agua por difusión, según UNE-EN 12088:1997 para productos aislantes térmicos convencionales (% en volumen). El elevado contenido de agua se debe a las condiciones cercanas a la saturación (100% HR) utilizadas.
Fuente: AIPEX, 2011.

Los resultados, pueden expresarse en base a contenido de agua por superficie o por volumen de la probeta, de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$w_{dp} = \frac{m_{28 \text{ días}} - m_0}{\text{Área probeta}} \quad [\text{kg/m}^2]$$

$$w_{dv} = \frac{m_{28 \text{ días}} - m_0}{\text{Vol probeta}} \cdot \frac{100}{\rho_{\text{agua}}} \quad [\text{m}^3_{\text{agua}} / \text{m}^3_{\text{prob}}] [-]$$

Siendo:

m_0 , Masa inicial de la probeta.

m_{28} , Masa de la probeta tras ser sometida a 28 días de absorción.

El ensayo definido por la norma UNE-EN 12087:1997 (AENOR, 1997a), “Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a largo plazo por inmersión”, pretende establecer la misma caracterización, esta vez, sometiendo a la probeta a condiciones de contacto con agua líquida. Esta inmersión, que puede ser completa o únicamente parcial, puede expresarse, como en caso anterior, en función de la superficie del material o en base a su volumen (valor porcentual).

En este ensayo, la densidad del material y su estructura porosa tienen una influencia capital en la cantidad de agua absorbida, impidiendo en la mayoría de los casos, el desplazamiento libre del agua líquida por los espacios intersticiales de la matriz porosa del producto. Debido a ello, los resultados de absorción obtenidos suelen ser menores a los del ensayo anterior, donde el vapor tiene mejor acceso a todo el volumen del material.

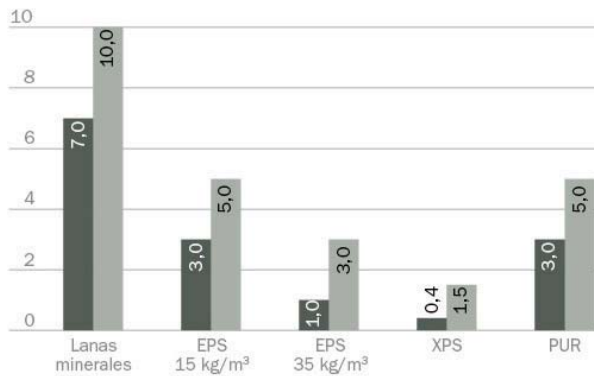


Figura II.53.- Resultados del ensayo de absorción de agua por inmersión, según UNE-EN 12087:1997 para productos aislantes térmicos convencionales (% en volumen). Los resultados para lanas minerales se han ensayado únicamente para un periodo de 48 horas. Fuente: AIPEX, 2011.

En consecuencia, salvo lanas minerales, con una matriz porosa abierta o poliestirenos expandidos de baja densidad, los productos aislantes presentes en el mercado en la actualidad, presentan un buen comportamiento frente al agua líquida, por lo que la reducción de sus propiedades térmicas es más moderada, con un menor incremento de su conductividad térmica.

Otra forma de absorber humedad se describe mediante el ensayo UNE-EN 12091:1997 (AENOR, 1997c), “Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la resistencia a ciclos de congelación y descongelación”, que si bien no se orienta a la obtención de valores de absorción, permite obtener valores de almacenamiento de agua por la acción de ciclos de hielo y deshielo sobre el material.

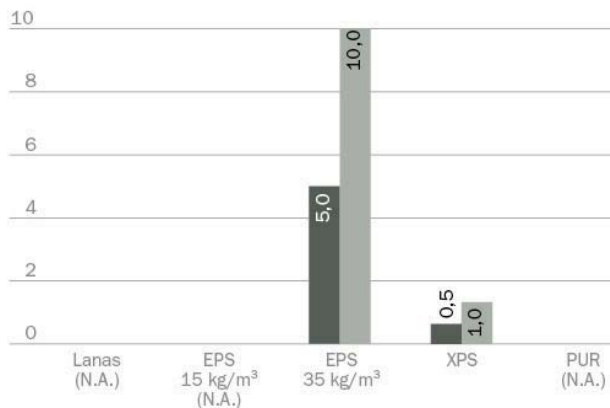


Figura II.54.- Resultados del ensayo de absorción de agua por ciclos de hielo-deshielo, según UNE-EN 12091:1997 para productos aislantes térmicos convencionales (% en volumen), tras ensayo de inmersión. Fuente: AIPEX, 2011.

En él, el material se somete a ciclos continuos (300) de una hora, con variaciones de temperatura de 20°C a -20°C, una vez se ha sometido a uno de los dos

ensayos anteriores (material humedecido por lo tanto en condiciones iniciales). El ciclo de enfriamiento se realiza en seco, mientras que el calentamiento se hace sumergido en agua. Similares condiciones de ensayo, se desarrollan en otros países en base a sus propias normativas nacionales.

Country	No. of Samples	Method of Saturation	Freezing Conditions	Thawing Conditions	No of Cycles	No of Days for F/T Cycles
Germany DIN 52252 Part 1	10	24h progressive immersion 48h total immersion	Omni-Directional -15°C in 7-8h	Complete immersion in water for 60 min	25	8
Part 3	12-20 Panel 0.25sqm Jointed with rubber	As in Part 1 + 8h spray	Uni-Directional -15°C in about 3h	Water spray for 20 min	50	15
Netherlands NEN 2872 Belgium Method NBN B23/002	5 Joint Method	1 Full Vacuum 2½h + 96h immersion 2 Half vacuum (51Kpa) 2½h + 96h immersion	Unidirectional on Sand Tray (-5°C and -15°C) for 16h	Complete immersion for 8h	24	24
France NF P 13-305	7	1 48h immersion 2 400mm vacuum	Uni-Directional Face down on cold plate (-15°C)4h	In air 4h, immersion in water for 16h	25	25
UK DD-BSI	Panel of 30 with mortar	7 day immersion	Uni-Directional -15°C in 2h (400 W/m²)	20 min convected heat and 2 min water spray	100	10

Figura II.55.- Compendio de condiciones de ensayo a helacidad en el ámbito europeo. A pesar de variaciones en las condiciones de congelación y descongelación y en el número de ciclos de exposición, todos ellos siguen una metodología similar.

Los anteriores ensayos permiten establecer una caracterización comparativa de las prestaciones de los diferentes aislamientos térmicos en contacto con la humedad. No obstante, otro ensayo debe ser igualmente mencionado, dadas las referencias establecidas en el propio Código Técnico de la Edificación al mismo como equivalente de los anteriores:

A efectos de disposición de los materiales aislantes térmicos en la envolvente, la norma define como aislante no hidrófilo, como aquel que tiene una succión o absorción de agua a corto plazo por inmersión parcial menor que 1kg/m^2 , según ensayo UNE-EN 1609:1997 (AENOR, 1997d) o bien una absorción de agua a largo plazo por inmersión total menor que el 5%, según ensayo UNE-EN 12087:1997 ya presentado.

La norma UNE-EN 1609:1997 “Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a corto plazo. Ensayo por inmersión parcial”, establece unas condiciones de ensayo similares a su homónimo a largo plazo, pero con una duración de solo 24 horas.

La caracterización no hidrófila de un aislamiento, se obtiene por lo tanto si el material es capaz de mantenerse relativamente seco durante un periodo de 1 día, sometido a la acción superficial de agua. A este respecto, casi todos los aislantes plásticos ostentan la consideración de no hidrófilos, aunque ello no significa que sus prestaciones térmicas no se vean afectadas por la acción de la humedad (aunque se verán afectadas en menor medida que otros aislantes tales como lanas minerales y productos aislantes naturales, tales como lana de oveja).

La simplificación adoptada al estimar como referencia un contenido de humedad en equilibrio a 23°C y 50% de HR, no queda del lado de la seguridad e introduce un importante componente de indeterminación en el cálculo. En consecuencia,

actualmente se están considerando conductividades térmicas que no se cumplen durante la vida útil del edificio, representando una variación significativa de la prestación, por escasa que sea la absorción de agua por parte de los materiales aislantes.

Dejando a un lado los materiales aislantes térmicos, diferentes normas recogen metodologías particulares para evaluar el grado de absorción de humedad, en función de la naturaleza concreta del material. La expresión y fundamentos del ensayo, coinciden no obstante, con los señalados hasta ahora.

Tabla II.8.- Ensayos de caracterización de la absorción de agua para una amplia gama de materiales de construcción.

NORMA	MATERIAL
UNE 67027:1984	Ladrillos de arcilla cocida
UNE 83982:2008	Hormigón endurecido
UNE-EN 382-2:1994	Tableros de fibras
UNE-EN 772-7:1999	Fábrica de albañilería
UNE-EN 772-11:2001	Fábrica de albañilería
UNE-EN 1015-18:2003	Morteros para albañilería
UNE-EN 1925:1999	Piedra natural
UNE-EN 13755:2008	Piedra natural
UNE-EN 14617-1:2005	Piedra aglomerada
UNE-EN 12808-5:2009	Material de rejuntado de baldosas cerámicas
UNE-EN 10545-3:1997	Baldosas cerámicas
UNE-EN 1097-6:2001	Áridos de construcción
UNE-EN 1170-6:1998	Hormigón prefabricado armado con fibra de vidrio

Como corolario, ha de mencionarse también que en cualquier caso, la absorción de humedad por parte de todos los materiales que forman parte de la envolvente, no solo afecta a la conductividad térmica del material incrementando su conductividad, sino que también incide sobre su inercia térmica y por lo tanto sobre su comportamiento térmico diferido en relación a las prestaciones inicialmente estimadas.

Rango de variación de la conductividad de diseño respecto a la conductividad declarada

Partiendo de las figuras mostradas anteriormente que representan los valores de absorción de agua por parte de los diferentes materiales de aislamiento térmico, es posible estimar el rango de error máximo que puede llegar a alcanzarse en condiciones de trabajo del material, si se parte de valores de conductividad definidos en base a 10°C y condiciones secas. Para ello nos apoyamos en la norma UNE-EN ISO 10456:2012.

A pesar del escaso porcentaje en volumen de agua absorbida por estos materiales, esas cantidades son suficientes para provocar importantes pérdidas en las prestaciones térmicas de los mismos, respecto a unas condiciones ideales secas.

Tabla II.9.- Datos de partida para la comparación del error posible en la caracterización de la conductividad térmica, derivado del contenido de humedad, para cuatro aislamientos térmicos.

Material	f_{ψ} (*)	Ψ de partida (**)	Ψ mínima	Ψ máxima (***)
Lana de roca	4	despreciable	0	0,1
EPS 15 kg/m ³	4	despreciable	0	0,05
XPS	2,5	despreciable	0	0,015
PUR	6	despreciable	0	0,05

(*) A partir de datos reflejados en UNE-EN ISO 10456:2012.

(**) En condiciones "secas", obtenidas mediante proceso de secado [m³/m³]

(***) Calculados a partir de los resultados anteriores [m³/m³] aportados por AIPEX para aislamientos térmicos sometidos al ensayo UNE-EN 12087:1997.

Tal y como se aprecia en la siguiente figura, los aislantes de características más hidrófilas, son precisamente aquellos en los que mayor error se puede cometer si se utilizan valores de conductividad en condiciones secas como valor declarado o de partida. En aislantes de gran calidad, como el XPS, la variación de conductividad por humedad es cuantitativamente menor (+3,8%), mientras que en otros materiales hidrófilos como la lana de roca, esta relación se dispara (+49,2%).

Independientemente de la magnitud de error cometido por la presencia de humedad, en todos los casos el valor de conductividad de los materiales en condiciones secas (condiciones declaradas Ia) se sitúa en el punto más optimista y por lo tanto del lado de la inseguridad. De deduce por lo tanto, que de adoptarse unas condiciones secas de partida en los aislantes, estas serían irreales y se verían reducidas en las condiciones reales de trabajo.

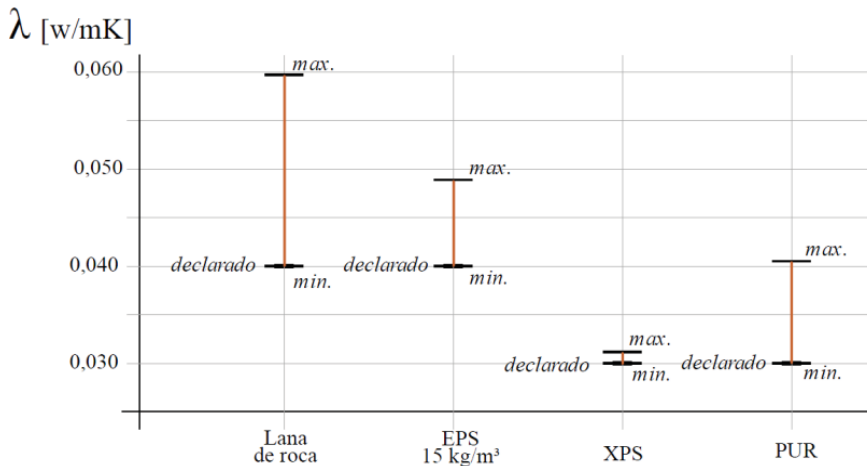


Figura II.56.- Relación entre el valor de conductividad declarado en condiciones secas y los valores extremos de conductividad determinados por el contenido de humedad máximo y mínimo obtenido en el ensayo UNE-EN 12087:1997, para cuatro aislamientos térmicos convencionales.

Similar aproximación puede realizarse si se analizan las variaciones de temperatura a la que se enfrentan los cerramientos. Analizando las situaciones de temperatura más extremas en varios emplazamientos españoles, puede suponerse simplídicamente que la temperatura de los aislantes corresponde a la media entre la temperatura exterior y la temperatura interior del recinto (habitualmente a efectos

normativos, fijada en 20°C). Adoptando esta simplificación puede realizarse el siguiente análisis para cuatro ciudades españolas representativas:

Figura II.10.- Datos de partida para la comparación del error posible en la caracterización de la conductividad térmica, derivado de la temperatura, para cuatro aislamientos térmicos en 4 emplazamientos españoles representativos.

Ciudad	Material	f_r (*)	$T_{\text{valor dec.}}$ °C	$T_{\text{mínima}}$ (**)	$T_{\text{máxima}}$ (***)	$T_{\text{min aisl}}$ °C	$T_{\text{max aisl}}$ °C
Sevilla	Lana de roca	0,0056	10	10,7	26,8	15,35	23,40
	EPS 15 kg/m ³	0,0041					
	XPS	0,0045					
	PUR	0,005					
Madrid	Lana de roca	0,0056		6,2	24,4	13,10	22,00
	EPS 15 kg/m ³	0,0041					
	XPS	0,0045					
	PUR	0,005					
Barcelona	Lana de roca	0,0056		8,8	23,0	14,40	21,50
	EPS 15 kg/m ³	0,0041					
	XPS	0,0045					
	PUR	0,005					
Burgos	Lana de roca	0,0056		2,6	18,4	11,30	19,20
	EPS 15 kg/m ³	0,0041					
	XPS	0,0045					
	PUR	0,005					

(*) A partir de datos reflejados en UNE-EN ISO 10456:2012.

(**) Temperatura mensual media en el mes de enero, según CTE DB-HE1. Anejo G. Son factibles resultados puntuales muy inferiores a los presentados.

(***) Temperatura mensual media en el mes de julio, según CTE DB-HE1. Anejo G. Son factibles resultados puntuales muy superiores a los presentados.

Tal y como se aprecia, las temperaturas de los materiales en el cerramiento, se estiman siempre por encima de la temperatura de 10°C utilizada para determinar el valor de conductividad de diseño que ha de ser considerado en base a los parámetros definidos por el CTE. Esta disparidad entre la temperatura considerada para el cálculo y la realmente existente de media en el cerramiento, sugiere que los valores de resistencia térmica del cerramiento se están actualmente sobrestimando, incluso durante los meses de menor temperatura media (enero) e incluso en los emplazamientos de climatología más fría de nuestro país.

Como se observa en la figura anterior, el valor de temperatura para las condiciones de conductividad de diseño utilizadas por el CTE, siempre se sitúa por debajo del rango de oscilación medio de dos ciudades españolas elegidas por sus altas o bajas temperaturas características.

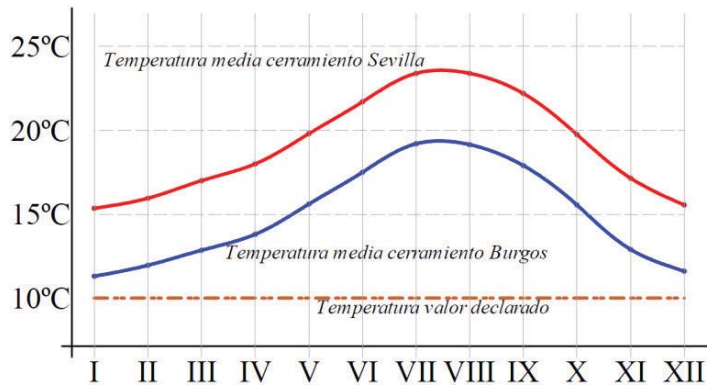


Figura II.57.- Evolución de la temperatura media mensual del cerramiento en emplazamientos españoles de meteorología opuesta, frente a la temperatura de referencia utilizada para la caracterización de su conductividad (10°C), a partir de los datos ofrecidos por el CTE DB-HE1 Anejo G.

En la figura siguiente se analiza la diferencia entre los valores de conductividad asociados a las temperaturas del mes de enero y julio (mínimo y máximo respectivamente) y la conductividad declarada, establecida para un cerramiento a temperatura de 10°C. Para el cálculo de diseños valores se han utilizado las expresiones de ajuste derivadas de la ecuación II.1, así como los parámetros recogidos por la norma UNE-EN ISO 10456:2012.

Cuanto mayor es la conductividad del aislamiento térmico, mayor es el error cometido al utilizar el valor fijado por el CTE. En la lana de roca, la variación de conductividad es muy relevante (+3% a 7,8% para el caso de Sevilla), mientras que si nos centramos en el XPS, esta variación en algo menor (+2,4 a 6,2%).

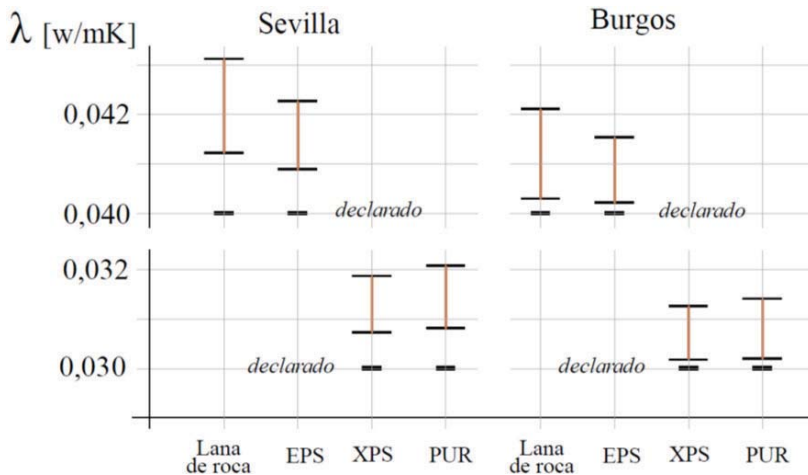


Figura II.58.- Relación entre el valor fijo de conductividad declarado y los valores extremos de conductividad condicionados por las temperaturas en el cerramiento, para cuatro aislamientos térmicos convencionales y dos emplazamientos españoles de meteorología opuesta.

Más relevante resulta la influencia de la climatología, dado que para una ciudad comparativamente más fría como Burgos, estas variaciones se reducen bastante (+0,7 a 5,3%, para lana de roca y +0,6 a 4,2%, para XPS).

La variabilidad y error cometido por el uso de valores declaradas como valores de diseño es tanto mayor cuanto más cálida es la climatología del emplazamiento, lo cual es especialmente grave en nuestro país, caracterizado por temperaturas más benignas que las existentes en otras latitudes europeas, como las que han condicionado la adopción de una temperatura de referencia de 10°C para la caracterización.

No en vano, las normas ISO europeas suelen derivarse a partir de normativas DIN o BS (alemanas o británicas). Importar literalmente para las normas UNE estas normas de ámbito europeo, soslayando la necesidad de adecuación al ámbito español (como actualmente se está haciendo, a pesar de la función de las propias normas UNE es precisamente realizar esta adaptación), conlleva importantes deficiencias, como se va a ir demostrando a lo largo de este trabajo.

Tabla II.11.- Datos de temperaturas medias en el mes de enero en distintas localidades europeas, así como la aproximación a una temperatura media del cerramiento en tales circunstancias (supuesto interior a 20°C). Fuentes: Protiempo.es y CTE DB-HE1. Anejo G.

Emplazamiento	T _{MED ENERO}	T _{MED ENERO CERRAMIENTO}	T _{DEC.}	Diferencia
Berlín	-0,5	9,75	10 °C	0,25
Munich	1,5	10,75		-0,75
Bruselas	3,5	11,75		-1,75
Paris	3,5	11,75		-1,75
Metz	1	10,5		-0,5
Londres	3,5	11,75		-1,75
Manchester	3,5	11,75		-1,75
Amsterdam	3	11,5		-1,5
Madrid	6,2	13,1		-3,1
Barcelona	8,8	14,4		-4,4

Se concluye por lo tanto la necesidad de utilizar valores de diseño para la conductividad de los materiales adaptados a la climatología española, en lugar de adoptar sin el necesario sentido crítico, valores adecuados para otros ámbitos europeos, referidos a climatologías con temperaturas medias inferiores a las españolas (Alemania, Reino Unido, Francia, Países Bajos...).

Esta adaptación, referida a la correcta cuantificación de la temperatura y contenido de humedad presente en los materiales de construcción españoles, constituirá el aspecto específicamente abordado a lo largo del capítulo VI, permitiendo ofrecer mediante el mismo, una caracterización prestacional del comportamiento higrotérmico de los cerramientos en nuestro país.

A pesar de estas conclusiones, fácilmente deducibles a partir de un cálculo somero, el tema no recibe el interés de legisladores ni técnicos encargados de realizar los cálculos térmicos en el proyecto. En su lugar, el interés se centra en la mejora de la

estimación de puentes térmicos y en determinar adecuadamente el espesor de aislamiento necesario para cumplir la norma, sin apreciar la falta de prestacionalidad de los datos de partida que utilizan en sus estimaciones.

Estrategias para la correcta caracterización de la prestación higrótérmica

La superposición de ambos efectos anteriores, incremento del contenido de humedad y de la temperatura, provoca efectos combinados que aumentan la conductividad del aislamiento térmico. Aunado al mismo efecto en a los restantes materiales de la envolvente, las prestaciones térmicas del cerramiento se reducen de forma no despreciable, incrementando el consumo energético previsto para la edificación.

La temperatura de 10°C estimada como referencia para los materiales de construcción, se ha demostrado en el punto anterior muy alejada de las condiciones reales del cerramiento durante los periodos térmicos más exigentes (verano) implicando un error relevante en los cálculos realizados. Similar efecto se tiene con los contenidos de humedad, que pueden fluctuar muy acusadamente respecto al valor de diseño fijado en condiciones de equilibrio a 23°C y 50% de humedad relativa.

La adopción de criterios tan simplistas como asumir una temperatura y humedad constante en todos los cerramientos (utilizando para ello una condición idéntica a la opción Ib), resulta difícilmente justificable toda vez que en la actualidad están disponibles y son exigidos para la justificación de la demanda energética, programas informáticos de gran complejidad, sustituyendo al cálculo analítico manual.

Por otra parte, un código normativo en edificación prestacional como el CTE, no debería amparar en su articulado este tipo de criterios, que impiden caracterizar adecuadamente el comportamiento del edificio respecto a las solicitudes externas de cada emplazamiento y que además no se ajustan para potenciar el ahorro energético.

Este hecho, junto con la lógica variabilidad en las condiciones de temperatura y humedad en el aislamiento (y en el resto de materiales de la envolvente), propicia una no despreciable inexactitud en los cálculos térmicos y una clara indeterminación en cuanto a la prestación térmica realmente ofrecida por el cerramiento.

Las condiciones de “diseño” impuestas por el CTE distan mucho de las existentes en los materiales de construcción. De hecho, para algunos componentes, las condiciones de diseño y declaradas nunca se dan en el mismo, operando en todo momento en condiciones de temperatura superiores a 10°C y con contenidos de humedad superiores a los previstos.

Dos pueden ser las estrategias adoptadas para considerar en el cálculo térmico, las condiciones de trabajo reales de los materiales de la envolvente:

- Mediante la utilización de programas de cálculo numérico.
- Mediante aproximaciones analíticas, basadas en UNE-EN 10456:2012.

Utilizando programas de cálculo numérico para realizar el cálculo térmico, es posible considerar la temperatura y humedad exacta sobre los elementos de la envolvente

en cada momento de utilización, evaluando así la conductividad de los materiales en cada momento concreto con gran precisión.

De esta forma se obtienen resultados cercanos al comportamiento real, pero que también introducen una gran complejidad de cálculo asociada a la utilización de estos recursos informáticos. No en vano, los valores de conductividad de los materiales fluctúan en función del material, climatología, localización, momento concreto estudiado y diseño constructivo de la envolvente.

Para aprovechar la potencialidad de este planteamiento, la mayoría de los softwares existentes hacen uso de simulaciones numéricas. La norma EN 15026:2007, "*Hygrothermal performance of building components and building elements - Assessment of moisture transfer by numerical simulation*", uniformiza actualmente los criterios de cálculo requeridos en este tipo de cálculos.

Además de la elevada complejidad del cálculo, para alcanzar la precisión deseada en los resultados, se necesita igualmente una gran precisión en los datos de partida utilizados: como condiciones de contorno, es frecuente precisar series climatológicas completas de radiación, precipitación, viento, temperatura, humedad relativa... y las condiciones interiores asociadas a estas series en cada momento de estudio, todo ello recopilado en intervalos de tiempo muy cortos.

En muchos casos, estos datos no se encuentran disponibles, no se remontan en el tiempo suficientemente o se circunscriben a un periodo de tiempo concreto, como un año y por lo tanto no son extrapolables a otros periodos. En otros casos, la localización de la edificación, lejos de puestos meteorológicos o receptores de medidas, hace que los citados datos, simplemente no existan y su obtención tenga un coste temporal y económico inasumible.

La presencia de factores locales no generalizables por los programas informáticos, como la orientación de fachada, altura, proximidad de otros edificios, existencia de aleros, vegetación en fachada, proximidad a otros edificios... se suma a la dificultad de estimar de forma precisa las condiciones de contorno.

Ha de sumarse a todo esto, la influencia que tiene el uso interno que se haga de la edificación por parte del usuario, condicionando las condiciones internas de temperatura y humedad. Estas variaciones aleatorias en las condiciones interiores, alteran decisivamente el comportamiento real, por muy preciso que haya sido el proceso de cálculo utilizado.

No contar con datos de partida de suficiente precisión para alcanzar la precisión requerida en los resultados, constituye un factor muy relevante de indeterminación: la estimación inexacta a las condiciones climáticas, en base a datos registrados por estaciones meteorológicas distantes muchos kilómetros, es un claro ejemplo de ello. Todo ello propicia que la precisión del resultado se vea desvirtuada por la inexactitud de los datos de partida, que pueden no estar a la altura de la precisión demandada por el cálculo.

Consecuentemente, la validez de este tipo de sistemas suele restringirse por estas limitaciones a ámbitos de investigación, para validar metodologías de cálculo analítico o para comparar prestaciones de diferentes envolventes, bajo unas condiciones externas iguales y concretas.

Para el técnico diseñador, arquitecto o ingeniero, la utilización de este tipo de programas de cálculo numérico en cada vez más numerosos ámbitos del proyecto (cálculo térmico, estructural, instalaciones...), incrementa en gran medida la complejidad, coste y tiempo de ejecución del proyecto.

Además en la práctica, los beneficios derivados suelen ser generalmente pírricos, dado que la práctica constructiva actual no permite aprovechar la potencialidad de tal precisión de cálculo, ya que la misma se encuentra alejada de tolerancias dimensionales exactas y de unas condiciones de contorno definidas, controlables y mantenidas.

Por todo ello, se va a adoptar en este trabajo una aproximación analítica basada en la norma UNE-EN 10456:2012 para determinar un valor de conductividad de diseño más adecuado, con el objetivo de mejorar el cálculo térmico actual del edificio sin recurrir a la utilización de herramientas informáticas de cálculo numérico.

Para ello, a lo largo del capítulo VI se presenta una metodología española, capaz de determinar groseramente para cada emplazamiento español, las condiciones esperadas de contenido de humedad y temperatura en los materiales de los cerramientos verticales, permitiendo de esta forma ajustar prestacionalmente la conductividad térmica utilizadas en el cálculo.

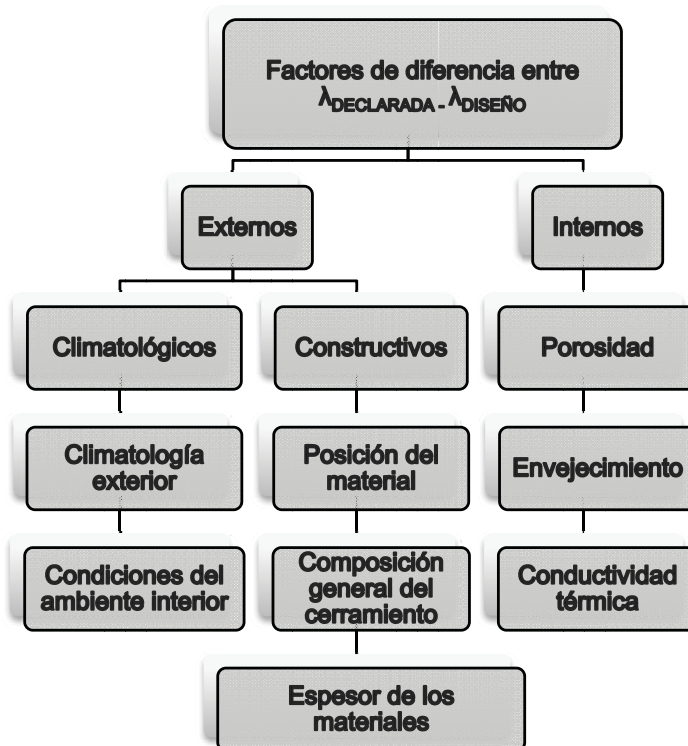


Figura II.59.- Parámetros más importantes de influencia en la variación de las condiciones de diseño del producto.

En todo caso, los aspectos presentados permiten plasmar algunas conclusiones de relevancia acerca de la interrelación de humedad y temperatura en la prestación de aislamiento térmico en el cerramiento:

- El material más sensible ante variaciones de temperatura y humedad es el aislamiento térmico, dado que es este componente el responsable de aportar en gran medida la resistencia térmica de la envolvente. Se establece por lo tanto la necesidad de salvaguardarlo de incrementos excesivos de humedad.
- La magnitud del error es tanto más significativa cuando más cálida es la climatología del emplazamiento y peor la protección frente a la humedad. La magnitud del error se magnifica si se analizan las enormes cantidades de energía destinadas a la climatización de edificios en el conjunto del país.
- Las condiciones de trabajo de los materiales de construcción, son más desfavorables en cuanto a su comportamiento térmico, que las declaradas por los fabricantes en los productos aislantes, por lo que es prioritario utilizar valores ajustados de conductividad de diseño, tal y como se propondrá en el capítulo VI.
- En caso de no utilizarse un valor de diseño para el cálculo de la envolvente, deberían definirse valores térmicos declarados del producto, más cercanos a las condiciones de trabajo en la climatología española. En su lugar, podría exigirse resistencias térmicas R_T más desfavorables, introduciendo un coeficiente o grado de seguridad en el cálculo térmico del cerramiento.
- Independientemente de la variación de propiedades debida a la temperatura, disponer revestimientos exteriores con mayor resistencia a la penetración de agua y menor capacidad para permitir el paso de vapor a través del cerramiento, minimizarán la alteración sufrida en las prestaciones térmicas como consecuencia de la humedad.

Como afección térmica secundaria, dado que varía el contenido de humedad en el material, también varía la masa y con ella la inercia térmica del mismo. Dado que la inercia térmica se relaciona entre otros aspectos con la capacidad calorífica de los materiales, además de con su conductividad térmica, la variación de presencia de agua en el cerramiento (sustancia de gran poder calorífico), provoca invariablemente, una alteración de la inercia térmica en el mismo.

También el comportamiento térmico de la envolvente, altera igualmente el desarrollo de afecciones en los elementos de construcción. Así, las temperaturas que se dan en cada punto del cerramiento, influyen sobre la velocidad de las reacciones químicas que pueden producirse, solubilidad de sales presentes, evaporación, condensación o congelación de humedad en el sistema poroso, permeabilidad al paso del agua... generando un abanico infinito de dependencias cruzadas que pueden ser minimizadas, garantizando una adecuada protección frente a la humedad de los cerramientos edificatorios.

II.3.- CARACTERIZACIÓN DE LA SOLICITACIÓN POR HUMEDAD ATMOSFÉRICA

La envolvente térmica, se encuentra sometida a una acusada interacción higrotérmica en sus superficies interiores y exteriores. La variación de las condiciones ambientales de su entorno provoca modificaciones de sus condiciones de humedad y temperatura, almacenando o cediendo humedad y calor al exterior.

Habitualmente se distingue entre las condiciones ambientales interiores a la envolvente, condicionadas por la actividad humana desarrollada en los edificios y las correspondientes a la acción atmosférica exterior.

La consideración de las condiciones interiores se ha circunscrito habitualmente al cálculo de condensaciones intersticiales y superficiales, asumiendo la inexistencia de presencia de agua líquida en contacto con la cara interior del cerramiento (exceptuando situaciones accidentales).

Las condiciones ambientales interiores pueden variar en el tiempo en función del uso establecido para el recinto interior. La utilización concreta del recinto (cocina, baño, estar, dormitorio...), el tiempo de utilización, número de ocupantes, estanqueidad al aire exterior, periodos de abertura de ventanas, hábitos de utilización, calefacción existente,... propician que las condiciones interiores no sean constantes y su valor sea diferente en cada caso.

A este respecto, son varias las normativas que tratan de estandarizar las condiciones de diseño interior a considerar en el análisis de la envolvente, orientadas a la prevención de condensaciones intersticiales y superficiales. Concretamente, la recogida por el CTE se fundamenta en la norma UNE-EN ISO 13788:2002, a la cual se hace referencia en el propio texto legislativo y que se inspira a su vez en una norma DIN previa.

Según la misma, la temperatura interior en el recinto puede considerarse como 20°C a lo largo de todo el año, mientras que la humedad relativa, oscila en función de la naturaleza del uso al que se destine el local. Si bien no existe otro tipo de regulación relativa al respecto, es indudable que las condiciones de temperatura en el interior de un local distan de situarse en dicha temperatura constante durante todo el año... La existencia de locales carentes de calefacción, así como la influencia de la estacionalidad del clima en locales no climatizados (temperatura interior estival superior a 25°C en nuestro país en ausencia de A/A), hace que las condiciones descritas por la norma no se ajusten enteramente a la realidad existente.

Otras normas como EN 15026:2007 (CEN, 2007), establecen una cierta dependencia entre la temperatura exterior al recinto y la temperatura interior, fijando 20°C siempre y cuando la temperatura exterior se sitúe por debajo de 10°C. No obstante, al pasar de 20°C en el exterior, debe adoptarse 23°C como temperatura interior. Otras normas estadounidenses, como BSR/ASHRAE Standard 160, permiten considerar como solicitación interior las condiciones impuestas en el sistema de calefacción/refrigeración por el usuario, dato por otra parte, desconocido en el momento en el que se realiza el diseño.

Adoptar estas simplificaciones de las condiciones interiores conlleva la posibilidad de que se den situaciones más desfavorables que las contempladas para la aparición de condensaciones intersticiales y superficiales.

Para la determinación de la humedad relativa interior, el CTE establece cinco tipos de espacios, en función de su clase de higrometría, a cada uno de los cuales asigna una humedad relativa determinada, constante en el interior del recinto.

Tabla II.12.- Clases de higrometría interior y humedad relativa considerada por el CTE para el cálculo de ocurrencia de condensaciones intersticiales. En la gráfica se indica la variación de la humedad interior en función de las clases de higrometría y temperatura exterior. Fuente: UNE-EN ISO 13788:2002.

HIGROMETRÍA	CARACTERIZACIÓN	
	HR	Tipo de espacios
5	70 %	Lavanderías, restaurantes, piscinas
4	62 %	Viviendas de alta ocupación, pabellones, cocinas
3	55 %	Viviendas de baja ocupación
2	55 %	Oficinas, tiendas
1	55 %	Zonas de almacenamiento

Otro método alternativo, permite establecer la humedad relativa en función de las condiciones exteriores del cerramiento, sumando una cierta presión de vapor Δp o contenido de humedad del aire en volumen Δv , a los existentes en el exterior del edificio. Este incremento se obtiene conocida la temperatura media mensual exterior y la clase de higrometría en el local considerado, a partir de la figura siguiente. Ambos deben ser mayorados por 1,1 como coeficiente de seguridad.

$$P_{v, interior} = P_{v, exterior} + \Delta P \quad [\text{Pa}]$$

$$v_{interior} = v_{exterior} + \Delta v \quad [\text{kg/m}^3]$$

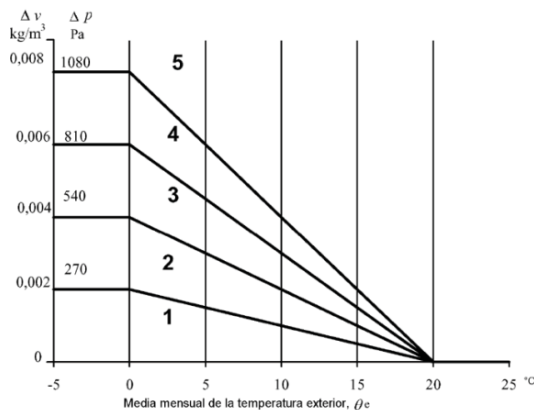


Figura II.60.- Incremento de presión de vapor o contenido de humedad en el aire en relación a la clase higrométrica del recinto interior considerado. Fuente: UNE-EN ISO 13788:2002.

También es posible obtener la humedad relativa, conocida la temperatura interior, el ritmo de producción de humedad en el interior del local [kg/h] y la tasa de renovación de aire [h⁻¹]. Para este cálculo, debe mayorarse la humedad relativa resultante por 1,05 para absorber posibles imprecisiones en el método.

$$\Delta v = \frac{G}{nV} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Siendo:

- G ritmo de producción de humedad interior [kg/h].
 n tasa de renovación de aire [h⁻¹].
 V volumen del recinto interior ocupado por el aire [m³].

Tabla II.13.- Tabulación experimental de producción de humedad interior habitual, en función de tres rangos de actividad. Fuente: Gavira y Linares, 2005.

Rango	Producción de humedad interior [kg/h]
Producción alta de vapor	0,833
Producción media de vapor	0,416
Producción baja de vapor	0,208

Conocido alguno de los anteriores valores, puede estimarse dada la temperatura interior del local (20°C dadas las previsiones anteriores), la humedad relativa para los cálculos higrotérmicos necesarios para determinar la aparición de condensaciones.

Similares aproximaciones se recogen en otras normas como EN 15026:2007, donde se establece una humedad relativa a considerar dependiente de la temperatura exterior existente (oscilando entre 30% para temperaturas menores a -10°C y 60% para temperaturas superiores a 20°C).

La norma BSR/ASHRAE Standard 160, por su parte, establece tres métodos posibles para estimar la humedad relativa interior, en función de la complejidad del sistema y grado de precisión que se pretenda obtener. La más sencilla de ellas presupone una humedad relativa oscilando entre 40% para temperaturas menores a -10°C y 70% para temperaturas superiores a 20°C, de forma muy similar a lo establecido por la norma EN 15026:2007.

El segundo de los métodos, se basa en la estimación del aumento de presión de vapor producido respecto de la presión de vapor exterior, de forma análoga al procedimiento expuesto anteriormente. Igualmente, para la estimación de ΔP, se parte de de la producción de humedad en el interior del recinto G y de la renovación de aire, utilizando un factor de conversión:

$$\Delta P = \frac{c \cdot G}{R} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Siendo:

- G ritmo de producción de humedad interior [kg/s].
 R renovación de diseño del recinto [m³/s].

c $1,36 \cdot 10^5 \text{ Pa m}^3/\text{kg}$.

Tabla II.14.- Estimación simplificada de la producción de humedad en función por vivienda, en función del número de habitaciones u ocupantes. Debe añadirse $0,15 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}$ de humedad por cada elemento de hidromasaje existente en la vivienda. Fuente: ASHRAE 160.

Nº de habitaciones	Nº de ocupantes	Producción de humedad [kg/s]
1	2	$0,9 \cdot 10^{-4}$
2	3	$1,4 \cdot 10^{-4}$
3	4	$1,6 \cdot 10^{-4}$
4	5	$1,7 \cdot 10^{-4}$
+ 1	+ 1 / hab.	+ $0,1 \cdot 10^{-4}$

La norma deja abierta la posibilidad de utilizar métodos de estimación numérica mediante herramientas informáticas, para predecir los balances higrotérmicos existentes en el cerramiento, una vez dispuestas las condiciones ambientales externas e internas deseadas.

La caracterización de estas condiciones es necesaria, para prevenir síndromes derivados de condensaciones intersticiales y superficiales. Para estos problemas, la correcta determinación de las condiciones interiores resulta vital, al establecer las condiciones de temperatura y saturación de vapor bajo las cuales se desarrolla la afección.

Su caracterización también es relevante, dado que constituye una condición de contorno más o menos estable (en comparación con la situación exterior), para determinar la situación media de humedad y temperatura que se produce en el interior de la envolvente. A este respecto, se denomina humedad de equilibrio, a la humedad que se establece entre el material y el medio que lo rodea, debido a los procesos higrotérmicos que se desarrollan en la región higroscópica por difusión de vapor (Monjó, 2006).

Esta humedad de equilibrio, definida por las condiciones ambientales interiores (idealmente constantes) y exteriores (adoptando valores medios), caracterizaran las condiciones de funcionamiento típicas del cerramiento, dependientes de la climatología, exposición y uso del recinto interior. Conocidas estas condiciones medias, puede establecerse una situación típica en el cerramiento, a utilizar para su diseño prestacional frente a situaciones habituales.

Tal es el caso de la caracterización propuesta en el capítulo VI, donde partiendo de unas condiciones interiores constantes (20°C y HR 55%) y unas condiciones externas medias anuales, se estiman los valores de conductividad que deben ser considerados para desarrollar un cálculo térmico prestacional en la envolvente.

En relación a la penetración frente al agua líquida, si bien podría diferenciarse entre elementos de la envolvente bajo y sobre la rasante del terreno a efectos de caracterizar sus condiciones ambientales, este trabajo se va a centrar fundamentalmente en la caracterización de la solicitación por humedad atmosférica, siendo como es principalmente la lluvia acompañada de viento, la principal causa de los síndromes presentados con anterioridad.

Dentro de los elementos de la envolvente ubicados sobre la rasante, van a ser igualmente los cerramientos verticales o fachadas, los elementos constructivos sobre los que se va a analizar con gran detalle la naturaleza de la exposición atmosférica a la que se enfrentan. Esta concreción tiene como causa fundamental, la forma actual de garantizar la protección frente a la humedad en los diferentes elementos de la envolvente edificatoria:

Tanto en cubiertas como en muros en contacto con el terreno y por lo tanto situados bajo su rasante, los materiales que conforman la envolvente pueden verse sometidos a largos periodos de tiempo en contacto con humedad en estado líquido, como resultado de un elevado nivel freático en el terreno o el mantenimiento de remanentes de agua en el caso de cubiertas con escasa inclinación.

Esta obligatoriedad es especialmente necesaria en cubiertas planas, donde una cantidad no despreciable de agua líquida puede permanecer durante largos periodos de tiempo en contacto con la envolvente antes de su eliminación o evaporación, pero puede extenderse igualmente a determinadas cubiertas inclinadas, según su pendiente y material de cobertura (España, 2006). Similares situaciones se tienen en aquellas cubiertas ajardinadas, sometidas a riego periódico, dado que las condiciones de contorno son muy similares a pesar de la menor profundidad del sustrato.

Estas condiciones particulares de trabajo de estas partes de la envolvente, obliga a la colocación de elementos impermeables, capaces de frenar la absorción capilar de agua por parte de los materiales de construcción desde el exterior al interior del edificio.

En estos casos, la protección frente a la humedad queda determinada por la durabilidad de dicho elemento impermeable y por la idoneidad de su puesta en obra, de tal forma que no existen una relación directa entre la disposición de los diferentes elementos de la envolvente y el grado de prestación alcanzado por los mismos en relación a la protección frente a la humedad.

A consecuencia de la disposición de estos elementos impermeables, la interacción capilar de la envolvente con su entorno exterior se ve anulada, manteniéndose únicamente una interacción térmica y según las propiedades de la lámina, una cierta interacción higroscópica. La finalidad de estos sistemas de impermeabilización, es por lo tanto garantizar la estanqueidad completa de la envolvente en esta situación de humedad líquida prolongada. La prestación por lo tanto radica en una situación de todo/nada, que se cumple cuando el sistema dispuesto impide el paso del agua (sin adaptación a una prestación graduable).

Es por ello, que a efectos de la mejora del diseño prestacional de las envolventes y análisis de las solicitaciones, tales casos (humedad bajo rasante o en cubiertas) no resulta interesante para esta investigación. La imposibilidad de establecer un sistema prestacional graduable para caracterizar la sollicitación frente a la humedad en este tipo de elementos sometidos a ambientes externos saturados prolongadamente (cubiertas y suelos), excluye su estudio del ámbito del presente trabajo.

En estos ambientes, la envolvente deberá ser solventada por sistemas como las impermeabilizaciones mencionadas, donde el mantenimiento de la prestación de

protección frente al agua depende fundamentalmente de aspectos relacionados con la técnica constructiva, puesta en obra y durabilidad de los elementos impermeabilizantes, pero no con del diseño prestacional de la propia envolvente.

En cerramientos verticales, carentes de estos elementos impermeabilizantes, la prestación de protección frente a la humedad atmosférica depende mucho más de la determinación exacta de la sollicitación y el adecuado diseño del conjunto, que del buen funcionamiento y puesta en obra de un material concreto, al no disponerse tales elementos de impermeabilización.

Es por ello que la adecuada definición de estos parámetros, revista de mayor importancia.

II.3.1.- CONDICIONES AMBIENTALES EXTERIORES DE EXPOSICIÓN

En cerramientos verticales sobre la rasante tales como fachadas, la presencia de agua líquida en la superficie da lugar a procesos de absorción capilar, que no se mantienen de forma prolongada sobre la envolvente.

La evaporación del agua líquida como consecuencia de la temperatura, aireación y radiación solar directa recibida y la propia escorrentía del agua de precipitación a lo largo de la fachada hasta el suelo o los obstáculos arquitectónicos, propicia que el agua líquida superficial en fachadas, se mantenga poco más allá de la duración de la propia precipitación.

En consecuencia, no es habitual en nuestras técnicas constructivas (basadas fundamentalmente en cerramientos cerámicos pesados), disponer elementos de impermeabilización del cerramiento vertical, sino que se tiende a disponer un cerramiento lo suficientemente resistente al paso de humedad como para impedir una afección apreciable durante la duración de dicha sollicitación, a la espera de su posterior secado y vuelta a las condiciones iniciales.

Es por ello que la influencia de las condiciones climáticas externas sobre el cerramiento resulta de gran relevancia, al marcar la duración e intensidad de estos periodos de exposición por humedad. De ahí, su análisis reviste un mayor interés que las condiciones existentes en cubiertas y muros en contacto con el terreno, cuya protección requiere en todo caso de una impermeabilización completa (caracterización todo/nada), por la permanencia en el tiempo de las condiciones de contacto con la humedad.

Dada la variabilidad de las condiciones climáticas, es posible establecer diferentes grados de sollicitación (tal y como hacen en la actualidad numerosas normativas), con objeto de diferenciar aquellos cerramientos sometidos a fuertes exposiciones (que por lo tanto precisan una mayor prestación en el cerramiento), frente a aquellos cerramientos con sollicitaciones por humedad, puntuales y poco acusadas.

Son varias, las condiciones climáticas exteriores que se interrelacionan con el comportamiento frente a la humedad. Entre las más relevantes podemos citar la temperatura, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica, viento o radiación solar. Todas ellas, juegan un papel relevante en las condiciones de contorno que regulan

el transporte de humedad (capilar e higroscópica) en el cerramiento y por lo tanto deben ser analizadas.

No obstante, son la precipitación (agua líquida superficial) y la presión del viento (condicionada por su velocidad), las principales responsables de síndromes por infiltración de agua líquida a través del cerramiento, así como de los contenidos de humedad más apreciables.

A este respecto, el transporte de humedad en forma de vapor, regido fundamentalmente por la humedad relativa ambiental y la temperatura, supone comparativamente, un flujo de humedad muy inferior al causado por la precipitación (transporte de humedad en fase líquida).

Respecto a la precipitación, la localización geográfica del edificio, altura, topografía del entorno, exposición del cerramiento respecto a vientos dominantes, inclinación del cerramiento, presencia de elementos arquitectónicos en fachada como aleros, intensidad, duración y frecuencia de la precipitación..., son factores relevantes en la cuantificación de la solicitación sobre la fachada.

La velocidad del viento y su dirección contribuyen lógicamente a determinar la cantidad de precipitación que incide sobre el cerramiento, puesto que en condiciones de ausencia de viento, la lluvia deposita una escasa cantidad de agua sobre la envolvente vertical (la caída de las gotas sería completamente vertical y paralela al cerramiento). Al contrario sucede cuando la lluvia se presenta de forma racheada, con una importante componente horizontal en su dirección de caída.

Este hecho, ha llevado al desarrollo en muchos países (todavía no en España, previamente a la realización de este trabajo) del concepto de lluvia batiente o “Wind Driving Rain” (WDR), que pretende utilizar la cantidad de agua impulsada por el viento que incide sobre el cerramiento vertical para caracterizar la exposición por humedad, superando el uso para este fin de la simple pluviometría registrada en cada emplazamiento.

II.4.1.1.- Datos de partida para la estimación de condiciones de exposición exterior

Para la estimación de los datos de precipitación y viento a los que una fachada se ve sometida, es necesario recurrir a valores registrados en el pasado por aparatos meteorológicos. Tradicionalmente, estos datos atmosféricos y climatológicos disponibles acerca de fenómenos de lluvia y viento, se circunscriben a localizaciones concretas, dotadas de los equipos meteorológicos necesarios (carreteras importantes, centros urbanos y aeropuertos).

En España, existe un gran número de estaciones pluviométricas, cuyos datos se gestionan por diferentes organismos administrativos y asociaciones y particulares interesados (CC.AA., DGT, AWEKAS, METEOCLIMATIC, METEORED,...). Entre todos ellos destaca la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

AEMET cuenta entre sus recursos con 90 estaciones meteorológicas manuales, operadas por personal propio de la agencia, 700 estaciones meteorológicas automáticas (EMAs), que proporcionan registros en tiempo real, así como más de 4500 estaciones pluvio y termoplumiométricas atendidas por colaboradores alturistas. Todo ello hace que la cobertura territorial por lo tanto, se asemeje a la existente en otros países de nuestro

entorno inmediato y de ámbito europeo, con una estación cada menos de 100 km² (Catala, 1992).

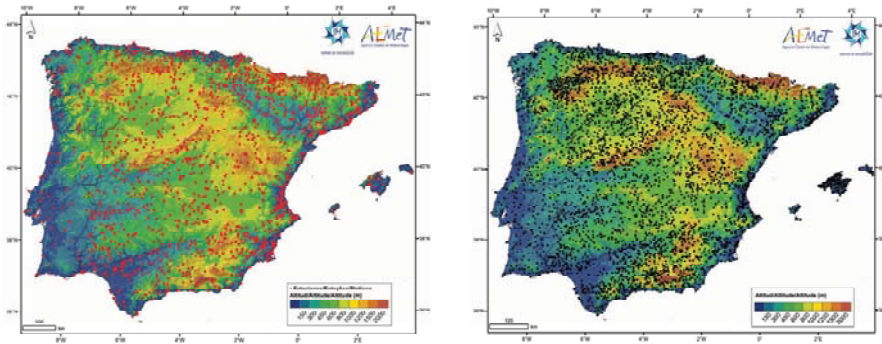


Figura II.61.- Disposición geográfica de estaciones registradoras de temperatura (izq.) y red de estaciones pluviométricas en la península ibérica e Islas Baleares (der.). Fuente: AEMET, 2011.

No obstante, solo algunas de estas estaciones meteorológicas cuentan con series de datos fiables, continuas y de antigüedad aceptable, para poder establecer un análisis histórico representativo. Más aun, si se extiende la medición de datos a otros factores climáticos diferentes de la simple pluviometría (velocidad del viento, dirección del viento, humedad relativa, presión...), no todas las estaciones meteorológicas existentes son capaces de registrar simultáneamente estos datos o son capaces de hacerlo con una suficiente periodicidad (diaria, diezminutal...).

En la actualidad AEMET ofrece gratuitamente al público y a investigadores, series históricas de datos climatológicos diarios y mensuales, que incluyen en una amplia selección de observatorios, datos de precipitación, velocidad eólica media, rachas máximas, temperaturas extremas y medias, presiones extremas... las cuales, han permitido en este trabajo, elaborar una mejor aproximación a la solicitud por humedad del cerramiento, que la actualmente aplicada (Véase capítulo IV).

AEMET ofrece del mismo modo, mediciones más precisas diezminutales (que se conservan únicamente durante el plazo de una semana de antigüedad) y resúmenes mensuales y anuales derivadas de las anteriores. El acceso a series de estos datos de mayor antigüedad ha de realizarse previo pago de la información o mediante convenios de colaboración con fines de investigación e innovación.

Esta última fórmula ha sido empleada igualmente en este trabajo, para permitir validar los resultados obtenidos mediante datos más precisos obtenidos para algunas estaciones (capítulo IV) y para permitir los cálculos necesarios en todo el capítulo V de este trabajo, teniendo la información así solicitada un valor total de 26.050,69 euros en virtud de la Orden MAM/160/2006 que regula el coste de los servicios requeridos a la Agencia pública.

II. Humedad atmosférica en la construcción

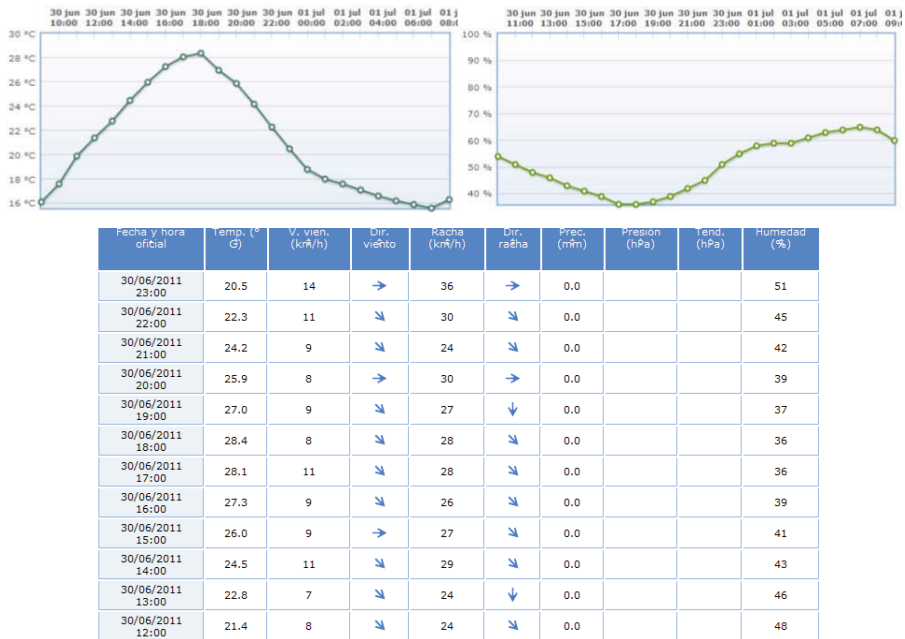


Figura II.62.- Extracto de recopilación horaria de datos por la estación 9443U de Zaragoza (altitud 221m), el día 30 de junio de 2011, relativos a temperatura y humedad (arriba), viento, presión y precipitación. Fuente: AEMET.

En concreto, la Agencia Estatal de Meteorológica, ha publicado hasta el momento los datos diarios correspondientes a 114 estaciones principales, de las que 80 cuentan con datos continuos de lluvia y viento recopilados en cada localización durante más de 30 años. Será en base a estos datos y en base al concepto “WDR” que se desarrollará en más adelante, según los cuales se realiza la estimación precisa de solicitaciones por lluvia en cerramientos verticales en nuestro país, según la metodología de cálculo expuesta en el Capítulo IV y que se recopila en los anejos A.1 y A.2.

A pesar del número limitado de estaciones con una antigüedad representativa en sus series de datos, existe una importante dificultad para manejar estadísticamente los datos derivados, por la enorme magnitud de información a procesar, la variación continua que se produce en las magnitudes antes mencionadas, el número de parámetros a registrar y el relativamente corto intervalo de tiempo en el cual se toman las mediciones (que puede llegar incluso a ser diezminutal):

Así, cada una de las series diarias utilizadas en cada una de las 80 estaciones utilizadas presentan más de 10.950 líneas de datos, llegando a 18.262 líneas si la serie recopilada alcanza hasta 50 años. Otros datos igualmente utilizados en este trabajo y facilitados por AEMET, como series horarias comprendidas entre 1998 y 2011, presentan a su vez 122.712 líneas de datos para cada estación. Para los datos diezminutales necesarios en el capítulo V, se han analizado por su parte 946.800 líneas referidas al intervalo 1992-2009, en una única estación meteorológica.

Todo ello ha conllevado un importante esfuerzo de cálculo, orientado a transformar los parámetros climáticos recopilados en estas estaciones meteorológicas, en

datos de interés y utilidad para la caracterización de la exposición frente a la humedad de los cerramientos verticales de edificación en nuestro país.

Estas series de datos meteorológicos se obtienen por medición directa sobre el terreno, mediante aparatos destinados a tal fin. Así por ejemplo, los pluviómetros dispuestos, son capaces de registrar con una adecuada precisión la magnitud de la lluvia caída en un emplazamiento. No obstante, no ha de olvidarse que su propia presencia, altera el campo de precipitaciones en su entorno inmediato, por lo que su precisión no es absoluta.

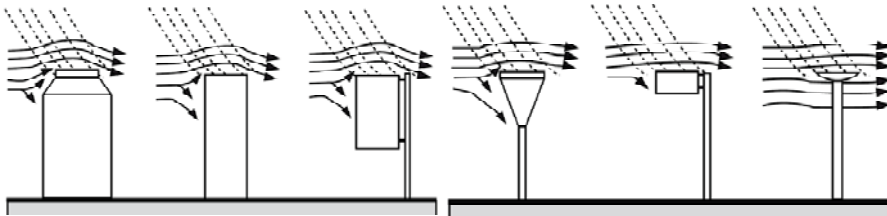


Figura II.63.- Alteración producida en el campo de lluvia inmediato por parte de cada tipo de pluviómetro (WMO, 1996).

El tratamiento que se vaya a hacer de estos datos meteorológicos obtenidos y facilitados por parte de la AMET, varía también según el fin perseguido:

- Se adoptarán significativas simplificaciones si los datos se orientan a su utilización normativa, debido a la agilidad necesaria para los métodos mayoritariamente analíticos que han de ser empleados por los técnicos diseñadores. Es el caso de la estimación de la exposición establecida para todo el país en el capítulo IV de este trabajo, basada en datos climáticos diarios, mensuales y anuales.
- Se adoptará una moderada concreción y precisión, para obtener los resultados necesarios para la validación de metodologías, como se realiza también en el capítulo IV, utilizando datos horarios y sinópticos (recopilados 8 veces al día).
- Se adoptarán cálculos y datos de gran precisión, para obtener resultados de gran fiabilidad y precisión, implementables en herramientas informáticas que automaticen la complejidad del cálculo matemático. Es el caso de del procedimiento de cálculo definido en el capítulo V, que utiliza datos diezminutales para establecer la verificación del cumplimiento de la prestación de protección frente a la humedad en soluciones constructivas de cerramiento.

En cualquier caso, no ha de olvidarse que las condiciones climáticas obedecen a criterios de aparición aleatorios y que por lo tanto, no pueden ser predichos de forma exacta sino únicamente estadística.

Será necesaria por lo tanto una gestión estadística de los datos climáticos, que estime la probabilidad de que se produzca una condición climática de magnitud determinada sobre el cerramiento. Es por ello que simulaciones basadas en datos reales

de gran precisión, a pesar de ser realistas, no garantizan la seguridad normativa tal y como se analiza en el siguiente apartado.

II.4.1.2.- Gestión estadística de datos climáticos para su utilización

La aplicación de los datos a la redacción legislativa de un código de diseño, ha de atender a factores tales como coeficientes de seguridad, riesgos asumibles, universalidad de las soluciones... de tal forma que el comportamiento del cerramiento ante situaciones puntuales, imprevistas o infrecuentes y de gran exigencia, sea siempre satisfactorio.

La regulación normativa debe ofrecer las bases necesarias para establecer diseños generales, seguros y funcionales, de tal forma que han de cubrirse las exigencias solicitadas a un coste asumible y con un esfuerzo de cálculo accesible al técnico no investigador.

De lo anterior, se desprende la ineficiencia económica de diseñar soluciones capaces de enfrentarse a cualquier solicitud posible, así como la inseguridad de diseñar dichas soluciones constructivas en base a exigencias que van a ser superadas con gran frecuencia.

Todo ello conlleva que sea necesario un adecuado tratamiento estadístico de los datos climatológicos disponibles. Como respuesta a esta necesidad, suele considerarse habitualmente el concepto de periodo de retorno, determinando así exposiciones atmosféricas (condiciones de contorno para el cerramiento) razonablemente asumibles, que estadísticamente solo vayan a ser superadas cada cierto periodo asumible de tiempo.

El período de retorno TR, puede ser entendido como la frecuencia, en número de años, con la que se espera que se repita un cierto fenómeno físico, en este caso la repetición de una determinada solicitud sobre el cerramiento. Se desprende de ello, que el periodo de retorno es la inversa de la probabilidad de que se presente anualmente un fenómeno de una magnitud fijada (Catala, 1992). El CTE define el concepto del siguiente modo:

“Probabilidad de ocurrencia de un determinado evento en un periodo de referencia definido” (España, 2006).

Consecuentemente, estimar periodos de retorno mayores para las situaciones de exposición planteadas para el diseño, implica la consideración de exigencias mayores (más infrecuentes) y por lo tanto, un mayor dimensionado y coste final del elemento. Menores periodos de retorno, indican por su parte un aumento progresivo de las probabilidades de que se produzca una exigencia que supere las previsiones establecidas, con mayor frecuencia.

Si una exigencia ha sido considerada sobre un periodo de retorno de TR años, la probabilidad de que dicha exigencia se vea superada en un año concreto es:

$$Probabilidad_{anual} = \frac{1}{TR} \quad [-]$$

Para un periodo de retorno determinado $TR(x)$, asociado a un valor de la magnitud analizada x , la probabilidad anual de ocurrencia de fenómeno de magnitud superior a x , es inversamente proporcional al periodo de retorno considerado:

Así, para un periodo de retorno de 50 años, la probabilidad de superar el valor x que lo define se reduce a $1/50 = 0,02$ cada año. Inversamente, si el periodo de retorno adoptado, fuera tan solo de un año, la probabilidad de que cada año se superase la magnitud x que lo define, sería de $1/1 = 1$ (el 100%).

Lógicamente, el valor de intensidad x asociado al periodo de retorno, será mayor, cuanto mayor sea éste último, puesto que siguiendo el ejemplo anterior, un fenómeno físico que solo se produce un 2% de los años, es necesariamente más infrecuente, perjudicial y extremo, que uno que se repite de media, anualmente.

El período de retorno para el cual se debe dimensionar un elemento varía en función de la relevancia del elemento a proteger (interés económico, socio-económico, estratégico, de seguridad), de la existencia de otras vías alternativas capaces de remplazarlo y de los daños que implicaría su fallo: pérdida de vidas humanas, molestias, coste y duración de la reconstrucción o reparación, coste del no funcionamiento del elemento, etc.. Todo ello, permite ajustar prestacionalmente la exigencia del periodo de retorno asociado al diseño previsto para el elemento, a la entidad y función del mismo.

Así, el período de retorno constituye un parámetro de larga tradición en el diseño de múltiples infraestructuras (principalmente hidráulicas), relacionadas con los eventos atmosféricos y permite limitar el riesgo de fallo en dichas infraestructuras, modificando el periodo de retorno de las precipitaciones a considerar en su diseño (presas, redes de saneamiento urbano, cauces, aliviaderos...).

La gestión matemática de los datos para obtener el dato concreto relativo a un periodo de retorno, conlleva a su vez un importante cálculo probabilístico. En primer lugar es necesario registrar la magnitud de los fenómenos a estudiar a lo largo de un periodo de tiempo suficientemente amplio para garantizar su representatividad (siempre superior a 10 años). El registro de estas magnitudes, está ineludiblemente asociado a un periodo de duración del fenómeno (datos diarios, diezminutales, mensuales...), definido por los intervalos de recopilación de los datos disponibles.

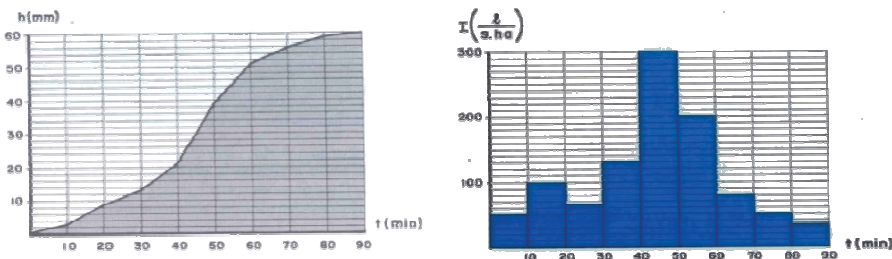


Figura II.64.- Ejemplo de pluviograma (izq.) o representación de cantidad de lluvia recogida por unidad de tiempo y de hietograma (der.) o representación de la intensidad de caída de lluvia en cada intervalo de tiempo analizado. La intensidad media de lluvia durante 10 min, es muy inferior a la intensidad media de lluvia durante 10 min, tal y como se desprende del hietograma. Fuente: Catala, 1992.

Partiendo de estos registros históricos suficientemente representativos, es posible discriminar aquellos valores extremos detectados. Pueden obtenerse así valores máximos anuales que se producen en el intervalo analizado (diarios diezminutal, mensual...), construyendo una recopilación con el valor máximo que se ha producido en cada uno de los años analizados.

Sobre esta recopilación, se aplica una construcción estadística, generalmente la distribución de Gumbel (1958), para la determinación de modelos de distribuciones aleatorias que sean extremos de un fenómeno que se produce en el tiempo. Es decir, para determinar la magnitud del parámetro físico que se espera se produzca una vez cada un determinado número de años fijado; o para determinar el número de años en el que se espera que se repita de media un valor igual o superior al fijado.

Así pues, conocidas las series de valores máximos anuales, aportando así un único dato climático por cada periodo anual, es posible establecer, a través de la citada distribución de Gumbel, la magnitud máxima del fenómeno, esperable para un periodo de retorno cualquiera, ajustado a las necesidades del diseño (de 3, 10, 30, 50 años...). El valor de intensidad del evento asociado al periodo de retorno, será mayor, cuanto menor sea el tiempo de actuación considerado para dicho fenómeno.

El intervalo de registro de la magnitud analizada (diario, diezminutal, mensual...) influye también en el valor del resultado estadístico obtenido mediante la distribución de Gumbel y por tanto, asociado al periodo de retorno. Así por ejemplo, el valor de intensidad de lluvia máxima registrado durante 10 minutos, siempre será mayor que el mismo valor de intensidad de lluvia registrado a lo largo de 1 hora, donde además de promediarse el valor máximo relativo a 10 minutos, se promedian otros intervalos diezminutales de menor intensidad.

Contando con la suficiente variedad de datos (duración del evento, serie temporal de la magnitud suficientemente representativa, frecuencia de aparición del evento...), es posible establecer representaciones gráficas que relacionen la totalidad de los parámetros de influencia para el resultado, en las llamadas curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia) y con ellas, obtener las condiciones de diseño asociadas a un periodo de retorno fijado y una duración estimada del fenómeno.

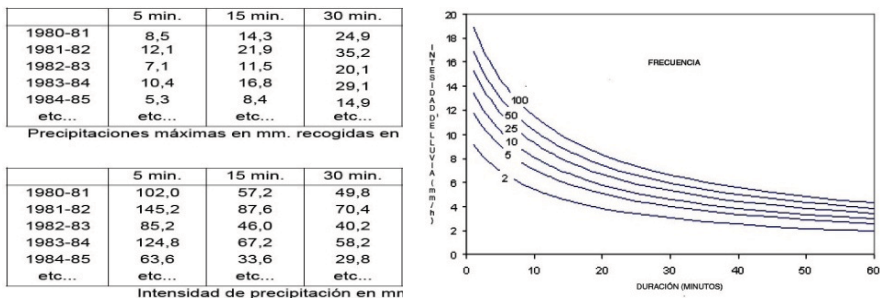


Figura II.65.- Recopilación de datos máximos de lluvia (precipitación recogida e intensidad), para el fenómeno en el periodo de retorno (izq.). A la derecha, representación gráfica de curvas IDF (Intensidad-duración-frecuencia), que permite obtener la intensidad máxima de un chubasco de duración conocida, en el periodo de retorno adoptado para el cálculo.

Sin embargo, con frecuencia la carencia de datos tan detallados y precisos, obliga a fijar algunos de estos parámetros (generalmente la duración del evento analizada), posibilitando de este modo, obtener la magnitud de intensidad del fenómeno, para una situación específica de su duración, con un número de datos necesarios muy inferior.

Tal será el caso de la caracterización prestacional de las solicitaciones por humedad en cerramientos presentada en el capítulo IV, donde los datos climáticos se analizan en diferentes intervalos de duración de los eventos (anuales, diarios...), estimando un valor asociado a cada uno de ellos. Se obtienen por lo tanto curvas IF (Intensidad-Frecuencia), para una duración concreta de la exposición.

II.4.1.3.- Gestión estadística de datos climáticos realizada en España

Tal y como se ha indicado, la mayoría de los esfuerzos realizados en nuestro país por establecer estimaciones estadísticas de las magnitudes atmosféricas se han centrado en la evaluación de la precipitación (cálculo de redes de infraestructura hídrica) o de velocidad de viento (determinación de cargas en edificación y obra civil). Para todos ellos, la función de distribución empleada para el cálculo estadístico, ha sido mayoritariamente la distribución de Gumbel.

Ejemplos de este trabajo de elaboración estadística, pueden encontrarse por ejemplo en la publicación monográfica del Ministerio de Fomento (1999) “Máximas lluvias diarias en la España peninsular”, que permite estimar la precipitación máxima en un intervalo de duración diaria fijo, para cualquier punto de la península y para un periodo de retorno considerado; todo ello a través de sencillas expresiones y para su uso en el cálculo de infraestructuras de saneamiento:

$$prep_{TR} = prep_{med} \cdot K_T \quad [\text{mm/día}; [\text{l/m}^2 \text{ día}]]$$

Siendo:

$prep_{med}$ valor medio de la máxima precipitación diaria anual [mm/día]; [l/m² día].

K_T factor de amplificación del valor medio de la máxima precipitación diaria anual [-], dependiente del periodo de retorno considerado y del coeficiente de variación propio de la localización geográfica del emplazamiento considerado. Este factor se obtiene obteniendo la correlación existente entre los valores de P_{med} registrados, y los valores de P_{TR} obtenidos mediante la distribución de Gumbel.

$prep_{TR}$ precipitación diaria máxima a considerar para un periodo de retorno considerado.

La expresión simplificada permite obtener los valores P_{TR} de forma ágil y funcional sin necesidad de recurrir a herramientas informáticas o al cálculo de la distribución de Gumbel en cada ocasión. Permite igualmente, la representación e interpretación gráfica de los resultados obtenidos.

Si se quiere considerar una duración inferior a la diaria en la precipitación, debe utilizarse otro tratamiento estadístico que permita obtener dicho dato para intervalos

más cortos del fenómeno. Una forma de hacerlo es considerar el procedimiento recogido por el CTE DB-HS5 en su Apéndice B, mediante el cual puede obtenerse la intensidad pluviométrica en cualquier punto del país, considerado una duración de evento de una hora (duración analizada), pero solo para un periodo de retorno fijo de 10 años.

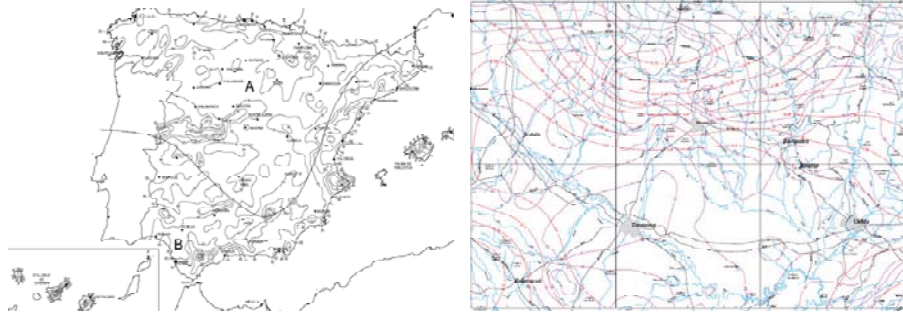


Figura II.66.- Representación de curvas isoyetas correspondientes a un periodo de retorno 10 años e intensidad de chubasco de 1 h para España (izq.) y mapa de P_{med} y coeficientes de variación para la zona correspondiente al norte de Aragón, para el cálculo de la precipitación máxima diaria (der.).

En caso de precisar datos de intensidad pluviométrica correspondientes a intervalos de menor duración de chubascos (incluso 10 minutos), debe recurrirse en nuestro país a los datos y gráficas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), elaborados específicamente en algunas localizaciones, generalmente administraciones locales de grandes municipios españoles.

En el caso del viento, los cálculos realizados en base a periodos de retorno considerados de 50 años, han permitido establecer las actuales caracterizaciones eólicas que deben ser consideradas para el diseño de edificaciones en el Código Técnico de la Edificación CTE DB-SE-AE o CTE DB-HS1.

La fiabilidad de las estimaciones estadísticas realizadas en nuestro país, basadas siempre en la distribución de Gumbel, han demostrado ser lo suficientemente precisas, tal y como demuestra su adecuación y vigencia tras el diseño de múltiples obras infraestructurales y edificatorias en España en las últimas décadas.

Tal y como se observa en la tabla siguiente, el CTE utiliza para la determinación de la sollicitación por humedad en cerramientos, un periodo de retorno de 50 años para el viento incidente sobre fachada y el promedio asociado a 30 años de registro para la precipitación registrada (AEMET, 2011) (Instituto Geográfico Nacional, 2005), siendo estos dos, los únicos fenómenos relevantes estimados en la caracterización de la exigencia por humedad atmosférica.

En el caso del viento, la intensidad utilizada se refiere a un intervalo de duración de la misma de 10 minutos, mientras que para la precipitación, la intensidad utilizada se refiere a un intervalo anual, sobre el cual no se establece un análisis

estadístico a fin de obtener el valor asociado a un determinado periodo de retorno, sino que se adopta un valor simplemente promediado.

Tabla II.15.- Magnitud de algunos periodos de retorno habitualmente empleados en el diseño de elementos o cuantificación de sus exigencias.

ELEMENTO	PARÁMETROS DE DISEÑO	
	Periodo de retorno habitual	Solicitud considerada
Saneamiento núcleos urbanos	5-10 años	Precipitación
Edificación ámbito CTE HE1	15 años	Temperatura
Saneamiento grandes urbes	20-50 años	Precipitación
Edificación ámbito CTE HS1	Ninguno: promedio de 30 años de registros	Precipitación
Edificación ámbito CTE HS1	50 años	Viento
Sistemas de laminación de pluviales	50 años	Precipitación
Puentes importantes	100 años	Varias
Aliviaderos de presas	1000 años	Precipitación

Para responder a una solicitud realista sobre fachada, ambos parámetros deberían ser considerados en base al mismo criterio (utilización de periodo de retorno), pero también deberían hacer referencia a la misma duración del evento. Sin ambas coincidencias, ambos fenómenos no pueden ser relacionados de una forma objetiva para establecer una solicitud plausible sobre la fachada, tal y como se pone de manifiesto a lo largo del capítulo III.

A pesar de ello, aun cuando ambos parámetros se estimaran en base a la misma periodicidad (periodo de retorno) y duración del intervalo considerado (10 minutos), la aproximación seguiría sin ser realista.

Aun siendo ambas situaciones (valor calculado de precipitación y valor calculado velocidad de viento) posibles por separado y por lo tanto, el cerramiento se pueda ver sometido a ellas por separado, las posibilidades de que los valores de viento y lluvia calculados para sendos periodos de retorno se den conjuntamente en el mismo año, son muy inferiores a las marcadas por lo sendos periodos de retorno de cada una de ellas.

Así la racha máxima de viento en los últimos 50 años (10 minutos máximos), no fue simultánea en el tiempo con la máxima precipitación registrada en el mismo periodo.

Considerar que ambos fenómenos se dan simultáneamente, con la misma frecuencia con la que se dan individualmente, es por lo tanto descabellado. Por ello, analizar el periodo de retorno con el que produce una condición de exposición sobre los cerramientos, regulada por dos variables diferentes (precipitación y viento), conlleva un cálculo estadístico de mayor complejidad que la simple aplicación de la distribución de Gumbel.

Es por ello que actualmente, además de no corresponder a un mismo intervalo ni periodo considerado, las condiciones de diseño para los cerramientos, se están estableciendo además, en base a criterios no objetivables.

En el CTE, además, ambos fenómenos no se registran simultáneamente, por lo que la aproximación y realismo de ambos fenómenos para caracterizar científicamente la sollicitación por humedad, es simplemente, inexistente.

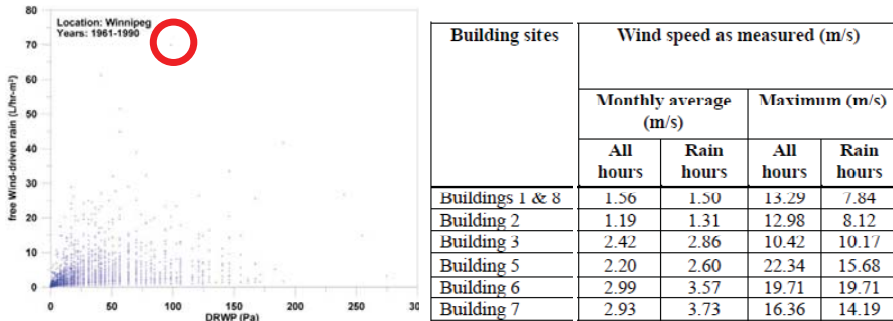


Figura II.67.- La máxima precipitación sobre el cerramiento (wind driving rain) suele darse para magnitudes de viento (DRWP) intermedias o bajas, como la marcada en el gráfico o como indican los datos recogidos en la tabla adjunta para emplazamientos canadienses. Un menor tamaño de la gota de lluvia (asociado a menores precipitaciones), favorece su arrastre por el viento y mayor impacto sobre el cerramiento. Fuente: Cornick y Lacasse, 2005; Plescia, Lonescu y Simpson, 2008.

Mientras que la estimación del viento se realiza en base a criterios de resistencia estructural (influencia sobre la vida de las personas) y por lo tanto con grandes periodos de retorno (50 años) e intensidades muy acusadas (máximo de 10 minutos), la cantidad de lluvia se estima en base a consideraciones de habitabilidad, sin utilizar periodos de retorno (simple media de los últimos 30 años), a pesar de que suele ser habitual utilizar periodos de retorno de 10 años para consideraciones de habitabilidad (Choi, 1998).

Así pues, no se utiliza para la elaboración de la normativa de humedad (DB-HS1) una gestión adecuada de los datos climáticos dando como resultado, un análisis de la exigencia subjetivo y aproximado, no prestacional.

La gestión adecuada de los datos climáticos disponibles y facilitados por la AEMET, han de permitir a este trabajo determinar de forma rigurosa y científica la exposición a la humedad presente en nuestro país (capítulo IV), pero también y de forma pionera a nivel internacional, establecer un sistema de verificación prestacional para evaluar el grado de cumplimiento de la protección frente a la humedad, por parte de diferentes soluciones constructivas de cerramiento (Capítulo V).

Por otra parte y en contra de la tendencia apuntada por la mayoría de códigos internacionales, tampoco se establece en el CTE diferenciación alguna entre la precipitación caída y la cantidad de agua que realmente impacta sobre la fachada como consecuencia de la acción del viento (lluvia batiente o wind driving rain), para determinar la exposición a la humedad atmosférica.

Muestra de la relación directa de la exposición y la lluvia batiente sobre el cerramiento, es la existencia a nivel europeo de ensayos para la caracterización de cerramientos sujetos a la acción de lluvia dirigida por el viento (AENOR, 2002b); (AENOR, 2000) y la reciente aparición en España de la norma UNE 15927-3:2011

“Cálculo de un índice de lluvia para superficies verticales a partir de datos horarios de viento y lluvia (AENOR, 2011).

II.4.1.4.- Concepto de lluvia batiente o wind driving rain (WDR)

Superando la anterior aproximación, otros códigos normativos como el británico, utilizan directamente la caracterización de la cantidad de agua que incide sobre la fachada para determinar la exigencia, en lugar de la simple pluviometría registrada. Al conjugar ambos factores atmosféricos (precipitación y viento simultáneo que la impulsa la misma contra la fachada), la magnitud reviste un mayor interés y rigor (Blocken y Carmeliet, 2004).

El agua, en su caída desde la atmósfera, adquiere una cierta inclinación respecto de la vertical como consecuencia de la acción del viento, como puede apreciarse habitualmente bajo un paraguas en caso de lluvia con fuerte viento.

Las partículas de agua, cayendo a velocidad terminal por la acción de la gravedad, se ven desplazadas por la fricción con el aire en movimiento, adquiriendo una trayectoria diferente de la vertical, que hace que puedan impactar contra superficie verticales como las fachadas.

La trayectoria adoptada por cada gota de agua depende tanto de la velocidad del viento, como del tamaño de la gota de agua. Debido a la variedad de tamaños de gota presentes durante una precipitación, la determinación de esta inclinación es altamente variable para cada evento de lluvia.

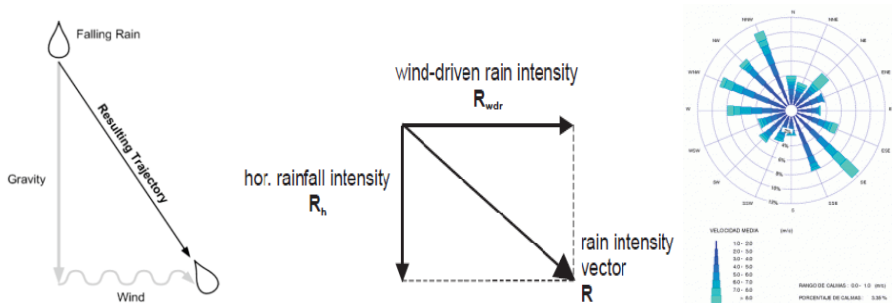


Figura II.68.- Combinación de fuerzas de gravedad y fricción para modificar la trayectoria de caída de la gota de agua (izq.); resultante de lluvia sobre la fachada vertical (centro) y rosa de vientos anual en una localización concreta (Punta Paloma)(der.). Fuente: Straube, 2010 y Blocken y Carmeliet, 2004.

Diversas mediciones y trabajos de campo realizados en las últimas décadas, han permitido obtener las correlaciones necesarias para establecer aproximaciones semi-empíricas que establecen la cantidad de lluvia que pasa a través de un plano vertical, en una situación controlada o de referencia, definida por la Organización Meteorológica Mundial como aquella libre de obstáculos y a una altura de 10 m respecto de la rasante.

En estos trabajos de campo, son utilizadas galgas de diferentes configuraciones para la recogida de lluvia, con aperturas verticales y horizontales respectivamente, de tal

forma que puede medirse simultáneamente el agua recogida en ambas direcciones en las condiciones antes citadas. La falta de estandarización de estos aparatos, constituye sin embargo un importante factor de indeterminación de estas mediciones empíricas (Blocken y Carmeliet, 2004).

Fueron Hoppestad (1955) y Lacy y Shellard (1962), los primeros en identificar al producto del viento y la pluviometría (precipitación sobre la horizontal), como un indicador válido para estimar la sollicitación por humedad en un cerramiento vertical expuesto a las condiciones climáticas.

La formulación de dicho índice, llamado originalmente “Driving Rain Index” o DRI, permitía a su vez la obtención de índices mensuales o anuales (mDRI o aDRI), considerando para su cálculo los valores medios de viento [m/s] y precipitación [mm/1000] mensuales o anuales registrados.

$$DRI = prep_{(en\ m)} \cdot v_{viento} \quad [m^2/s]$$

Esta determinación sem-iempírica, ha sido ampliamente utilizada en el ámbito internacional, dada su simplicidad, fácil interpretación y funcional representación en mapas de zonificación. Fruto de este uso, se han desarrollado mapas de sollicitación por lluvia batiente en países tan dispares como Estados Unidos, Reino Unido, China, India, Grecia, Canadá...

Puede encontrarse en la obra recopilatoria de Davenport y Riera (1998), diferentes referencias a estos trabajos primigenios, realizados fundamentalmente en Reino Unido, Noruega y Canadá.

Este estándar de cálculo o aproximación “WDR”, constituye hoy en día una herramienta básica para la caracterización de la sollicitación por humedad en cerramientos verticales, que sin embargo, no ha sido todavía implantada en nuestro país.

Fue también Lacy (1962), quien a partir de una nueva validación experimental, estableció una primera aproximación realista a la cantidad de lluvia batiente recogida sobre cerramientos verticales, al estimar que un índice aDRI de 1 m²/s, equivalía aproximadamente a 206 mm recogidos en la vertical, en el mismo periodo. Así, un valor de aDRI=2 identificado en un emplazamiento, equivaldría aproximadamente a 412 mm/año recogidos sobre una fachada.

Se establece de esta forma por primera vez una cuantificación de la cantidad de lluvia batiente, que se espera que incida sobre una superficie vertical libre de obstáculos I:

$$I \approx 206 \cdot prep_{(en\ m)} \cdot v_{viento} \quad [mm]$$

$$I \approx 0,206 \cdot prep_{(en\ mm)} \cdot v_{viento} \quad [mm]$$

La mejora en la precisión de los equipos presentes en las estaciones meteorológicas, el aumento de las capacidades de medición y el incremento de la frecuencia con la cual se realiza la recogida de datos, ha permitido en los últimos años,

establecer una mejora respecto a los procedimientos utilizados en estas investigaciones primigenias.

Así, en lugar de utilizar datos de precipitación y velocidad de viento medios anuales o mensuales para la determinación de la exigencia, en la actualidad, es posible utilizar para tal fin valores medios diarios, horarios o incluso diezminutales. La medición en intervalos cada vez menores (y por lo tanto más precisos) de la precipitación y de la presión de viento simultanea a dicha precipitación, ayuda a desechar valores no simultáneos, que inicialmente sí eran considerados en el cálculo anual o mensual, afinando así el resultado final

Trabajos posteriores, con una intensa actividad de medición experimental, han permitido determinar el sentido físico del coeficiente de ajuste utilizado por Lacy (206), generalizar la anterior fórmula.

Para ello se introduce una constante de proporcionalidad, igual a la inversa de la velocidad de caída terminal de la gota de agua durante la precipitación (Straube y Burnett, 1997, 2000):

$$I = prep_{(mm)} \cdot v_{viento} \cdot K_{WDR} \quad [\text{mm/hora}]; [\text{l/m}^2 \text{ hora}]$$

Siendo:

- I valor de intensidad de lluvia caída sobre una superficie vertical en condiciones ideales libres de obstáculos [mm/hora]; [l/m² hora].
- prep valor de intensidad de lluvia registrada en un pluviómetro [mm/hora]; [l/m² hora].
- v valor de velocidad de viento registrada durante la precipitación [m/s].
- K_{WDR} factor o coeficiente de lluvia batiente, inversamente proporcional a la velocidad terminal de caída del agua de lluvia y por lo tanto dependiente del tamaño de gota. Su valor oscila en términos medios, entre 0,2 y 0,25 (Choi, 1994a, 1994b), si bien, para lluvias débiles puede alcanzar valores superiores a 0,5 y valores de 0,1 para fuertes precipitaciones.

Este factor de lluvia batiente, es igual a la inversa de la velocidad terminal y por lo tanto, depende del tamaño de gota de agua, mayor en el caso de fuertes precipitaciones y menor en el caso de ligeras lloviznas. A menor tamaño de la gota de agua, menor será su velocidad terminal y por lo tanto, mayor su factor (a menor tamaño de la gota, mayor facilidad para ser desplazada por el viento de su trayectoria vertical).

Siguiendo con esta aproximación “WDR” y utilizando datos más precisos, se han establecido recientemente ajustes de mayor precisión, como el exponencial utilizado por la norma ISO 15927-3:2009, basado en la utilización de datos meteorológicos horarios de precipitación y velocidad de viento:

$$I = 0,222 \cdot prep_{(mm)}^{8/9} \cdot v_{viento} \quad [\text{mm}]$$

El valor 0,222 (equivalente al factor de lluvia batiente) obedece a un ajuste semi-empírico que por lo tanto es aproximado. Se trata únicamente de una estimación

promedio obtenida para una gran variedad de intensidades de precipitación en diferentes emplazamientos y climatologías, principalmente correspondientes al norte de Europa (Reino Unido).

Adoptando la generalización de la fórmula propuesta por Straube, el valor del factor de lluvia dirigida adoptado por la normativa, igual a 0,222, corresponde a una velocidad terminal de caída de la gota de lluvia de 4,5 m/sg, lo que a partir de la Ley de Stokes, permite determinar el diámetro de gota medio considerado: 1,2 mm. Las grandes precipitaciones se caracterizan por tamaños de gota de agua muy superiores (hasta 5 mm), mientras que ligeros chubascos con escasa precipitación, se caracterizan por gotas de diámetro muy inferior (hasta 0,5 mm).

La coherencia de los valores obtenidos mediante simulación numérica y observaciones experimentales, corroboran la aproximación iniciada por Hoppestad y Lacy, por lo que esta aproximación es un estándar adoptado actualmente de forma generalizada por diversos textos normativos para estimar la lluvia batiente en cerramientos verticales de una forma sencilla y funcional (BSR/ASHRAE Standard 160P, BS 8104:1992; UNE-EN ISO 15927-3:2011).

No obstante, la anterior aproximación únicamente es válida si se asume un tamaño de gota de agua uniforme (medio) y un flujo del viento constante y estable en su dirección horizontal, perpendicular al plano vertical analizado. Lógicamente, la estimación de estas hipótesis establece una relevante simplificación al problema, incrementando el grado de indeterminación de los resultados.

Por último, el registro de valores climáticos cada vez más completos ha permitido igualmente determinar la dirección del viento simultáneo a la lluvia, lo que posibilita análisis vectoriales de esta solicitación por lluvia batiente.

De esta forma, puede no solo identificarse la lluvia batiente total sobre el edificio, sino también establecer la dependencia direccional de dicha solicitación, diferenciando la magnitud de la misma que corresponde en cada orientación concreta del cerramiento. Para ello, se introduce el ángulo θ , indicativo del ángulo existente entre la dirección del viento que actúa y la dirección opuesta a la normal de cerramiento considerado:

$$I = prep_{(mm)} \cdot v_{viento} \cdot K_{WDR} \cdot \cos \theta \quad [\text{mm}]$$

Es posible así no solo determinar la exposición en un cerramiento, sino además diferenciar la orientación de aquellas fachadas más expuestas a la solicitación por humedad, en función del régimen de vientos simultáneos a la lluvia predominantes en cada localización.

Con fines generalistas, este factor direccional puede obviarse asumiendo que la dirección del viento es irrelevante durante el chubasco (todo el agua incide sobre cualquier orientación), obteniendo así un valor escalar y cualitativo para estimar la solicitación. Tal es el caso de la aproximación DRI y de todos los índices anteriores, que cuantifican el total de lluvia que incide sobre todas posibles orientaciones verticales en un emplazamiento.

No obstante, la cantidad de lluvia que llega a un determinado cerramiento, depende de la orientación de la fachada (sotavento o barlovento), por lo que la cuantía de agua real sobre un cerramiento concreto, será siempre inferior a la calculada con la expresión general escalar (sin considerar θ).

En este sentido, Reino Unido fue pionero en la utilización a nivel normativo de metodologías direccionales cuando desde 1992, a través de la norma BS 8104:1992 “Code of practice for assessing exposure of walls to wind-driven rain”, estableció mapas de zonificación en la materia y los empleó como factor determinante en la elección de la tipología concreta de solución de fachada admisible para cada localización del país.

Este trabajo pionero, basado en mediciones horarias en las estaciones meteorológicas británicas ha condicionado las bases para el desarrollo de toda la normativa posterior, incluyendo el estándar ISO 15927-3:2011, que hereda esta aproximación vectorial y la utilización de datos horarios en el cálculo:

$$I = 0,222 \cdot prep^{8/9} \cdot v_{viento} \cdot \cos \theta \quad [\text{mm}]$$

La norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, “Comportamiento higrotérmico de edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 3: Cálculo de un índice de lluvia para superficies verticales partir de datos horarios de viento y lluvia”, publicada en nuestro país recientemente (septiembre de 2011), incorpora igualmente esta aproximación vectorial, al derivarse directamente del estándar europeo y de la precedente norma británica BS 8104:1992.

En estas normas (EN ISO 15927-3:2009 y UNE-EN ISO 15927-3:2011), la solicitud por lluvia sobre el cerramiento vertical se analiza en base a dos periodos diferenciados, que tratan de caracterizar una exposición a largo plazo y puntual respectivamente.

El primero de ellos I_A , lluvia batiente anual de referencia o índice anual, se expresa en mm/año y representa la intensidad media de lluvia registrada sobre la vertical, en una determinada dirección, a lo largo de una serie histórica de valores anuales (preferentemente un número superior a 10 años).

El segundo I_S , lluvia batiente máxima de referencia o índice por periodo de humedecimiento (“spell”), se expresa en mm/periodo y representa la máxima intensidad de lluvia registrada sobre la vertical, en una determinada dirección, durante un periodo de humedecimiento (periodo de lluvias que se ve finalizado por al menos 96 horas carentes de precipitación), para un periodo de retorno de 3 años (Sahal y Lacasse, 2008); (Blocken y Carmeliet, 2010).

El convenio adoptado para dar fin a estos periodos se establece en la ocurrencia de un periodo con mayor carga evaporativa que de humedecimiento sobre la fachada, lo cual, para cerramientos pesados de fábrica de albañilería se estima en torno a 96 horas carentes de precipitación (Sanders, 2004).

Esta aproximación no está exenta de ciertas limitaciones, ya que una evaporación que no se inicia hasta unas 96 horas carentes de aporte de humedad, es solo característica de cerramientos pesados de albañilería, por lo que no debería ser aplicado en otros tipos de cerramiento.

Utilizando datos meteorológicos horarios (propios de las estaciones británicas y de la norma BS 8104:1992 de la que se desligan las normas posteriores), recopilados siguiendo los métodos especificados por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1996), la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 establece las expresiones que permiten calcular ambos valores, utilizando el sumatorio de las solicitaciones horarias anuales o durante el periodo de humedecimiento más desfavorable:

$$I_A = \frac{2}{9} \frac{\sum prep_{(mm)}^{\frac{8}{9}} \cdot v_{viento} \cdot \cos \theta}{N^{\circ} \text{ años de la serie}} \quad [l/m^2 \text{ año}]; [mm/año]$$

$$I_S = \frac{2}{9} \sum prep_{(mm)}^{\frac{8}{9}} \cdot v_{viento} \cdot \cos \theta \quad [l/m^2 \text{ spell}]; [mm/spell]$$

Mientras que el primer factor I_A , permite caracterizar cualitativa y comparativamente, el estado de sollicitación general del cerramiento (se mide en periodos anuales), el segundo caracteriza, la sollicitación puntual sobre muro y el riesgo de penetración de agua durante un evento de humedecimiento concreto (desde unas horas a unos días).

En cualquier caso, se exprese en términos anuales o en términos de periodo de humedecimiento, ambos parámetros se determinan en base a datos horarios, disponibles en Reino Unido en series de gran antigüedad, pero no disponibles en la mayoría de los países europeos.

Así, la precisión de los resultados obtenibles en cada país, depende directamente de la disponibilidad de datos climatológicos. Obviamente, una mayor precisión y sofisticación en el cálculo, precisa de un mayor volumen y precisión en los registros climatológicos utilizados para su determinación, así como una mayor antigüedad en la serie histórica analizada.

En la actualidad, las estaciones meteorológicas de mayoría de los países desarrollados permiten aplicar de procedimientos de cálculo direccionales horarios para estimar la lluvia batiente, tal y como a norma específica, si bien en muchos de ellos, la disponibilidad de estos datos no se remonta lo suficiente en el tiempo como para poder obtener resultados suficientemente fiables o en caso de existir, solo se poseen para un número muy concreto y por lo tanto poco representativo de estaciones.

En el caso habitual de no disponer de datos correspondientes a intervalos horarios con las adecuadas condiciones (caso que se da en todos los países salvo en Reino Unido), la estimación de la sollicitación deberá adaptarse a los datos disponibles o bien deberá optarse por utilizar aproximaciones escalares, como las formulaciones semi-empíricas de Lacy o los índices DRI.

Ejemplos de estos estudios realizados al margen de la regulación normativa importada del Reino Unido, lo constituyen las investigaciones de Hoppestad, Jelle (2003), Lisø o Rydock (2005) en Noruega, bajo el amparo del Instituto Noruego de Investigación en Construcción, de Giarma y Aravantinos (2011) en la Universidad de Tesalónica o del propio autor (Pérez et al, 2012), basándose en los resultados obtenidos en el capítulo IV de este trabajo.

Fuera del ámbito europeo, otros equipos vienen desarrollando una tarea investigadora en la misma dirección, como demuestra el trabajo elaborado por investigadores como Chand y Bhargava (2002) para el ámbito del subcontinente indio (Central Building Research Institute), Sauer (1987) en China o por el NRC (National Research Council Canada) a través de los estudios de Kuraman et al., (2003), Cornick y Lacasse (2005) y Cornick y Dalgliesh (2003), entre muchos otros.

En todos estos estudios se alterna la utilización de metodologías direccionales tomadas directamente del estándar europeo o británico, con el uso de metodologías escalares, como en el caso de las investigaciones de Chand y Bhargava o con el desarrollo de indicadores de solitación propios y diferenciados, solo parcialmente basados en el cálculo de la lluvia batiente sobre el cerramiento. Tal es el caso del concepto de “Moisture Index”, elaborado en el marco del proyecto MEWS (Moisture Management for Exterior Wall Systems) (Cornick y Dalgliesh, 2003), en Canadá.

Otra muestra de esta actualidad de este campo de investigación son los múltiples artículos publicados en prestigiosas revistas científicas y técnicas, como Building and Environment, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Atmospheric Environment, Journal of Thermal Envelope and Building Science, Building Physics o Building Science Press entre otras, que hacen referencia al campo tratado.

Un elevado número de instituciones públicas y privadas han desarrollado y desarrollan también actividades en la materia. De relevante interés son las aportaciones obtenidas por el Norwegian Building Research Institute, Katholieke Universiteit Leuven, Technical University Eindhoven, University of Waterloo, Nanyang Technological University, National Research Council Canada, British Columbia Institute of Technology, Glasgow Caledonian University... entre otros.

En algunos casos, los propios equipos de investigación, han diseñado software informáticos de simulación numérica de cerramientos, sobre los que son aplicadas las solitaciones identificadas, como es el caso de la herramienta WUFI, dependiente del prestigioso instituto alemán Fraunhofer de investigación aplicada.

Como puede deducirse, a día de hoy el estudio de la incidencia del agua de lluvia sobre cerramientos y edificaciones (entendidas en su componente vertical), constituyen un campo de investigación de plena actualidad, al que nuestro país ha tardado en sumarse y al que la reciente entrada en vigor del CTE y la elaboración de este estudio han de dar un importante impulso.

La publicación en el año 2011 de la adaptación española al estándar europeo ISO 15927-3:2009, hace prever un desarrollo de este tipo de caracterizaciones, más acusada, cuanto más representativas vayan siendo las series de datos climáticos disponibles para su utilización.

Siguiendo el camino abordado por otros investigadores ante la carencia de datos horarios representativos en nuestro país, a lo largo del capítulo IV se han utilizado los registros disponibles en una selección de más de 80 estaciones meteorológicas distribuidas por el territorio nacional, para en presentar una aproximación escalar a los valores de lluvia batiente anuales y por periodo de humedecimiento, que se registran en los emplazamientos españoles. Ello constituye la primera aproximación en la materia realizada en España.

Para esta labor se ha recurrido a datos de carácter diario, al ser éste el menor intervalo para el cual han sido puestas a disposición pública, datos en series de una antigüedad representativa, que para este trabajo se ha estipulado en un mínimo de 30 años y un máximo de 50.

Utilizando datos horarios de algunas estaciones, facilitados por AEMET, del mismo modo se analiza la convergencia entre la aproximación diaria planteada y los resultados horarios obtenidos mediante la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011.

Se presentan también otros índices de solicitación de interés para investigadores y diseñadores, relacionados con la lluvia batiente máxima esperada durante un día, para un periodo ininterrumpido de días con precipitación..., así como un análisis de la duración esperada de los periodos de humedecimiento y una estimación de la presión eólica simultánea a la lluvia, todo ello, en base a diferentes periodos de retorno estimados (3, 10, 30 y 50 años) para que puedan ser utilizados en virtud de las necesidades del estudio concreto necesario.

Por supuesto, se ha obtenido igualmente también la primera evaluación de los indicadores DRI realizada en España, utilizando para ello datos anuales (aDRI), mensuales (mDRI) y diarios (dDRI), comparables con los resultados obtenidos en otros países.

Por último, en ese mismo capítulo IV se desarrollan algunos procedimientos que mediante la utilización de datos climáticos sinópticos (recopilados 8 veces al día en las estaciones meteorológicas), permiten establecer estimaciones direccionales de los anteriores valores de lluvia batiente.

II.4.1.5.- Concepto de lluvia local dirigida por el viento

Además de los factores climáticos de precipitación y viento simultáneo, duración de la exposición y periodo de retorno considerado, otros aspectos, tienen también una influencia significativa en la cantidad de agua que se espera impacte sobre un cerramiento vertical.

La forma y tamaño del edificio o la distancia del punto considerado de la fachada a los bordes de la edificación, donde la incidencia del viento es mucho mayor, la topografía del entorno... condicionan la cantidad de lluvia recogida en las diferentes partes de una fachada.

En ocasiones (en función de la formulación), todos estos parámetros son agrupados en un único factor general η , que es determinado a partir de la observación directa del fenómeno de precipitación mediante galgas de recogida de agua vertical y horizontal en el propio edificio, de tal forma que la cantidad de agua de lluvia batiente sobre un cerramiento concreto o local puede expresarse como:

$$I_{local} = I \cdot \eta \quad [\text{mm/año}]; [l/m^2 \text{ spell}]$$

Siendo:

- I Lluvia batiente vectorial, calculada para un periodo anual, de humedecimiento o de cualquier otro tipo, sobre un cerramiento vertical en condiciones de referencia (no locales), de acuerdo a lo expuesto en el apartado anterior.

Otras formulaciones más exhaustivas, tratan de discernir entre aspectos tales como la aerodinámica del edificio, el tamaño de gota de lluvia, el ángulo de incidencia del viento, las aberturas existentes, las turbulencias generadas en el entorno del edificio, la presencia de obstáculos arquitectónicos en la fachada...

Así, es frecuente encontrar la siguiente caracterización desglosada, tal y como recoge la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 y otras normas internacionales:

$$I_{local} = I \cdot C_R \cdot C_T \cdot O \cdot W \quad [\text{mm/spell}]; [1/\text{m}^2 \text{ año}]$$

Siendo:

- C_R un coeficiente de rugosidad, que tiene en cuenta la variabilidad de la velocidad del viento en el lugar, debida a la altura por encima del nivel de la rasante y la rugosidad del terreno en el entorno. Habitualmente, se sitúa entre 0,70 y 1,15 [-] (BRE, 2007), si bien la norma UNE-EN ISO 15927:2011, lo restringe a un valor mínimo de 0,665.
- C_T un coeficiente topográfico, que tiene en cuenta el aumento de la velocidad media del viento en colinas y taludes aislados, que debe utilizarse cuando la edificación se localiza sobre elevaciones o cerca de acantilados. Habitualmente se sitúa entre 1 y 1,2 [-] (BRE, 2007).
- O un factor de obstrucción, dependiente de la afección de obstáculos cercanos al edificio sobre el régimen de vientos inmediato al edificio. La norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, estima un valor para este factor situado entre 0,2 y 1 [-].
- W un factor de captación, dependiente de la geometría y posición del punto concreto analizado en la fachada, presencia de salientes, orientación de ladrillos, proximidad a las esquinas... Habitualmente se adoptan valores entre 0,2 y 0,5 [-].

Height (m)	Open Country	Suburban	City Center
1	0.72	0.56	0.41
3	0.84	0.74	0.65
5	0.91	0.84	0.78
7	0.95	0.91	0.88
10	1.00	1.00	1.00
20	1.10	1.19	1.28
30	1.17	1.32	1.49
50	1.25	1.50	1.70

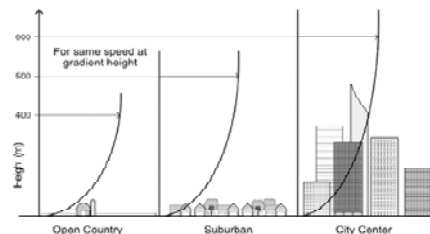


Figura II.69.- Estimación del factor multiplicador de velocidad de viento de la norma ASCE/SEI 7-10 "Minimum Design Loads of Buildings and Other Structures", de la Asociación Americana de Ingenieros Civiles, sin considerar la topografía del terreno circundante al edificio. Fuente: Straube, 2010.

El coeficiente C_R , incluye en su ajuste el efecto de la altura del edificio sobre la rasante. Puesto que a mayor altura del punto considerado, mayor será la velocidad del viento registrada sobre el mismo, podría estimarse este efecto en la anterior fórmula. Se analizaría de este modo, la velocidad del viento en la altura concreta de cada punto analizado, para obtener la intensidad de lluvia exacta sobre el mismo. A efectos normativos, resulta de mayor utilizar considerar como referencia de altura, la máxima del edificio, aplicándose así a toda la fachada la caracterización para la condición más desfavorable del mismo.

Dado que la topografía del terreno también influye sobre la velocidad del viento, este parámetro podría incluirse igualmente en el anterior factor. No obstante por motivos de simplicidad, se define en un coeficiente topográfico adicional, que solo ha de tenerse en cuenta para edificaciones en pendientes mayores al 5% o cercanas a grandes irregularidades del terreno.

La aproximación al factor de obstrucción O, que de forma normativa se hace mediante una simple tabla en función de la distancia al obstáculo, ha sido objeto de profunda investigación reciente con la ayuda de programas de simulación numérica, que han permitido establecer aproximaciones más rigurosas al régimen de viento en el entorno del edificio. A pesar de ello, la variabilidad de los obstáculos, casos y distancias posibles, hacen aconsejable recurrir a una determinación más generalista y funcional.

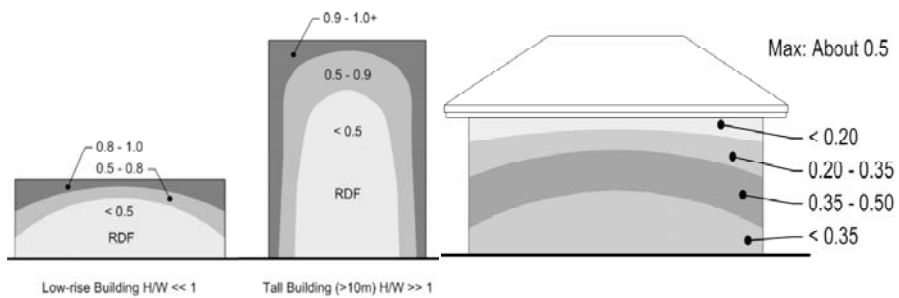


Figura II.70.- Estimación del factor W (RDF para algunos autores), para algunas geometrías simples de edificio, en base a estimaciones experimentales, de ensayo y de simulación. No toda la fachada, recibe la misma precipitación durante un episodio de lluvia. Fuente: Straube, 2010.

Descripción del muro	Valor medio	Distribución			
Muro pñón de dos pisos	0.4		Muro de dos pisos con alero	0.3	
Muro pñón de tres pisos	0.3		Muro de tres pisos con alero	0.4	
Edificio de varios pisos con cubierta plana (pendiente < 20°)	por ejemplo, 0.2 para un edificio de diez pisos, pero con una intensidad más elevada en la parte superior	0.5 para la parte a más de 2.5 m 0.2 para el resto	Edificio de dos pisos con cubierta plana (pendiente < 20°)	0.4	

Figura II.71.- Estimación del factor W (en valor medio y según posición), para geometrías simples de edificio, en base a estimaciones experimentales, de ensayo y de simulación aportados por las normas BS 8104:1992 y UNE-EN ISO 15927-3:2011.

Respecto al factor W, las pruebas en túnel de viento y mediciones experimentales realizadas (galgas de recogida de agua de lluvia ubicadas en los propios edificios) y las simulaciones informáticas programas, ofrecen resultados similares y coherentes (Blocken y Carmeliet, 2000a, 2006); (Choi, 1994a, 1994b); (Inculet y Surry, 1995), por lo que el mismo puede caracterizarse conjuntamente y de forma somera según lo expuesto en las anteriores figuras.

Obviamente, las tipologías de edificios abarcan formas y geometrías mucho más complejas, por lo que en ocasiones, este factor introduce un cierto grado de incertidumbre en los cálculos realizados. La simulación numérica puede aportar una herramienta adecuada para su predicción exacta.

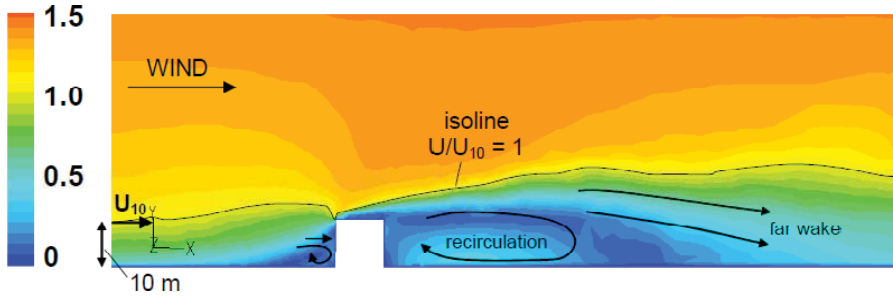


Figura II.72.- Simulación informática para el flujo de viento en el entorno de un edificio y su relación de velocidad respecto de la registrada a una altura respecto de la rasante de 10 m realizada por Blocken y Carmeliet.

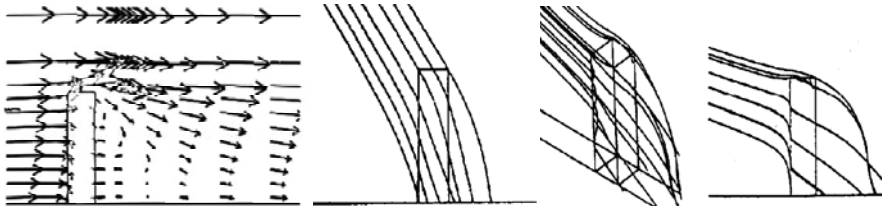


Figura II.73.- Resultados de simulaciones realizadas para flujos de viento en el entorno de edificios, para la estimación de velocidades de viento y factores de incidencia como el presentado (W). Las simulaciones numéricas no obstante, conllevan un elevado esfuerzo técnico y de desarrollo, no viable para textos normativos o la práctica diaria del proyectista. Fuente: Choi, 1994a.

A efectos normativos, la distribución de agua de lluvia sobre las diferentes partes del cerramiento, reviste escaso interés, siempre y cuando se adopte un factor suficientemente conservador y constante para toda la fachada.

La obtención o estimación de este valor máximo sí reviste por lo tanto gran importancia.

II.4.1.6.- Incertidumbres vigentes en la elección de la exposición más desfavorable sobre el cerramiento

Como se ha presentado, existen actualmente metodologías más que sobradas para estimar con precisión la cantidad de agua que se espera sea recogida sobre el cerramiento vertical durante una precipitación, dependiendo de los datos climáticos disponibles.

No obstante resulta mucho más difícil estimar cual es el parámetro de exposición más desfavorable para el cerramiento, dado que son tres los más relevantes para la penetración de agua a través del cerramiento: cantidad de agua recibida por el mismo, presión eólica simultánea y la duración del evento de precipitación.

En relación a los dos primeros, la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 considera únicamente como factor de exposición el valor de lluvia batiente registrado sobre el cerramiento, bien sea en un intervalo anual o durante un periodo de humedecimiento, considerando que la influencia de la presión eólica se tiene en cuenta indirectamente en el cálculo de dicho valor.

No obstante, muchos investigadores no están de acuerdo con esta aproximación tan simplificada. Así, es aceptado entre la comunidad científica, que la interrelación entre la intensidad de lluvia sobre la fachada y la presión del viento incidente al cuantificar la magnitud de la exigencia, depende del tipo del cerramiento (Birkeland, 1963).

En cerramientos ejecutados correctamente con revestimientos que no presentan fisuras, grietas o imperfecciones apreciables (aberturas menores a 0,5 mm), la penetración de agua muestra mayor sensibilidad a la variación de la presión del viento, que a la cantidad de agua existente sobre la superficie.

Por el contrario, en fachadas con aberturas relevantes (mayores a 1 mm), la cantidad de agua superficial sobre el cerramiento, suele ser un parámetro mucho más relevante para la penetración de agua, que la presión simultánea ejercida por el viento sobre el muro (Cornick y Lacasse, 2005).

Dado que las condiciones de envejecimiento de los cerramientos en su situación de servicio son muy dispares, presentando al inicio de su vida útil una configuración propia de la primera situación, para ir derivando hacia la segunda con el paso de los años, la conclusión es que no existe una única solución unívoca que determine que parámetro de exposición es más importante de los dos.

Debido a ello, a lo largo del capítulo IV, la exposición a la humedad se ha caracterizado en base a todos los parámetros (lluvia batiente, presión eólica y duración de la exposición), para posibilitar al técnico diseñador o al ente legislador, adoptar aquellos que considere más adecuados para caracterizar la exposición a la humedad de los cerramientos.

En cualquier caso, también en el capítulo IV, en su apartado IV.5.7 se presenta una primera aproximación a un índice integrado de exposición, que aúna en un mismo indicador tanto exposición a la presión eólica, como la exposición a la lluvia batiente, ponderando su influencia al 50%, en igualdad de condiciones.

Se aporta de este modo una única magnitud que caracteriza las condiciones de exposición más desfavorables en el emplazamiento, de forma cualitativa respecto a otros emplazamientos en base a esta igualdad entre la influencia de ambos parámetros. El indicador, denominado índice integrado de riesgo de penetración de agua (IP), permite igualmente ajustarse a otras ponderaciones diferentes entre la influencia de la lluvia batiente y la presión eólica sobre el cerramiento.

Del mismo modo, la duración durante la cual se mantiene la exposición representa también un parámetro de interés para caracterizar la exposición. Es por ello que el anterior índice de riesgo de penetración de agua se caracteriza en base a tres duraciones independientes de interés, tal y como se desarrollará en el capítulo IV.

Tal y como se ha indicado anteriormente al definir el periodo de retorno, la duración del evento, establecido un periodo de retorno, condiciona también la intensidad de la exposición considerada. Para un mismo periodo de retorno (por ejemplo 10 años), la intensidad de lluvia batiente máxima que puede registrarse en 10 min, es mucho mayor, de la que puede registrarse durante 1 hora (durante una hora, se promedian tanto los 10 de máxima precipitación y viento, como los 50 minutos restantes de menor exigencia, siendo el resultado promediado inferior).

Por otro lado, la aplicación experimental de la lluvia calculada para 10 min, puede ser para el cerramiento menos desfavorable que una menor cantidad de lluvia, aplicada durante 1 hora. Es difícil por lo tanto, establecer qué parámetro resulta más conservador o desfavorable (Blocken y Carmeliet, 2000b).

En relación a la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, el cálculo de la exposición en base a un intervalo anual (I_A), no aporta una información relevante que pueda ser utilizada para caracterizar el riesgo de penetración de humedad como consecuencia de una fuerte solicitación puntual sobre el cerramiento. Al contrario, indica simplemente una estimación cualitativa del grado anual de solicitación por humedad que dicha fachada se espera que tenga, siendo útil para caracterizar un estado general de humedecimiento en el cerramiento.

Por su parte, el cálculo en base a I_S [mm/spell], se ajusta más a la solicitación real que puede producirse durante un episodio de precipitación concreto, pero debe ser también adoptado con ciertas reticencias, ya que la duración del propio periodo de humedecimiento considerado, está sujeta a la consideración de un periodo de albañilería pesado (recuérdese que para cerramientos de albañilería pesado, el periodo para iniciar la evaporación del cerramiento se estimaba en al menos 96 horas carentes de precipitación).

Ambos intervalos de tiempo, anual y por periodo de humedecimiento, son en cualquier caso demasiado amplios para caracterizar la exposición más desfavorable relacionada con la penetración de agua en los cerramientos, a juicio de numerosos investigadores.

A efectos de investigación, Choi (1998) indicó ya necesidad de adoptar una duración más razonable para los criterios de penetración de agua por lluvia, afirmando de forma meramente subjetiva, que dicho periodo debería estimarse en los 5 minutos de máxima precipitación esperados para un periodo de retorno de 10 años. La misma consideración fue adoptada años después por Sahal y Lacasse (2008), para un periodo de retorno de 30 años.

Todos los ensayos internacionales de estanqueidad para cerramientos que permiten caracterizar la resistencia de los sistemas constructivos ante la penetración de agua, apoyan la idea de un periodo de exposición más reducido para caracterizar las solicitaciones más severas, definiendo duraciones para las exposiciones de ensayo que oscilan entre 5 y 20 minutos habitualmente.

Adoptando esta consideración, a lo largo del capítulo V se han utilizado las exposiciones de lluvia batiente y presión eólica caracterizadas en intervalos iguales a los de los ensayos de estanqueidad, para mediante los resultados de estos ensayos, definir por

primera vez, la prestación exacta de protección frente a la humedad que cada sistema constructivo ofrece en cualquiera que sea su emplazamiento y futura condición de servicio.

II.4.1.7.- Condiciones atmosféricas para el cálculo de condensaciones

Por último, para las exigencias relativas a condensaciones intersticiales y superficiales, el CTE analiza las condiciones medias de temperatura y humedad relativa registradas en el exterior de los edificios durante un periodo de 15 años, las cuales en conjunción con las condiciones ambientales interiores previstas y analizadas al inicio de este apartado, permiten calcular el flujo de vapor a lo largo del cerramiento.

Es posible con estos datos ambientales internos y externos, estimar la posibilidad de aparición de condensaciones, al entrar en contacto dicho flujo de vapor con partes frías del cerramiento.

Localidad		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Albacete	T _{med}	5,0	6,3	8,5	10,9	15,3	20,0	24,0	23,7	20,0	14,1	8,5	5,3
	HR _{med}	78	70	62	60	54	50	44	50	58	70	77	79
Alicante	T _{med}	11,6	12,4	13,8	15,7	18,6	22,2	25,0	25,5	23,2	19,1	15,0	12,1
	HR _{med}	67	65	63	65	65	65	64	68	69	70	69	68
Almería	T _{med}	12,4	13,0	14,4	16,1	18,7	22,3	25,5	26,0	24,1	20,1	16,2	13,3
	HR _{med}	70	68	66	65	67	65	64	66	66	69	70	69
Ávila	T _{med}	3,1	4,0	5,6	7,6	11,5	16,0	19,9	19,4	16,5	11,2	6,0	3,4
	HR _{med}	75	70	62	61	65	60	39	40	60	65	73	77
Badajoz	T _{med}	8,7	10,1	12,0	14,2	17,9	22,3	25,3	25,0	22,6	17,4	12,1	9,0
	HR _{med}	80	76	69	66	60	55	60	50	57	68	77	82
Barcelona	T _{med}	8,8	9,5	11,1	12,8	16,0	19,7	22,9	23,0	21,0	17,1	12,5	9,6
	HR _{med}	73	70	70	70	72	70	69	72	74	74	74	71

Figura II.74.- Algunos datos climáticos mensuales referentes a capitales de provincia para el cálculo de condensaciones interiores, según serie de datos correspondiente al periodo 1971-2000. Fuente: España, 2006.

Estos datos relativos a la temperatura exterior media mensual y humedad relativa media mensual, han sido utilizados en esta Tesis Doctoral para estimar una mejor aproximación a los parámetros de conductividad de los materiales en las condiciones de diseño de los cerramientos verticales, en el capítulo VI.

II.4.- MECANISMOS DEL TRANSPORTE DE HUMEDAD EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Todos los materiales habitualmente utilizados en la construcción, pueden clasificarse como porosos en mayor o menor medida. La dispersión, conectividad, estructura y tamaño de sus poros, determina en gran medida sus propiedades de resistencia frente a la humedad ambiental y la interacción con el ambiente interior y exterior al cerramiento.

Un medio poroso está formado por una matriz sólida de material, que contiene en su interior un sistema de poros interconectados entre sí y con el exterior en mayor o menor medida. Estos poros abiertos se encuentran ocupados por uno o varios fluidos, generalmente aire húmedo y/o agua líquida, procedentes del ambiente exterior o de la humedad aportada durante la construcción del material. Comparativamente la dimensión de estos poros es relativamente pequeña respecto a la matriz sólida en la que se insertan, pero aun así, su superficie específica no es despreciable para la caracterización del comportamiento de los fluidos contenidos en dicho medio poroso.

Así, simplifícadamente el medio poroso puede definirse como una porción de espacio ocupada por materia heterogénea, con una de sus fases en estado sólido. Una porción representativa del medio poroso, debe estar por lo tanto compuesta por parte de la matriz sólida del material y los fluidos existentes dentro de su medio poroso. Este concepto se extenderá más adelante, al hablar de volumen representativo, promediado volumétrico o V.E.R. (Whitaker, 1969).

Para que el interior de los medios porosos se encuentre ocupado por estos fluidos y para que éstos tengan cierta capacidad de transporte a través del material e interacción con el medio sólido, es necesario que algunos de los poros estén interconectados entre sí y a su vez con el ambiente exterior.

Aquellos poros existentes dentro del material, no interconectados de este modo, conforman la llamada porosidad cerrada del material y dado que no interactúan con el exterior, ni participan en el transporte de materia a través del material, son considerados a todos los efectos como parte de la matriz sólida (inertes). En ocasiones, los poros, aun siendo abiertos, se encuentran interconectados por canales de tan reducida dimensión, que puede despreciarse el paso de materia a través de los mismos, considerándose igualmente estos poros como cerrados.

La variabilidad del volumen total de poros en el interior de los materiales de construcción es muy relevante, pudiéndose encontrar cifras cercanas al 95% en el caso de aislantes térmicos de gran ligereza. No obstante, la naturaleza abierta, efectiva o cerrada de sus sistemas internos, condiciona la capacidad de transporte de humedad, independientemente del espacio no ocupado por la matriz sólida. De este modo, muchos de estos aislantes térmicos de gran porosidad, tienen una baja capacidad de absorción de humedad (XPS, EPS de alta densidad...).

La estructura del sistema poroso es muy compleja en los materiales de construcción tradicionales, condicionada por la granulometría de los componentes utilizados y las reacciones químicas que tienen lugar en su fabricación o puesta en obra. No obstante, salvo productos muy específicos, todos ellos contienen cierta proporción de porosidad efectiva o abierta, (interconectada entre sí y con acceso al exterior), a través de la cual puede producirse un cierto flujo de humedad.

Se clasifican como higroscópicos aquellos materiales con capacidad para absorber o ceder agua en función de la humedad relativa del ambiente en el que se encuentra (España, 2006). Esta definición, aportada por el Código Técnico de la Edificación en su articulado, no establece limitación para esta capacidad, por lo que todos los materiales utilizados en obra, pueden considerarse como higroscópicos en mayor o menor medida.

Aunque todos los materiales poseen un cierto grado de higroscopicidad, algunos de ellos, utilizados como impermeabilizantes, presentan estructuras porosas mayoritariamente cerradas, que se reflejan en una variación casi nula del contenido de humedad en el material y una nula interacción del sistema poroso con la acción ambiental externa.

Así pues, las propiedades de transporte, almacenamiento e interacción con la humedad de los materiales de construcción (medios porosos), queda definido por las características geométricas, organizativas y dimensionales de sus poros en el interior de la matriz sólida. A mayor tamaño, interconexión y apertura de los poros al exterior, mayor será la interacción del material con la humedad ambiental.

La naturaleza y proporción y condiciones de los fluidos que interaccionan en el interior del material, fluctúa en base a estas condiciones ambientales exteriores. La humedad relativa y temperatura interior al cerramiento, condicionará la proporción de vapor en migración a través del material, así como su temperatura y proximidad al estado de saturación y a la ocurrencia de condensaciones. Por su parte, la climatología exterior (lluvia sobre fachada, temperatura, viento, humedad relativa, radiación solar), influirá decisivamente en la evaporación de agua líquida o en su penetración al interior del medio poroso, e incluso posibilitará el cambio de fase de los fluidos contenidos.

Disponer de materiales resistentes a esta interacción, permitirá en primer lugar limitar la influencia de las condiciones externas en el interior de la edificación y por otro, incrementar su durabilidad en el tiempo y resistencia a la ocurrencia de síndromes como los expuestos al principio de este capítulo.

Derivados de las acciones interiores y exteriores al cerramiento, los principales componentes que ocupan el medio poroso son aire y humedad, entendida ésta como una mezcla variable de vapor y agua líquida. Otros componentes menos representativos son el dióxido de azufre, dióxido de carbono y otras sales disueltas en el agua, responsable de muchas de las afecciones habituales en cerramientos.

De una forma ideal, a pesar de que el medio poroso es un complejo sistema multifase con importantes interrelaciones entre sus componentes, se desprecia la presencia de componentes tales como sales y gases disueltos, considerándose como la única materia presente el aire, vapor, agua líquida y la matriz sólida del material del elemento constructivo.

Estos fluidos, suelen considerarse como ideales y newtonianos para la simplificación de su comportamiento en el interior del material. Se desprecian igualmente las reacciones químicas que pudieran darse entre estos fluidos y las sales y gases que pueden existir y se considera la matriz sólida como inerte a los mismos, e indeformable.

Otros tipos de análisis, no obstante, sí habrán de tener en cuenta la presencia de reacciones químicas y deformaciones producidas en la estructura porosa del material como consecuencia de la presencia de ciclos de humedad en el medio poroso o incluso

por procesos de congelación de agua. Tal y como se ha presentado previamente, estos efectos son los responsables de numerosos efectos patológicos erosivos en los materiales del cerramiento.

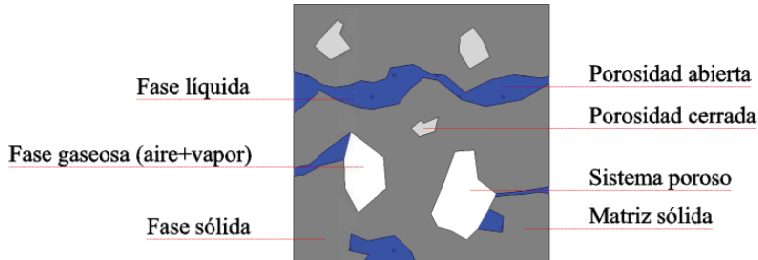


Figura II.75.- Composición del medio poroso con convivencia de tres fases de la materia; sólida en la matriz del material; líquida y gaseosa en el interior del medio poroso. La fase gaseosa por su parte se estima compuesta por una mezcla ideal de aire seco y vapor de agua. La proporción de fase sólida depende del material, mientras que la de fase líquida y gaseosa, de las condiciones ambientales.

Un meticuloso análisis microscópico del medio poroso da lugar a la observación de estructuras y distribuciones porosas de gran complejidad y heterogeneidad, que hacen su estudio demasiado amplio y complejo. La escala de las irregularidades que pueden observarse a esta escala, es de la misma magnitud que el propio tamaño de los poros analizados, por lo que no pueden establecerse pautas de análisis válidas para el medio a dicha escala.

Resulta obvio indicar que la estructura porosa no se repite de forma uniforme en todo el material, ni a su vez ésta se muestra con igual intensidad y distribución en todo su volumen. Las características geométricas, granulométricas y tipológicas del material, configuran trazados en el sistema poroso inabordables para su estudio y análisis pormenorizado, siendo necesaria una simplificación macroscópica de su estructura y de los procesos que tienen lugar en su interior.

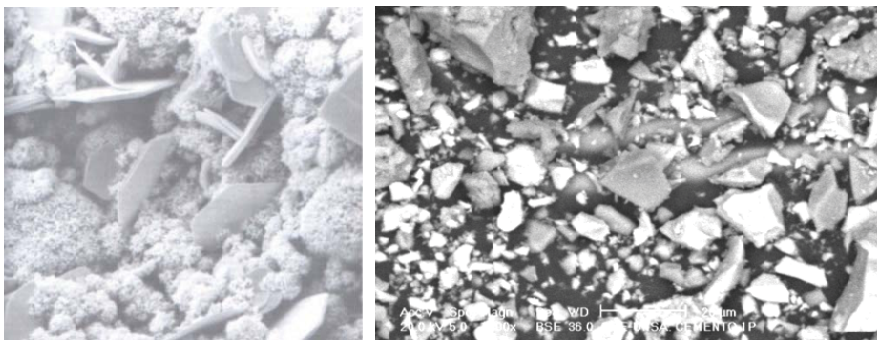


Figura II.76.- Imagen al microscopio de alta resolución de pasta de cemento hidratada (izq.) con su compleja estructura imposible de discretizar. A la derecha, a una escala de $2 \cdot 10^{-7}$ m, puede observarse la estructura porosa del cemento fraguado, igualmente inabordable.

Dado que los materiales porosos llegan a contener poros de tamaño muy reducido (hasta $1 \cdot 10^{-8}$ m), las heterogeneidades que se aprecian, alcanzan la misma magnitud que los propios poros, por lo que deben ser tenidas en cuenta si la caracterización del material se realizara a esta escala. La presencia de estas heterogeneidades, afecta incluso al recorrido libre de las moléculas de vapor de aire en el medio, cuya longitud principal se estima en torno a $5 \cdot 10^{-8}$ m (Carman, 1956). Puesto que su aleatoriedad es extrema, resulta imposible establecer modelos simplificados a este nivel, siendo necesario trabajar a una escala mayor.

Para una caracterización idealizada del material y sus heterogeneidades, es necesario recurrir a una escala mayor, de nivel macroscópico, donde la dimensión, trazado y heterogeneidades del sistema poroso, resultan despreciables frente al tamaño del propio material constructivo que se analiza.

No obstante, en una solución constructiva analizada a este nivel, además de la propia heterogeneidad microscópica (despreciable a esta escala), pueden apreciarse heterogeneidades de mayor magnitud, derivadas del uso de materiales diferentes, existencia de fisuraciones, huecos, grietas, defectos o de la simple geometría irregular del material, que no deben ser despreciadas. Un ejemplo típico de este efecto es la presencia de juntas de mortero en las fábricas, inicialmente homogéneas, de ladrillos.

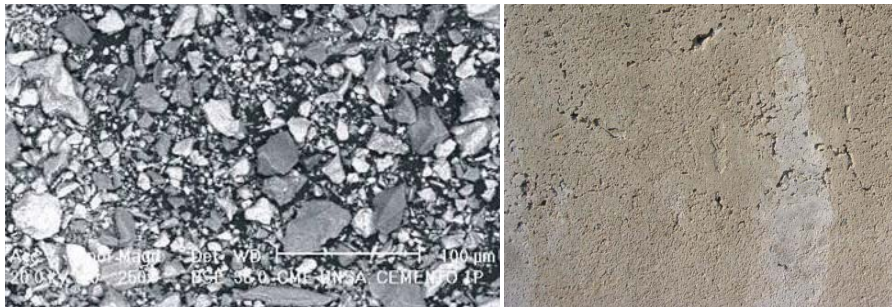


Figura II.77.- Heterogeneidad a nivel microscópico (μm) obtenida por microscopía (izq.) y heterogeneidades a nivel macroscópico, observables a simple vista (der), para dos ejemplos de un mismo material cemento. El estudio a ninguna de las dos escalas es abordable sin una necesaria simplificación.

Estas heterogeneidades, al igual que sucedía en la escala microscópica, tienen una magnitud similar al propio tamaño del material constructivo, si bien a diferencia de las primeras, suelen repetirse según patrones de colocación o manufactura, lo que hace posible su análisis a nivel macroscópico. Una técnica habitual consiste en subdividir la estructura heterogénea del material en diversas sub-regiones, cada una de las cuales se considera homogénea, incluyendo parte de la heterogeneidad que se repite (figura II.78).

Aun a esta escala macroscópica es necesario realizar ciertas simplificaciones, que faciliten la idealización del comportamiento del medio poroso. Así, a efectos de estudio, se considera que cada uno de los materiales de construcción utilizados en las soluciones edificatorias, es homogéneo, isotrópico y está caracterizado con unas propiedades medias aproximadas representativas de todo el material, a lo largo de todos sus puntos. Se define de este modo el material como un medio continuo.

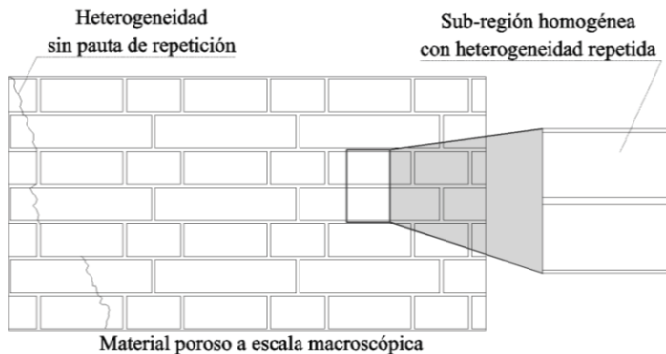


Figura II.78.- Siempre y cuando la heterogeneidad microscópica siga un patrón definido por su colocación o manufactura, será posible su simulación mediante cálculo numérico e inclusión dentro del sistema calculado. Grietas y otros defectos macroscópicos aleatorios, deberán ser evitados en la medida de lo posible mediante una adecuada ejecución y puesta en obra de los materiales.

Así, cada punto del medio poroso puede considerarse compuesto por un volumen infinitesimal del medio continuo poroso, caracterizado por la presencia de fase sólida, líquida y gaseosa, en unas condiciones representativas a todo el material. Las propiedades del medio poroso, en esta hipótesis simplificada de medio continuo, varían de forma continua de un punto representativo a otro del material, siendo posible su idealización.

Las propiedades de cada punto representativo o Volumen Elemental Representativo del medio continuo (Whitaker, 1969), han de ser independientes del tamaño del mismo y continuas en el espacio y el tiempo en condiciones estáticas. Cada uno de estos puntos representativos debe por lo tanto ser lo suficientemente grande como para poder considerar despreciable la heterogeneidad a nivel microscópico y lo suficientemente pequeño para considerarlo infinitesimal en relación al medio poroso.

Su dimensión por lo tanto, debe ser tal que permita albergar un número limitado y suficiente de poros del material, pero sin llegar a contener heterogeneidades macroscópicas (Gómez, 2006).

Respecto a la existencia de las macro-heterogeneidades antes citadas, por sí solas alteran el comportamiento del medio poroso frente a la exigencia de protección frente a la humedad. Dado que la exigencia básica de protección frente a la humedad se enfoca desde un punto de vista absolutista, evitando cualquier paso de humedad, estas heterogeneidades deben impedir el paso de agua a su través, si se pretende caracterizar la resistencia del medio continuo representativo.

Por ello, la definición del comportamiento general del medio poroso, no tiene sentido si a través de las mismas, se invalida cualquier predicción realizada para un medio poroso homogéneo y continuo.

Por ello, estas heterogeneidades deben ser evitadas o abordadas cuando su eliminación no sea posible, mediante una correcta ejecución en obra y adecuado diseño, que no merme las capacidades esperadas para el medio continuo. Solo de este modo, la caracterización idealizada del material y sus propiedades, será realmente útil en la predicción del comportamiento del medio poroso y permitirá el desarrollo fiable de

modelos matemáticos y físico que simulen algunos de los fenómenos de transporte que se dan en la matriz porosa del material.

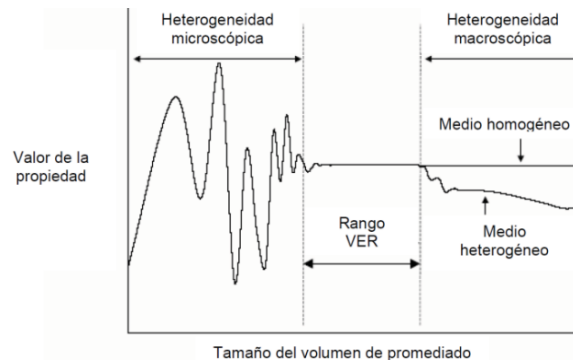


Figura II.79.- Al incrementar el tamaño de la muestra representativa, las propiedades del medio se promedian y armonizan, hasta un punto en el que la existencia en la muestra de irregularidades macroscópicas, vuelven a alterar los valores medios de las mismas. Fuente: Gómez, 2006.

II.4.1.- FENÓMENOS ASOCIADOS AL TRANSPORTE DE HUMEDAD

La descripción de los procesos de transporte de humedad en el interior de los materiales de construcción conlleva una elevada complejidad. A diferencia de otros procesos de transporte físicos (como el calor), en el transporte de humedad intervienen un elevado número de factores, que inciden fuertemente en el desarrollo de los procesos a nivel microscópico y macroscópico.

Este transporte de humedad, puede además producirse en diferentes fases de la materia, comportándose el mismo, sea mediante transmisión de vapor o mediante difusión de agua en estado líquido, de forma distinta. Así, según el estado de la humedad transportada, los factores que condicionan el proceso varían enormemente.

Complicando aún más la definición de este transporte, ambos estados, líquido y gaseoso, se presentan de forma simultánea en el material, compartiendo el espacio libre interior del medio poroso y no siendo posible diferenciar claramente ambos mecanismos en un momento concreto del proceso de transporte.

Dado que la mayoría de los materiales de construcción pueden considerarse higroscópicos, el material de construcción, rara vez se encuentra libre de humedad en el interior de su matriz porosa. Incluso en el momento mismo de su instalación en obra, presentan contenidos variables de humedad, que como en el caso de hormigones y cementos, puede ser muy elevado.

La utilización en la obra de procesos constructivos “in situ” que precisan uniones húmedas que implican la aportación de gran cantidad de agua para propiciar las reacciones químicas que permiten la ligazón o adherencia de los materiales constructivos, incrementa la cantidad de humedad contenida en la matriz porosa, frente a otras construcciones industrializadas o prefabricadas, basadas en un montaje en seco en la obra.

Una vez colocado el material de construcción en su disposición final de obra, éste se ve sometido a las acciones propias del entorno atmosférico al cual se ve expuesto, bien sea éste interior o exterior. Partiendo inicialmente de condiciones de humedad que frecuentemente son superiores a las del ambiente exterior, el ajuste higroscópico que se establece a través de la porosidad abierta del material, permite la lenta evaporación del exceso de humedad hasta que la humedad de obra se encuentra en equilibrio con el ambiente.

La naturaleza del entorno de exposición varía en base a la posición del material en la obra, pudiendo estar éste en contacto con el exterior y por lo tanto sometido a las consecuentes acciones climáticas atmosféricas, en contacto con el interior o bien formando parte intrínseca del elemento constructivo, quedando revestido por otros materiales y teniendo contacto con el exterior a través de los mismos.

Las condiciones climáticas externas y el uso aparejado al interior de los recintos, viene a condicionar decisivamente el comportamiento del material y las condiciones de transporte de humedad que van a darse en el mismo, siendo necesario garantizar diferentes propiedades higrotérmicas e higroscópicas en los mismos para garantizar su durabilidad y cumplimiento de las prestaciones exigidas.

II.4.1.1.- Fenómenos de humedecimiento

Dadas las propiedades higroscópicas de los materiales de construcción, estos se ven afectados por la humedad presente en el entorno que los rodea. Los materiales se encuentran así sometidos a procesos de humedecimiento y secado continuos, mediante los cuales almacenan humedad en su interior o la ceden al ambiente. Para ello, la humedad y el aire se desplazan a través de su sistema poroso, sometidos a complejas interacciones físicas y químicas.

En cualquier caso, para que se produzca este desplazamiento de humedad en el interior del material, debe establecerse un potencial físico que active dicho movimiento, cuya naturaleza varía según la fase y momento de humedecimiento-secado analizado.

El transporte del aire (y con él, el de las moléculas gaseosas de vapor), en el interior del material únicamente puede producirse bajo la existencia de gradientes de presión, que produzcan un movimiento másico o convectivo de aire en el interior del medio poroso. Con frecuencia, este mecanismo de movimiento convectivo suele despreciarse, aduciendo a la elevada resistencia hidráulica proporcionada por la tortuosidad y dimensión del complejo sistema poroso microscópico.

Otro motivo para despreciar el movimiento convectivo de aire, se relaciona habitualmente con la elevada permeabilidad al aire del material, si se compara con la permeabilidad al agua líquida. Esto supone que los gradientes de presión en fase líquida son mucho mayores y más continuados en el tiempo, que los atribuibles a la fase gaseosa (los cuales se homogeneizan rápidamente), por lo que pueden ser despreciados.

Es frecuente por lo tanto considerar la presión del aire contenido en el material poroso como constante e igual a la presión establecida en su ambiente exterior inmediato. Con objeto de simplificar la idealización del comportamiento del material y de los mecanismos de transporte, tampoco son considerados efectos de deformación en la matriz del material, aun cuando en una situación no ideal, son conocidas las

problemáticas asociadas a la deformación del material por sus variaciones de temperatura y contenido de humedad.

No obstante, aun en ausencia de este movimiento convectivo del aire en el material, partiendo de un estado ideal en el interior del material de ausencia completa de humedad (considerando nula la humedad de construcción de los materiales), la presencia en el ambiente exterior de una determinada humedad relativa, activa otros fenómenos de transporte de humedad en fase vapor al interior del mismo, provocando su humedecimiento. Dichos fenómenos de transporte comúnmente aceptados se van a describir a continuación:

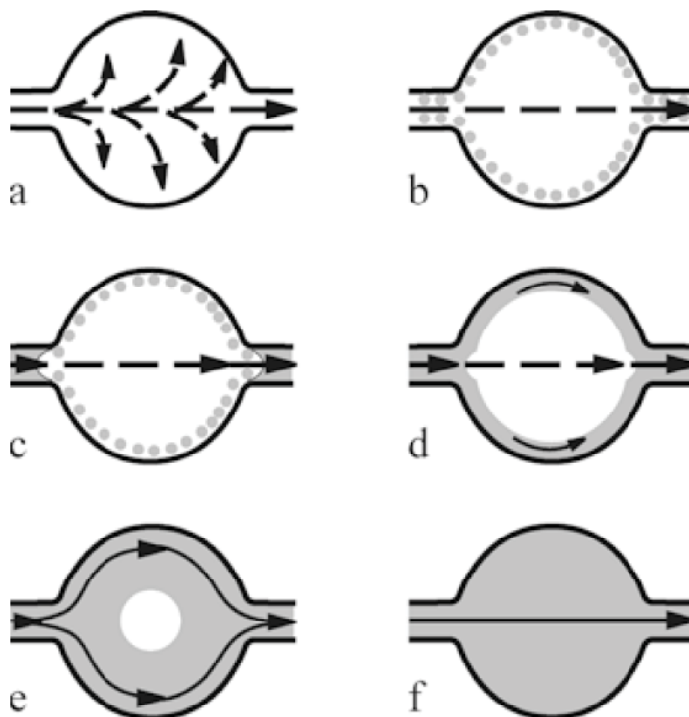


Figura II.80.- Proceso de humedecimiento en poros: a) difusión de vapor, b) adsorción mono y multicapa, c) condensación capilar, d) flujo capilar y difusión de vapor, e) flujo capilar en material no saturado, f) material saturado. Fuente: Franzen y Mirwald, 2004.

Difusión de vapor

Este transporte inicial de humedad, en condiciones de escasa o nula humedad relativa en el interior de la matriz porosa del material, se produce por el desplazamiento de moléculas de vapor regido por la ley de difusión de Fick.

Mediante este proceso físico, las moléculas de humedad en estado vapor se desplazan hacia zonas con una menor humedad relativa o concentración de las mismas,

tendiendo a uniformizar la presión de vapor del aire contenido en el interior de los poros, con la presente en el ambiente exterior.

El gradiente de concentración de partículas de vapor o diferencia de presión de vapor, entre el interior del material y el ambiente externo, actúa como potencial responsable del movimiento de las moléculas. La difusión de las moléculas de humedad hacia zonas no ocupadas por las mismas (el medio poroso) o de menor concentración de las mismas, aumenta así la entropía del sistema y sigue el segundo principio de la termodinámica.

No obstante, el proceso de difusión de vapor descrito por Fick, resulta solo de aplicación en sistemas libres, de volumen no limitado, que no se dan en las condiciones internas del material poroso. Para poros de un tamaño muy reducido, la interacción existente entre las moléculas de vapor y las paredes de la matriz sólida del material, debe ser tenida en cuenta, condicionando y modificando la formulación matemática de la ley de Fick.

El efecto de estas condiciones de contorno, en las que la interacción entre las moléculas de vapor y las paredes del poro es tan relevante como la propia relación entre las moléculas de vapor, se denomina difusión de Knudsen o efusión y se manifiesta, reduciendo la magnitud de la difusión esperada en condiciones ideales.

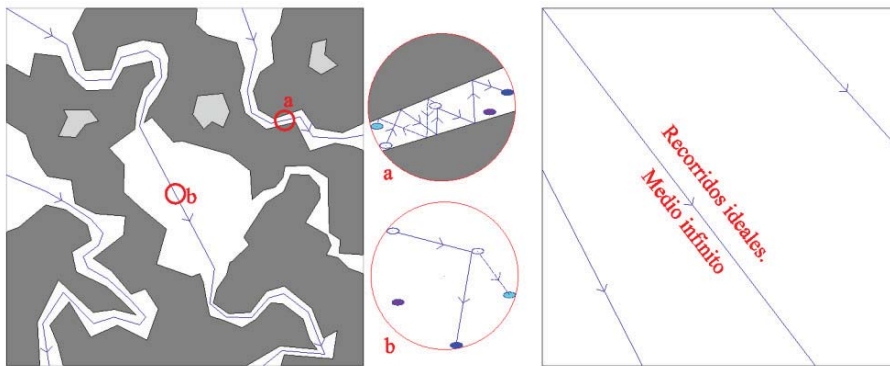


Figura II.81.- La tortuosidad de los recorridos en el sistema poroso disminuye la eficiencia de la difusión respecto a las condiciones ideales (derecha). Del mismo modo, la efusión en poros de reducido tamaño (a), interfiere en los procesos de difusión respecto a las condiciones ideales (b).

También la propia tortuosidad del sistema poroso, que implica que los recorridos por el interior del material no son rectilíneos y definidos, sino mucho más largos y complejos que los ideales, disminuye la magnitud de la difusión, sumando tal efecto a la efusión.

Únicamente para los casos en las dimensiones de un macroporo, fisura o heterogeneidad en el material permitan un desplazamiento libre de las moléculas de humedad en el gas contenido, podremos hablar de unas condiciones ideales de difusión pura, de acuerdo a la ley de Fick. Para ello, se estima, que la longitud principal del recorrido libre de las moléculas de vapor en el aire oscila en torno a $5 \cdot 10^{-8}$ m (Carman, 1956).

En cualquier caso, el tamaño y tortuosidad de la porosidad del material, no son homogéneas en el mismo, por lo que resulta inútil un análisis a escala microscópica que trate de determinar estos efectos. En su lugar, se determina un valor matemático homogéneo, constante y dependiente de la naturaleza del material, denominado el factor de resistencia al vapor de agua μ , que expresa la limitación de la difusión ideal en el material y que se definirá en el siguiente apartado.

El proceso de absorción de moléculas de vapor de agua por difusión, se produce por la diferencia de concentración de estas moléculas en el ambiente y el interior del sistema poroso. Cuanto mayor sea la diferencia de humedad relativa entre ellos, mayor será el potencial del movimiento de la humedad, al incrementarse la magnitud del gradiente que lo provoca y por lo tanto, mayor el transporte de moléculas y de humedad al interior del material.

El gradiente de temperatura establecido entre el ambiente exterior y el material constructivo, influye igualmente en la magnitud de este transporte, si bien su influencia tiene menor relevancia. Por ello con frecuencia, se adopta una configuración isoterma para caracterizar la capacidad de almacenamiento de humedad higroscópica en el material, mediante curvas higroscópicas que serán más adelante presentadas y utilizadas en el capítulo VI.

El proceso de difusión de vapor se minimiza y ralentiza progresivamente al acercarse las condiciones de humedad relativa en el interior del sistema poroso, a la presente en el medio exterior, reduciéndose consecuentemente la magnitud del gradiente de concentración de moléculas de agua que lo produce. Se detendría finalmente este mecanismo de transporte, al alcanzarse unas condiciones idénticas a las exteriores (de equilibrio).

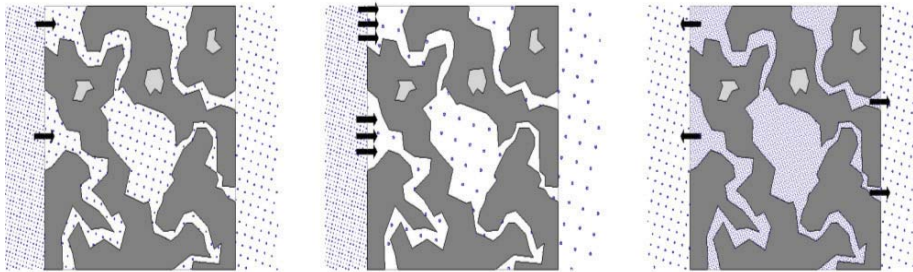


Figura II.82.- El gradiente de difusión se establece según la diferencia de concentración de moléculas de vapor existente. En los dos primeros casos (izq.), la humedad se traslada por difusión al interior del material, con un diferente gradiente. En el tercer caso (der.), es el material quien cede humedad a un ambiente seco.

No obstante, dada la fluctuación continua de la humedad relativa del ambiente externo al material (principalmente bajo las condiciones atmosféricas), puede decirse que el material se encuentra sometido a un continuo transporte de humedad por medio de difusión de vapor, captando y cediendo humedad. Este proceso de transporte, constituye el principal mecanismo de transporte para las moléculas de humedad en estado vapor, si bien no puede considerarse como el único, ni como el más relevante para el transporte de grandes cantidades de humedad.

Adsorción mono-multicapa

Introducidas en el interior del medio poroso las moléculas de vapor por un procedimiento de difusión, algunas de estas moléculas quedan depositadas mediante enlaces físico-químicos (fuerzas de Van der Waals, atracción iónica, reacción química...) sobre las paredes de los poros, fijándose a las mismas. Si la humedad relativa en el entorno del material sigue ascendiendo, la cantidad de moléculas que penetran en el mismo, irá aumentando, propiciando que una nueva capa de moléculas de vapor cubra a la ya fijada previamente a la pared del poro, estableciéndose multicapas de moléculas de vapor sobre las paredes del poro.

Ciertos autores (Rowell et al, 1971) (Krus, 1996) (Künzel, 1994) (Franzen y Mirwald, 2004), indican que estas moléculas de vapor situadas en las capas superiores, fijadas a otras moléculas adheridas al material de una forma más íntima, poseen cierto grado de libertad, que permite su desplazamiento superficial, condicionado por atracciones entre moléculas y por la tendencia a igualar la estabilidad de toda la capa de vapor fijada, igualando el número de capas moleculares adheridas en todos los puntos de la pared del poro.

Se produce de este modo una difusión superficial, cuya magnitud absoluta, respecto de la difusión de vapor tratada anteriormente, resultaría en cualquier caso escasamente relevante en términos macroscópicos.

Suele estimarse, que al alcanzar una humedad relativa en el sistema poroso en torno al 20% (valor variable según la estructura porosa de cada material), la concentración de moléculas de vapor es suficiente como para que las paredes de los poros abiertos se encuentren recubiertas por una capa continua de moléculas de vapor fijadas a la matriz sólida (Adolphs y Setzer, 1996a, 1996b).

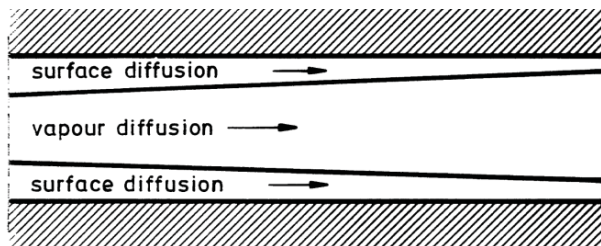


Figura II.83.- Representación esquemática del fenómeno combinado de difusión superficial y de vapor. Las moléculas en las capas superficiales, tienden a homogeneizar su espesor en todo el poro.
Fuente: Rowell et al, 1971.

Este procedimiento de fijación de las moléculas de vapor a las paredes del poro, influye negativamente en la magnitud de la difusión de vapor que se realiza simultáneamente, ya que reduce la sección disponible para el paso de las moléculas de vapor en el poro, incrementando la incidencia del fenómeno de efusión (mayor interacción de las moléculas con las paredes del poro en la difusión).

Conforme la humedad relativa en el medio poroso se va incrementando, el número de capas superpuestas en el pared del poro se va incrementando igualmente,

haciendo más acusada la afección al proceso de difusión que se desarrolla simultáneamente, no siendo esta relación lineal.

Esta afección llega a término al producirse fenómenos de condensación capilar, que interrumpen completamente la difusión de vapor en el poro afectado, al taponarse la vía para su transporte en estado vapor.

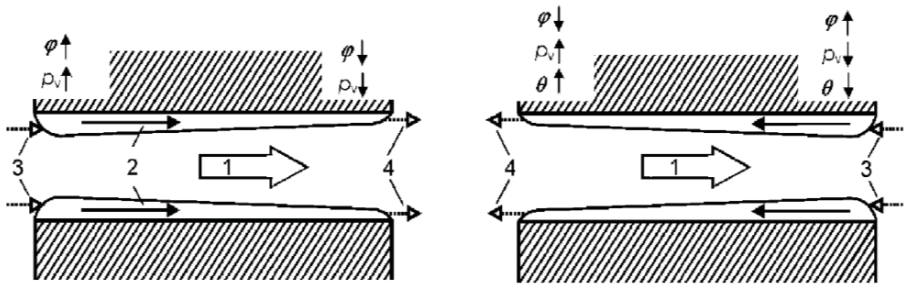


Figura II.84.- La difusión superficial puede darse simultáneamente en sentido contrario a la difusión de vapor. Mientras que el potencial para la difusión de vapor (1), es la presión de vapor, para la difusión superficial (2), es la humedad relativa. Es por ello, que en condiciones de gradiente térmico, el sentido de ambos desplazamientos puede ser opuesto. Fuente: AENOR, 2002a.

Condensación capilar

Llega un momento de humedecimiento en aquellos poros de menor tamaño, en el que las moléculas de vapor no pueden adherirse unas a otras en una sucesión interminable de capas superpuestas. A humedades relativas superiores al 40% (dependiendo de la estructura porosa de cada material), en el interior de sistema poroso pueden empezar a darse fenómenos de condensación capilar si el poro es lo suficientemente pequeño, generándose agua en estado líquido dentro del material, sin necesidad para ello de contacto externo con el agua líquida o condiciones térmicas adecuadas para la condensación.

Cuando las capas de moléculas de vapor en paredes opuestas del poro se encuentran lo suficientemente cerca entre sí, estas pueden llegar a unirse espontáneamente, formando meniscos de agua líquida con una menor energía contenida y mayor estabilidad.

Por lo tanto, el parámetro que define la aparición del fenómeno, es la dimensión del poro concreto en el cual se agrupan las capas de moléculas de vapor y la humedad relativa en el interior del material, indicador del número de capas presentes en los poros.

En casos extremos, con poros lo suficientemente grandes, pueden llegar a fijarse hasta 5 capas superpuestas de moléculas de vapor, sin que éstas pasen a estados de menor energía contenida formando meniscos.

Por ello, la humedad relativa en el interior del poro, puede alcanzar valores cercanos al 90% en los poros más grandes, sin que por ello, llegue a producirse el colapso en un menisco condensado. En los de menor tamaño, valores de humedad relativa del 40%, pueden dar lugar a la formación de esos mismos meniscos de condensación.

A bajos contenidos de humedad relativa, la presencia de moléculas de vapor es muy reducida, las moléculas fijadas a las paredes del poro escasas y el fenómeno de condensación capilar (y aparición de agua líquida en el interior del material), solo se dará en los poros de menor tamaño. Al aumentar la humedad relativa y con ello la cantidad de moléculas de vapor y el espesor de las capas fijadas, esta condensación se producirá también en poros progresivamente más grandes.

La existencia de sales en el interior de los poros, suele incrementar la posibilidad de condensación capilar, al reducir el tamaño efectivo del poro en algunos puntos. La humedad interna necesaria para que se produzca la condensación, dependerá de las características de la sal (tamaño y estructura), así como del tamaño de poro. Del mismo modo, la capacidad de las sales para absorber humedad hará que el material presente mayores contenidos de humedad de los esperados.

La condensación de agua líquida en el capilar, permite también a la sal disolverse y ser transportada junto con el agua hacia el exterior, mediante los fenómenos de capilaridad que se describirán más adelante para el proceso de secado. Se producen así las eflorescencias en la superficie exterior del material, por la cristalización de las sales cuando el agua abandona la matriz porosa y el síndrome consecuente.

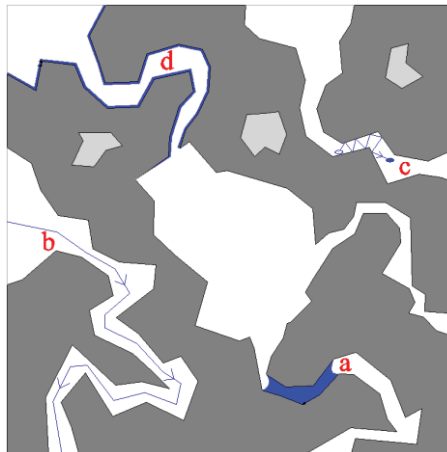


Figura II.85.- La eficiencia de la difusión del vapor se ve reducida por sucesivos efectos como la condensación capilar (a), tortuosidad de los recorridos en el medio poroso (b), interacción con las paredes del poro (c) y reducción de la sección de paso por adsorción mono y multicapa.

Al igual que la adsorción mono-multicapa, el fenómeno de condensación capilar, propicia una alteración significativa en las condiciones de contorno bajo las que se produce la difusión de vapor. A la existencia del fenómeno de efusión, a la tortuosidad de los recorridos internos del medio y a la reducción de la sección del poro por la fijación molecular, se une la presencia de meniscos líquidos, que actúan como obturaciones en algunos poros (los más pequeños, pero progresivamente extendiéndose a otros mayores) para la difusión de moléculas de vapor, minimizando el transporte global de vapor.

La aparición de agua líquida en el interior del material, da lugar al inicio de la saturación del sistema. El grado de saturación existente, será por lo tanto representativo

de la cantidad de poros ocupados por agua en estado líquido, e indirectamente de la eficiencia de los mecanismos de transporte por difusión de vapor.

Debido a ello, tal y como ya se ha mencionado, el factor de resistencia al vapor de agua μ , no cuenta con un valor único específico del material, sino que se ve afectado por el estado de saturación del mismo y es por lo tanto, variable para cada humedad relativa considerada.

El tamaño medio de poro necesario para que se produzca condensación capilar, puede determinarse de forma simplificada mediante la suposición de poros cilíndricos capilares, sobre los que actúa una tensión superficial en la interfaz entre líquido y aire húmedo. De esta forma, puede mediante las ecuaciones de Washburn y Kelvin-Thomson, llegarse a establecer una relación matemática simplificada entre la humedad relativa presente, la presión capilar derivada de las tensiones superficiales del sistema poroso y el "radio" de poro mínimo, necesario para que se produzca la condensación en las hipótesis planteadas.

En consecuencia, bajo unas condiciones determinadas de humedad relativa el poro únicamente puede llegarse de agua por condensación capilar, cuando su dimensión sea lo suficientemente pequeña y esté conectado con la fuente de humedad exterior (poro abierto). No obstante, la irregularidad de la geometría porosa, no cilíndrica, hace que dichos valores no puedan interpretarse literalmente.

En cualquier caso, la existencia de meniscos de agua líquida, propicia también la condensación de moléculas de vapor en su entorno inmediato, adoptando estados energéticos más estables y aumentando rápidamente la presencia de agua líquida en el entorno del menisco.

En las proximidades de la curvatura del menisco, la presión de saturación se reduce drásticamente como consecuencia de las fuerzas de unión entre las propias moléculas que configuran el menisco. Ello provoca, que para presiones de vapor relativamente bajas (50%), en el entorno inmediato de la condensación capilar, la presión de saturación descienda lo suficiente como para que las moléculas de vapor cercanas, pasen a estado líquido, iniciando un transporte de humedad líquida en el medio poroso mediante capilaridad.

Este proceso de aumento en la condensación se producirá, hasta que la dimensión del poro invadido progresivamente por agua líquida, sea lo suficientemente grande como para que la curvatura del menisco no propicie la reducción necesaria en la presión de saturación y por lo tanto, el menisco no siga creciendo.

Los cambios de fase líquido-sólido en el interior de estos poros condensados, son a su vez los principales responsables de los efectos de deformación y erosión por ciclos de hielo-deshielo, al quedar confinada el agua en un espacio muy limitado y expandirse al cambiar de fase.

Conviene por lo tanto, evitar en gran medida, una humedad relativa en el interior de los materiales adecuada para la condensación capilar, en condiciones climáticas de habitual congelación, mejorando de este modo la durabilidad de los materiales.

Flujo capilar y difusión de vapor

Aumentando progresivamente la humedad relativa del ambiente, la concentración de moléculas de vapor será progresivamente mayor y la condensación capilar tendrá lugar en poros cada vez mayores. Su crecimiento se dará igualmente para curvaturas cada vez menores del propio menisco.

En este punto, la presencia simultánea de vapor y agua líquida en el interior del sistema poroso, complica la determinación de los mecanismos de transporte que tienen lugar en el material.

Así simultáneamente, el crecimiento de los meniscos condensados puede avanzar a través de los poros de menor tamaño, para evaporarse nuevamente al alcanzar poros mayores en los que el crecimiento y continuidad del menisco no es posible.

En dicho poro de mayor tamaño, la humedad se transmitiría nuevamente mediante el mecanismo de difusión gaseosa, para volver a condensar al encontrarse nuevamente en un poro de menor tamaño o con un menisco ya formado. Se produce por lo tanto una simultaneidad de procesos de difusión y capilaridad, difícilmente evaluable y cuantificable, al depender de la porosidad concreta del material.

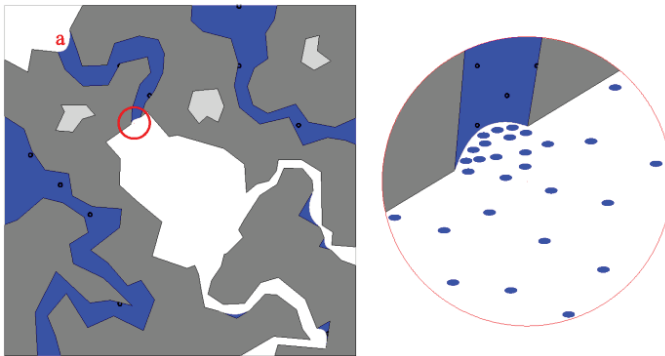


Figura II.86.- La incapacidad del menisco para seguir creciendo en el poro de mayor tamaño (radio de curvatura demasiado amplio), propicia que las moléculas de humedad pasen a estado gaseoso y se desplacen de nuevo mediante mecanismos de difusión. Similar efecto se da en a), actuando el poro como una isla de agua en la difusión, en tanto en cuanto, la humedad no se vea incrementada.

Aunque la presencia de agua líquida en el material, disminuye la eficiencia del transporte por difusión de vapor, el crecimiento de los meniscos, propician en términos generales, un aumento en la cantidad de humedad contenida y transportada por el material.

Es por ello, que a efectos de este trabajo, el contacto del material con condiciones de humedad relativa muy elevada próximas a la saturación o con el propio agua en estado líquido proveniente de precipitaciones atmosféricas, representa la condición más desfavorable sobre el mismo, representando una mayor absorción y transporte de humedad que la producida mediante la difusión de vapor.

Flujo capilar en material no saturado

A humedades relativas elevadas, cercanas al 90%, muchos de los meniscos aislados de agua líquida que se han formado en los poros menores, se han extendido a los poros de mayor tamaño, conectándose entre sí, colapsando y generando una fase continua de agua que ocupa progresivamente todo el sistema poroso.

En este punto, el mecanismo de transporte por difusión adopta un papel residual y secundario, siendo el transporte de agua líquida, el mecanismo de transporte predominante, incrementando rápida y sustancialmente el contenido de humedad en el material y la permeabilidad al agua líquida.

Es en este punto, cuando se produce la mayor penetración de humedad en el material, coincidiendo con condiciones externas atmosféricas de gran humedad relativa, habituales durante las precipitaciones atmosféricas.

Por debajo de una humedad relativa inferior al 80%, el transporte de humedad en fase líquida en el interior del material, puede considerarse como despreciable, dado que a pesar de producirse condensación capilar, e incrementarse el contenido de humedad del material acusadamente, los poros no se hallan interconectados entre sí y el agua líquida no es capaz de trasladarse a través del material.

Al estado de conducción capilar, puede llegarse igualmente en caso de existir condiciones de saturación en el ambiente exterior (producidas por la presencia de agua superficial, filtraciones accidentales por roturas de conducciones, nieve, agua estancada en cubiertas), al penetrar directamente el agua líquida por medio de mecanismos de capilaridad.

Esta penetración es la principal responsable de los síndromes estéticos de suciedad, de eflorescencias y de aparición de humedad indebida en el cerramiento, dada la rápida entrada en el material de grandes volumen de humedad. Es por lo tanto, la vía de transporte de agua, que mayor peligro entraña para el cumplimiento de las prestaciones esperadas en la envolvente. Pero el estado de saturación, puede producirse también de forma interna en los componentes del cerramiento, cuando el material se ve sometido a condensaciones intersticiales.

En dichas condiciones internas de contacto con el agua líquida, se produce un menisco cóncavo en la interfaz líquido-gas, que avanzará impulsado por la presión capilar resultante, hacia el interior del poro, transportándose el agua líquida.

Dado que el ángulo de contacto en la interfaz sólido-agua líquida, es con frecuencia menor a 90° (Figura II.87), el agua tiende a avanzar en el sistema poroso por consecuencia de la acción de la presión capilar. Así pues, es el gradiente o variación de presión capilar en el material, el potencial que estimula el desplazamiento del agua, exista o no una presión externa (como la eólica), siempre y cuando se mantengan las condiciones de saturación exterior.

Con objeto de impedir esta penetración capilar del agua en el interior del poro, han sido desarrolladas numerosas emulsiones e imprimaciones siliconadas, que aplicadas sobre la superficie del material y penetrando ligeramente en el poro (algunos mm),

permiten invertir el ángulo de contacto entre la interfaz del agua y el material tratado (ángulo de contacto superior a 90°).

De este modo, el comportamiento del agua sobre la superficie del material pasa a asemejarse a la del mercurio, repeliendo la entrada del líquido en el material y preservando al mismo de capilaridad.

Es frecuente el tratamiento de hidrofugación en los ladrillos expuestos a la intemperie (caravistas), sumergiendo los mismos en una solución acuosa de derivados de silicona (siliconatos, silano-siloxanos...). Este agente siliconado, es el responsable de que el ladrillo repela la absorción de agua por capilaridad, por la inversión del ángulo de contacto en esta primera capa superficial.

La hidrofugación del material, no impide sin embargo la difusión de vapor a través del mismo, ya que el ángulo de contacto solo afecta al transporte de agua líquida. De este modo, el material permite la transpiración de la humedad a través del mismo, como la derivada de los procesos de secado de los materiales tras su colocación en obra.

Otros productos actúan eliminando la mayor parte de la porosidad superficial del material, rellenando los poros mediante líquidos colmatadores, como los ya regulados por norma, CTE-HS 1.2.2.2.C3, para la impermeabilización de suelos. La aplicación de pinturas y otras sustancias plásticas, generando final películas superficiales sobre el poro, obtiene similares resultados frente a la humedad.

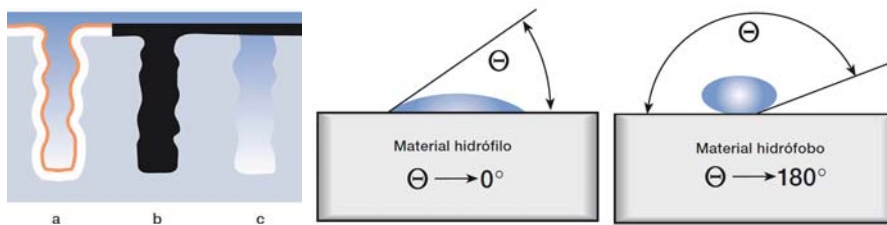


Figura II.87.- Superficie tratada mediante emulsión siliconada hidrogufante a), mediante líquido colmatador de poros b), mediante película de poro cerrado c). Comparación de ángulo de contacto al agua, en superficie tratada (material hidrófobo) y sin tratar (material hidrófilo). Fuente: Wacker Chemie AG, 2011.

La magnitud de la presión capilar (diferencia de presión entre el aire húmedo y el líquido en el sistema poroso), es muy elevada como consecuencia del pequeño tamaño de los poros y su influencia en el desplazamiento de un material no completamente saturado, es muy superior a la generada por otras acciones como la gravitacional o las presiones externas aplicadas sobre el material.

Así, para un poro supuesto de geometría cilíndrica, con un radio de $1 \cdot 10^{-8}$ m, la presión capilar puede llegar a alcanzar magnitudes del orden de 14 MPa, lo que justifica que se desprecien otras interacciones externas. Este efecto se aprecia claramente en el caso de humedades por ascensión capilar desde el terreno, donde la presión capilar en el sistema poroso, es capaz de elevar el agua varios metros, en contra de la gravedad.

No obstante, el volumen de tránsito de agua líquida a través de un poro de tan reducido tamaño puede considerarse también despreciable a efectos macroscópicos. La

acción de la gravedad y presión externa del líquido (como la generada por la presión eólica simultánea a la lluvia), solo tendrán una influencia no despreciable en poros de gran tamaño y en irregularidades en el material apreciables en una escala macroscópica (donde la magnitud de la presión capilar es reducida), donde además el volumen de agua transportado puede ser significativo.

Así, en grietas y fisuras, el viento es capaz de transportar sin oposición la humedad hasta puntos del cerramiento tan profundos como la entidad de la grieta, para a partir de este punto, iniciarse los procesos de transporte que están siendo expuestos. Debido a ello, las afecciones por filtración son detectadas con frecuencia en puntos cercanos a estos defectos, al ejercer el material en dicho lugar una resistencia a la penetración de agua, muy inferior.

También cuando el material alcanza un elevado valor de saturación (la mayoría de los poros del material se han llenado de agua líquida), la acción de la gravedad, el viento, la presión exterior... tienen una mayor influencia en el transporte de humedad, ya que la presión capilar anterior ha quedado eliminada (no existe interfaz entre el menisco líquido y el aire contenido en el poro, ya que este ha desaparecido).

La hidrofugación, colmatación o recubrimiento de los poros superficiales del material, por la inversión del ángulo de contacto en la interfaz sólido-líquido, también proporciona una cierta protección frente a la acción de la gravedad, viento o presión hidrostática. Así, estas fuerzas deben ser lo suficientemente elevadas como para vencer la resistencia a la penetración en la sección del poro hidrofugada (véanse los paralelismos con el ensayo de porosimetría por mercurio que se expondrá más adelante), para que se inicie la absorción por capilaridad.

Alcanzado el contenido capilar de humedad (continuidad mayoritaria de las condensaciones existentes en el interior de los poros y consecuente predominancia estricta del transporte de agua líquida frente a la difusión de vapor), siguen existiendo en el material espacios ocupados por aire, sin conexión al exterior.

Dado que la fase líquida contenida en el medio poroso se produce bien por conexión de las condensaciones capilares producidas por el aumento de la humedad relativa o por el avance por capilaridad del agua líquida desde la superficie del material, una parte del aire húmedo contenido en los poros es atrapado, formando espacios que no se ven ocupados inicialmente por el líquido.

Coincide igualmente, que esta oclusión de aire húmedo se produce en poros de gran tamaño (los últimos en albergar agua líquida por condensación capilar), rodeados de poros más pequeños que se ven rellenos por líquido con mayor rapidez. Es por ello que la cantidad de aire ocluido puede ser significativa. El incremento de presión que se produce en éste aire ocluido, impide igualmente que dentro del poro pueda proseguir la condensación capilar.

La eliminación de este aire ocluido en el medio poroso, es comparativamente más difícil al producirse en poros sin salida y en su mayoría debe realizarse mediante la lenta disolución del aire en el líquido. Así, a estas humedades relativas, en torno al 90%, el contenido de agua en el material puede aun seguir aumentando, si se mantienen en el tiempo o aumentan las condiciones de humedad externas, aunque este aumento será mucho más lento que los procesos anteriormente descritos.

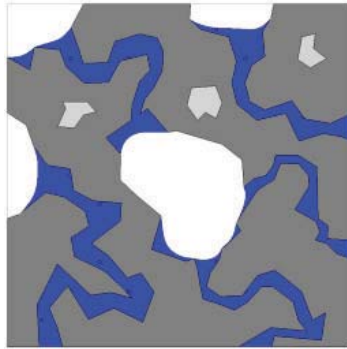


Figura II.88.- El transporte de vapor por difusión hacia el interior del poro de mayor tamaño ha quedado interrumpido por los meniscos de agua líquida creados en los poros que le rodean. El aire contenido, deberá ser eliminado progresivamente del sistema, mediante su disolución en el líquido.

También la acción de fuerzas externas como la lluvia con viento o la gravedad, pueden forzar el movimiento de este aire ocluido en el interior del poro, hasta que finalmente pueda salir hacia el exterior del material. No es frecuente no obstante, que estas condiciones de saturación se mantengan con la intensidad y duración necesaria para que se produzca este proceso.

En consecuencia, la permeabilidad del material en este estado y el grado de influencia de estos efectos externos, es comparativamente algo menor a la que presentaría el material en condiciones de saturación completa como las que se presentan en el siguiente punto.

Material saturado

Transcurrido el tiempo suficiente en condiciones de elevada humedad, este aire ocluido acabará disolviéndose, alcanzando el material el contenido de humedad de saturación por capilaridad. En este estado, el material se encuentra completamente ocupado por la fase líquida, desapareciendo la presión capilar (desaparecen las interfaces líquido-gas en el sistema de poros).

En este momento (y parcialmente en el punto anterior), el flujo de agua atravesando el material, se produce debido a las acciones externas sobre el mismo y a las condiciones de permeabilidad intrínsecas al material y el líquido, regidas por la ley de Darcy. Sobre dichas acciones externas, el sistema poroso del material ejerce una pérdida de carga, de forma similar a la que proporcionaría un filtro de gran resistencia.

El material, completamente saturado de líquido, transporta humedad a su través siempre y cuando se dé un potencial que fuerce dicho transporte, como la acción de la gravedad en el mismo (potencial principal en el caso de terrenos y cerramientos horizontales), una presión hidráulica diferente en ambas superficies opuestas del material (caso de muros enterrados), por la acción del viento y la diferencia de presión barométrica (cerramientos verticales sobre rasante) o simplemente por la diferencia de humedad relativa, que condiciona efectos de condensación- evaporación en la superficie del material que activan mecanismos de transporte anteriormente descritos.

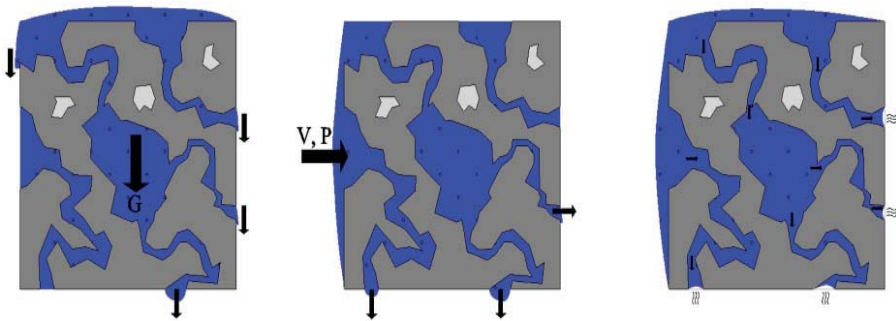


Figura II.89.- En estado de saturación, la presión capilar en los poros desaparece y la acción de gravedad, viento y presión, permiten el desplazamiento de agua en el sistema. La evaporación en los capilares abiertos a un ambiente seco, permite igualmente el flujo de agua hacia los mismos (der.).

Todos estos diferenciales de presión, pueden ser potenciales suficientes para establecer un transporte de líquido a través del material constructivo, si este se encuentra saturado de humedad.

El flujo así definido es similar al que se produce a través de un filtro para líquidos o a través de tuberías con una elevada pérdida de carga y se produce siempre y cuando haya un potencial que lo propicie y se mantenga la fuente de humedad que abastezca las condiciones de flujo y saturación en el material.

Es por ello que en los ensayos de estanqueidad habitualmente utilizados para homologar soluciones constructivas, previamente a la aplicación de presiones externas que simulen la presión eólica sobre el cerramiento, el mismo se humedece con un elevado aporte de agua durante un prolongado intervalo de tiempo (no inferior a 20 minutos), con el objetivo de generar unas condiciones en el material cercanas a la saturación o al menos, en las que el transporte mayoritario de agua en el mismo se realice de forma capilar.

II.4.1.2.- Fenómenos de secado

En condiciones de saturación del material, una reducción en la humedad relativa del ambiente, un aumento en la radiación solar o la ausencia de aporte de agua, provocará la lenta evaporación del líquido contenido en las capas de poros más externas, disminuyendo el contenido de agua líquida en la superficie.

Esto provoca un nuevo gradiente de presión capilar en estas capas exteriores, que activa de nuevo un transporte por capilaridad, esta vez, desde el interior del material hacia las superficies exteriores del mismo, similar al representado en la figura anterior.

Dado que la humedad del material, se reduce por esta pérdida de agua, simultáneamente parte de la humedad líquida contenida se transforma en vapor en los poros de mayor tamaño (el diámetro de curvatura del menisco en el poro, es incapaz de mantenerse por sí mismo, desapareciendo).

De esta forma, el agua líquida va retirándose progresivamente de los poros, de mayor a menor tamaño, hasta que para humedades relativas suficientemente bajas, las condensaciones capilares desaparecen y solo se mantienen las capas de moléculas de vapor fijadas a las paredes del poro.

Si se mantienen las condiciones de secado exteriores, idealmente hasta una humedad relativa nula, por un proceso de difusión inverso al producido en el humedecimiento, estas capas se verían progresivamente mermadas hasta eliminarse toda la humedad en el interior del material, en equilibrio con la condición exterior teórica.

En el proceso de secado, intervienen, como en el de humedecimiento, los mismos fenómenos de transporte anteriormente descritos, si bien en sentido inverso. Así, en el proceso se producen movimientos de humedad por capilaridad y por difusión, que vuelven a compartir protagonismo, aunque con una dirección opuesta al humedecimiento.

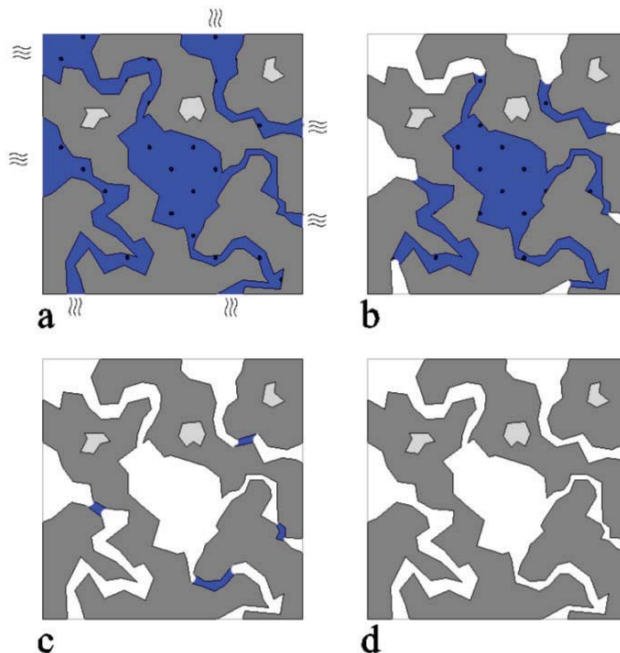


Figura II.90.- Proceso de secado en poros: a) flujo capilar; evaporación superficial en poros abiertos, b) flujo capilar y difusión de vapor; eliminación de condensaciones capilares en poros de gran tamaño, c) difusión de vapor; eliminación de condensación capilar en los poros más pequeños, d) desorción mono y multicapa; reducción de las capas adheridas y secado completo.

El proceso de desorción o secado, inverso en sus fundamentos al de humedecimiento, presenta sin embargo destacables diferencias respecto al humedecimiento, que condicionan una cierta histéresis en el contenido de humedad del material.

Así, mientras que durante el proceso de humedecimiento, la presencia de aire ocluido, debe ser eliminada de forma lenta del material casi saturado, este hecho no se

produce durante el secado desde un estado de saturación total. Es por ello, que para similares condiciones de humedad relativa en el material, los procesos de secado presentan un mayor contenido de humedad que los procesos de humedecimiento.

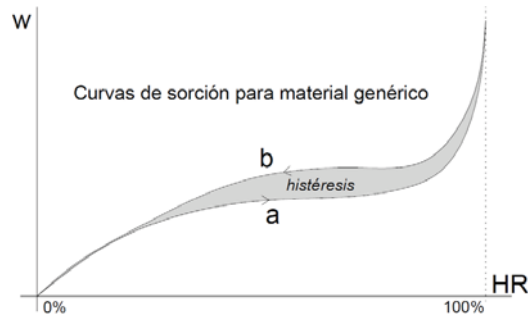


Figura II.91.- Representación de isotérmicas de absorción-desorción para un mismo material. Fijada una temperatura constante, el material se ve sometido a un lento proceso de humedecimiento, incrementando la humedad relativa ambiental (a). Llegado a un estado de saturación, el proceso se invierte (b), identificándose dos valores de agua contenida para un mismo valor de humedad relativa. La magnitud de esta histeresis depende de cada material, pudiendo llegar a ser despreciable en algunos.

Otro de los fenómenos que propician este mayor contenido de humedad durante el secado es el efecto de aislamiento que se produce en los poros de mayor tamaño. Estos poros, que deberían perder su contenido de agua líquida mucho antes que los poros más pequeños, en ocasiones se encuentran rodeados por otros más pequeños, que no obstante conservan sus meniscos capilares hasta contenidos de humedad relativa en el material muy bajos (mucho menores de los que le correspondería al poro atrapado).

Hasta que el menisco no desaparezca de los poros más pequeños que rodean y dan acceso al poro mayor, este no se liberará de su contenido de agua líquida, retrasando el proceso de secado y contribuyendo a que el contenido de agua en el secado sea mayor que en el humedecimiento, para humedades relativas similares.

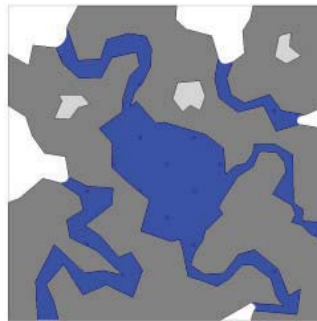


Figura II.92.- El mantenimiento del menisco en los poros menores, provoca que en poros mayores como el mostrado en la figura, el agua líquida se mantenga hasta humedades relativas muy bajas.

Contribuyendo a todo ello y a un nivel microscópico, en poros suficientemente grandes, el diferente ángulo de contacto entre el agua y la pared del poro para un frente de agua en avance y retroceso, conlleva igualmente una mayor dificultad para el avance del agua en el humedecimiento frente al que se produce en el secado.

Así, en el avance de agua sobre material seco, la gota de agua adquiere un ángulo mayor que durante el retroceso en material mojado, por lo que éste es siempre más lento.

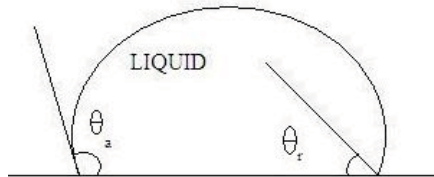


Figura II.93.- El diferente ángulo de contacto en la interfaz sólido-líquido para una gota de agua en avance y retroceso, contribuye a magnificar la histéresis presentada en la curva de almacenamiento de humedad.

Los fenómenos anteriores, con mayor o menor incidencia dependiendo del material y su estructura porosa, pueden apreciarse de forma indirecta por medio de la histéresis presente en las curvas isotérmicas de adsorción-desorción (figura II.91), así como en las curvas de retención de humedad, que serán presentadas más adelante.

En el caso frecuente de que capas superficiales impermeables, como pinturas o resinas y aplicaciones no higroscópicas, se coloquen en la capa exterior del material, el agua contenida en el material no podrá salir al exterior durante el proceso de secado, acumulándose en la interfaz entre el material y dicho elemento. Surgen de este modo síndromes de desprendimientos de revestimiento o abombamiento de los mismos, al acumularse vapor y agua expulsado del cerramiento, bajo dicha capa. Conviene por lo tanto, establecer un adecuado secado de la humedad de construcción, previamente a la disposición de estos productos.

También las diferentes condiciones de humedad entre materiales puestos en contacto entre sí, pueden motivar este proceso de secado-humedecimiento, de forma similar a las condiciones diferentes entre el material y el ambiente exterior. Tal es el caso de morteros puestos en contacto con fábricas de ladrillo higroscópicas y sin humedecer o del mortero de agarre puesto en contacto con ciertos cerramientos. De no adoptarse las medidas de humedecimiento adecuadas en el material de base, el agua del ligante migrará según los anteriores mecanismos, humedeciendo dicho material de base y secando el mortero, provocando problemas de falta de adherencia como las mencionadas anteriormente.

Otro efecto que puede alterar los anteriores procesos es la presencia de vegetación o procesos biofísicos en los materiales, dada la capacidad de las raíces de las plantas para conservar durante un mayor tiempo la humedad en su substrato. De esta forma, la humedad contenida en el material se hace menos sensible a los cambios en las condiciones externas, incrementándose la inercia del material ante cambios en el contenido de humedad externa.

II.5.- PROPIEDADES HIGROTÉRMICAS DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Dado que el sistema poroso, se constituye como el vehículo conductor del transporte de humedad, sus propiedades características resultan de sumo interés en el análisis de las prestaciones de protección frente a la humedad y ahorro energético.

Puesto que la caracterización del sistema poroso del material de construcción a nivel microscópico es inabordable, se hace necesario recurrir a magnitudes medias o representativas que den información útil de las condiciones generales del material, aun a pesar de no ser exactas.

Con frecuencia, los medios y procedimientos para la obtención de estas propiedades higrotérmicas, se encuentran definidos y regulados mediante normativas en vigor, que en ocasiones se redactan de forma adaptada para cada material susceptible de ser caracterizado.

En los últimos años, el avance en la determinación de las propiedades higrotérmicas del material, ha experimentado un importante desarrollo, impulsada por el creciente desarrollo de software de cálculo numérico, que precisa la utilización de datos de partida para los materiales cada vez más exhaustivos. Las mismas aplicaciones informáticas (WUFI, 2011) y diferentes estudios recientes realizados en esta línea (Gómez, 2006), aportan actualmente interesantes colecciones de datos y procedimientos matemáticos tanto para la obtención de los mismos, como la su utilización matemática para simulación de algunos de los mecanismos de transporte anteriormente presentados.

Las diferentes aplicaciones informáticas existentes, utilizan no obstante datos diferentes, en función de la precisión de los cálculos a realizar y de los procesos que se pretenden caracterizar. Así, mientras que los modelos matemáticos más simples se basan en el análisis de mecanismos de transporte isotérmicos, otras herramientas informáticas integran el cálculo térmico en el transporte de humedad, precisando conocer las propiedades térmicas del material.

Se exponen a continuación los parámetros más representativos a este respecto, las normativas de referencia empeladas en su determinación y la posible interrelación existente entre los todos los parámetros, con objeto de unos conocimientos de partida básicos en la materia.

Si bien la mayoría atienden a condiciones intrínsecas, constantes y asociadas al propio material, otros como la saturación, contenido de humedad o factor de resistencia al vapor de agua, hacen referencia a estados del material que pueden variar en función de las condiciones a las que se ve expuesto, lo que constituye un elemento diferencial del transporte de humedad respecto a otros procesos físicos y el mayor obstáculo actual para definir una única formulación matemática integral, exacta y fiable para su caracterización.

Densidad

Es posible definir varias densidades para los materiales de construcción, considerando la porosidad contenida en el interior de su matriz. Se denomina densidad

aparente a la relación entre el volumen del material y su peso, cuando éste se encuentra carente de humedad.

$$\rho = \frac{m_{seca}}{Vol} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Se considera que la masa seca ha perdido toda la humedad contenida en el interior de sus poros, cuando el material es previamente calentado a una temperatura estandarizada de 105 °C y sucesivas pesadas del mismo aportan un resultado equivalente.

Por su parte, se denomina densidad real del material, a la relación entre el volumen del material (excluyendo poros internos abiertos) y su peso, cuando éste se encuentra igualmente carente de humedad.

$$\rho_{real} = \frac{m_{seca}}{Vol_{real}} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$\rho_{real} = \frac{m_{seca}}{Vol - Vol_{poros}} \quad [\text{kg/m}^3]$$

En la medida del volumen real del material, se incluye el ocupado por aquellos poros cerrados contenidos dentro de la matriz del material y que dada su nula relación con interacciones externas al material, no pueden ser detectados.

La estimación de este parámetro puede hacerse mediante un ensayo mediante picnómetro de helio, regulado mediante diversas normas UNE según la naturaleza del material. Este ensayo se basa en la introducción del material (cuya masa es conocida), en una celda de volumen igualmente conocido. La inyección posterior de un gas (generalmente helio aunque también el nitrógeno es utilizado), en el interior de la celda de ensayo hasta que ocupa todo el volumen posible, incluida la porosidad abierta, permite determinar el volumen real ocupado por el material. Dado que su masa es conocida, es posible determinar la densidad real del mismo.

Rocas y suelos naturales				
Material	HE			
	ρ kg / m ³	$\lambda^{(1)}$ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Rocas ígneas				
Basalto	2700 ≤ ρ ≤ 3000	3,50	1000	10000
Granito	2500 ≤ ρ ≤ 2700	2,80	1000	10000
Piedra pómez natural	ρ ≤ 400	0,12	1000	6
Roca natural porosa (por ejem. Lava)	ρ ≤ 1600	0,55	1000	15
Traquita, andesita	2000 ≤ ρ ≤ 2700	1,10	1000	15
Rocas o suelos sedimentarios				
Arcilla o limo	1200 ≤ ρ ≤ 1800	1,50	1670-2500	50
Arena y grava	1700 ≤ ρ ≤ 2200	2,00	910-1180	50
Arenisca	2200 ≤ ρ ≤ 2600	3,00		
Asperón	1900 ≤ ρ ≤ 2500	1,80	1000	40
	1300 ≤ ρ < 1900	0,90	1000	20
Caliza, muy dura	2200 ≤ ρ ≤ 2590	2,30	1000	200
Caliza, dura	2000 ≤ ρ ≤ 2190	1,70	1000	150
Caliza, dureza media	1800 ≤ ρ ≤ 1990	1,40	1000	40
Caliza, blanda	1600 ≤ ρ ≤ 1790	1,10	1000	25
Caliza, muy blanda	ρ ≤ 1590	0,85	1000	20
Silex	2600 ≤ ρ ≤ 2800	2,60	1000	10000

Figura II.94.- Extracto de características atribuibles a algunos materiales de construcción pétreos típicos, incluida su densidad aparente, para condiciones de diseño del CTE. Fuente: IETcc, 2010.

Lógicamente, la densidad real del material será mayor que la densidad aparente del material humedecido y ésta a su vez mayor que la densidad aparente del mismo material en un estado seco o carente de humedad. Con frecuencia, los datos más habituales de densidad se refieren a condiciones aparentes en estado seco.

Porosidad

Dado un material poroso, pueden establecerse dos tipos diferenciados de porosidad; la integrada por aquellas cavidades conectadas con el ambiente exterior y por lo tanto susceptibles de interaccionar con el mismo y las cavidades ocluidas completamente en la matriz del material, sin conexión con el exterior. Con frecuencia, la porosidad cerrada o completamente inerte respecto del exterior, es considerada como parte integral del material, ante la imposibilidad de detectarla mediante procedimientos físicos.

Es en consecuencia despreciada a efectos de la caracterización higroscópica del material, ya que su magnitud, es inherente a la conformación y producción y por lo tanto específica al propio material.



Figura II.95.- Composición de un material poroso típico. Matriz sólida (oscuro), porosidad cerrada (gris) y porosidad abierta (blanco). Solo la porosidad abierta está sometida a la acción de la humedad exterior, supuesto una matriz sólida inerte a la acción exterior.

Se define porosidad abierta de un material n_0 , como la relación existente entre el volumen de poros abiertos al ambiente externo contenidos en el material y el volumen del material.

$$n_0 = \frac{Vol_{poros}}{Vol} \quad [m^3/m^3]; [-]$$

Dado que el volumen de los poros abiertos al ambiente exterior, constituye el espacio interior del material ocupable por agua líquida, la porosidad abierta permite conocer el máximo contenido de agua de un material o volumen (y por lo tanto masa) de agua contenida en el mismo, en un estado de completa saturación.

La porosidad abierta del material puede estimarse a partir del conocimiento de su densidad aparente y densidad real, cuando ambos valores están disponibles:

$$\rho = \frac{m_{seca}}{Vol} = \frac{m_{seca}}{Vol_{real} + Vol_{poros}} = \frac{\rho_{real}}{\frac{Vol_{real} + Vol_{poros}}{Vol_{real}}} = \frac{\rho_{real} \cdot Vol_{real}}{Vol} = \rho_{real} \cdot n_0$$

$$n_0 = \frac{\rho}{\rho_{real}}$$

$$\rho_{real} = \frac{\rho}{n_0}$$

A efectos de la caracterización higrotérmica del material, solo un determinado número de poros abiertos estarán interconectados entre sí, permitiendo el paso de vapor y humedad a través del material.

Sin embargo la porosidad no ofrece información alguna sobre el tamaño, número y distribución de los poros del material. Así, un mismo valor de porosidad puede obtenerse con un reducido número de grandes poros, como mediante un elevado número de poros de menores dimensiones. Estos aspectos son caracterizados mediante curvas de porosidad, capaces de representar la porosidad existente en el material en función del tamaño de poro analizado.

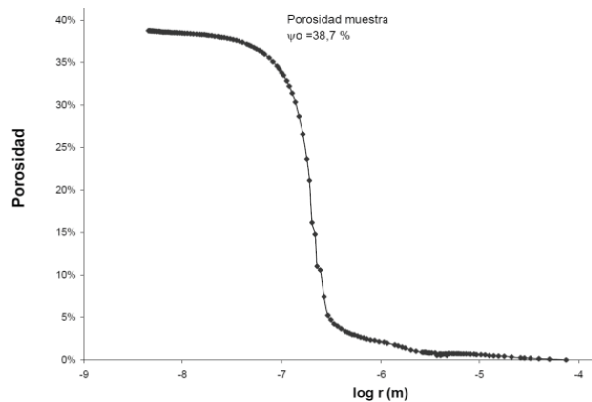


Figura II.96.- Ejemplo de representación de curva de porosidad. Fuente: Gómez, 2006.

La determinación de su proporción, se obtiene de forma indirecta, observando la resistencia que el material ofrece al paso de humedad a través del mismo.

La porosimetría por intrusión de mercurio, aprovechando las propiedades capilares del mercurio es uno de los procedimientos más utilizados para determinar la curva de porosidad de un material. Dado que su ángulo de contacto capilar permite que el mercurio no moje ni penetre de forma natural en el poro del material, es necesario suministrar una cierta presión para propiciar su entrada en el medio poroso.

La absorción capilar del líquido se produce de forma natural siempre y cuando el ángulo de contacto del líquido, sea inferior a 90°. El mercurio, con un ángulo de contacto típico mayor a 135°, por el contrario repele su penetración en el poro, siendo necesario forzar dicha entrada y avance.

A medida que la presión aplicada en el ensayo aumenta, el mercurio va penetrando en poros progresivamente más pequeños, siendo así posible caracterizar el

tamaño de los poros interiores al material, por el simple registro de la presión que es necesario aplicar en cada momento (supuestos los poros como cilíndricamente ideales).

Dado que en los poros de menor tamaño, la curvatura del menisco se incrementa notablemente, aumentando la presión capilar (véase más adelante la ecuación de Washburn), es necesaria una presión progresivamente mayor sobre el mercurio para forzar su entrada en los poros progresivamente más pequeños.

El rango de detección para el ensayo de porosimetría de mercurio abarca desde radios de alguna décima de mm, hasta $1 \cdot 10^{-8}$ m en los modernos equipos de medición, en los que lógicamente, las presiones que es necesario inducir para forzar al líquido a penetrar en poros tan pequeños, también alcanzan rangos muy elevados, superiores a 200 MPa. La curva representada, se denomina curva de intrusión, en la que el tamaño de los poros se expresa en función de su radio o diámetro, toda vez que los mismos se suponen idealmente cilíndricos.

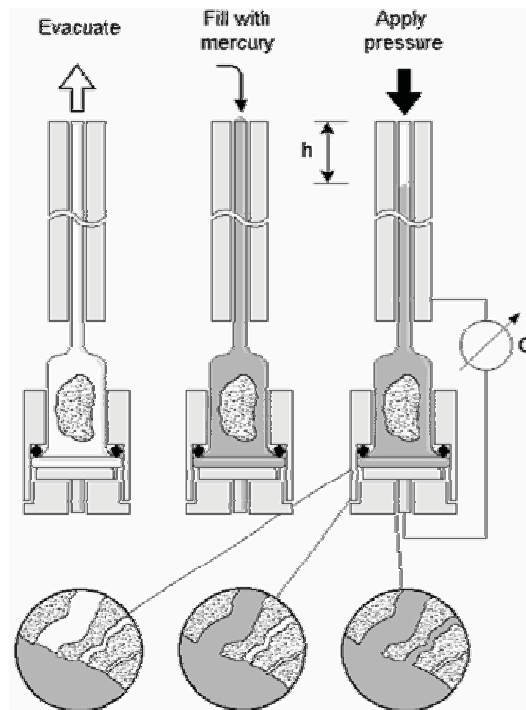


Figura II.97.- Fases típicas para la realización de ensayo de porosimetría de mercurio y representación esquemática del progresivo llenado de los poros al incrementar la presión. Fuente: WUFI, 2011.

Otras técnicas basadas en el mismo principio pueden utilizar otros líquidos con similares propiedades al mercurio, si bien éste es el más extendido. Otros procedimientos menos comunes quedan reflejados en normas como UNE-EN ISO 12687:1998 “Recubrimientos metálicos. Ensayos de porosidad. Ensayo a la flor de azufre por vía húmeda” (AENOR, 1998a) y UNE-EN ISO 4524-3:1996 “Recubrimientos metálicos. Métodos de ensayo de recubrimientos electrolíticos de oro y aleaciones de oro. Parte 3:

Determinación electrográfica de la porosidad” (AENOR, 2006). Ambos procedimientos se utilizan dadas sus mejores condiciones de aplicación sobre determinados materiales.

Se han definido diferentes condiciones para la preparación y realización de este ensayo, dependiendo de las características específicas del material a analizar, las cuales pueden encontrarse en una extensa variedad de normas estandarizadas como UNE-EN ISO 10545-3:1997 para baldosas cerámicas (AENOR, 1997d) o UNE-EN 772-4:1999 para piezas de albañilería (AENOR, 1999a).

El conocimiento de la distribución de tamaños de poro en el interior del material, es relevante al influir sobre los procedimientos de condensación capilar y regular el grado de histéresis que se presenta entre los procesos de humedecimiento y secado en el material.

El tamaño de poro resulta igualmente relevante al caracterizar la resistencia del material a ciclos de hielo-deshielo y como caracterizador de los daños producidos en partes del material no superficiales.

Con frecuencia, el radio de poro habitual en materiales de construcción es muy pequeño, con valores que pueden llegar a oscilar entre 10^{-12} y 10^{-4} m. En ocasiones, derivados del proceso de fabricación o con objeto de obtener alguna prestación particular, los materiales albergan poros de mayor tamaño, que pueden superar 10^{-3} m. La existencia de fisuraciones, se incluiría dentro de este tamaño poroso, con dimensiones que pueden superar el milímetro.

Con frecuencia suele considerarse simplícidamente que los poros con un radio inferior a $1 \cdot 10^{-7}$ m, no pueden ser atravesados por humedad en estado líquido, dado su pequeño tamaño. Los mismos por lo tanto solo permitirían el paso de vapor. Para poros de un radio superior, es posible la entrada de agua líquida, por lo que su número y tipo de interconexión se considera muy relevante en los procesos de humedecimiento del material por capilaridad.

Estado de saturación

Dependiente de la porosidad del medio poroso, es el contenido de humedad que dicho material puede albergar en su interior, al ser su espacio poroso, susceptible de ser ocupado por la humedad, tanto en fase vapor como en fase líquida.

Se denomina saturación completa del medio poroso, al estado por el cual los poros abiertos del material, se encuentran completamente ocupados por agua líquida, alcanzándose de este modo, el máximo contenido de humedad w_{\max} , posible en el interior del material.

Habitualmente, el espacio poroso se encuentra ocupado por una mezcla de agua líquida, vapor de agua y aire, en condiciones consideradas iguales y en diferentes proporciones, en función del equilibrio establecido con la humedad ambiental. Habitualmente, con el término “humedad” se denomina a la suma del contenido de agua y de vapor de agua en ese medio poroso.

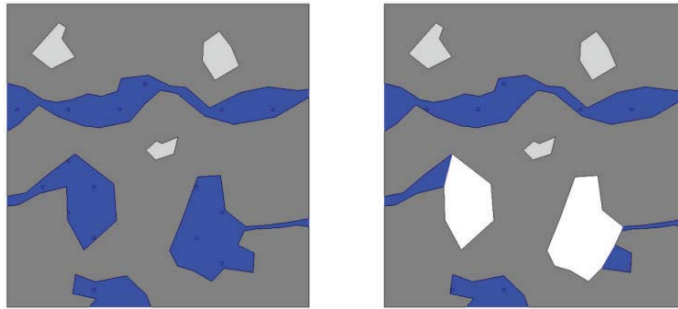


Figura II.98.- Diferentes estados de saturación en un material poroso típico: completa a la izquierda, parcial a la derecha. Matriz sólida (oscuro), porosidad cerrada (gris), porosidad abierta (blanco) y porosidad saturada de agua líquida (negro).

La relación entre el contenido máximo de humedad del material (obtenido en un estado de saturación completa) y el contenido de humedad en un momento determinado (agua + vapor), se denomina estado de saturación del material S [-].

El contenido máximo de humedad, puede obtenerse por la simple multiplicación de la densidad del agua, por la porosidad abierta identificada en el material.

$$S = \frac{w}{w_{max}} = \frac{u}{u_{max}} = \frac{\psi}{\psi_{max}} \quad [-]; [\%]$$

$$w_{max} = \rho_{agua} \cdot n_o \quad [\text{kg/m}^3]$$

Contenido de humedad

Cuando el contenido de humedad en el interior del material no llega al estado de saturación, éste puede expresarse de acuerdo a diferentes referencias (volumen o masa), según el interés establecido o las condiciones del producto.

Humedad en masa por volumen: $w = \frac{m_{humedad\ contenida}}{Vol_{material\ seco}} \quad [\text{kg/m}^3]$

Humedad en volumen por volumen: $\psi = \frac{Vol_{humedad\ contenida}}{Vol_{material\ seco}} \quad [\text{m}^3/\text{m}^3]$

Humedad en masa por masa: $u = \frac{m_{humedad\ contenida}}{m_{material\ seco}} \quad [\text{kg/kg}]$

El contenido de humedad referido a volumen de material seco w , determina la relación de masa de agua evaporable frente a volumen del material seco y se utiliza preferentemente en referencia a materiales con escasa capacidad de almacenamiento de humedad (poco higroscópicos). En contraposición, el contenido de humedad referido a masa de material seco u , se emplea en materiales con una capacidad higroscópica muy importante.

Por último, el contenido de humedad referido en volumen por volumen de material seco ψ , se emplea en materiales con una alta porosidad y baja densidad, como espumas y lanas utilizadas en aislantes térmicos. En cualquier caso, todas las expresiones

son igualmente equivalentes y conocido el contenido máximo de humedad en el material, permiten similarmente la determinación del grado de saturación del mismo.

La caracterización de estas magnitudes se refiere a lo referido en la norma UNE-EN ISO 9346:2009 (AENOR, 2009b), donde los parámetros higrotérmicos aparecen caracterizados.

Dado que las referencias se establecen respecto al peso o volumen de material seco, este deberá ser secado antes de la realización de los ensayos, mediante diferentes productos desecantes que deben ser especificados para la indicación de estas magnitudes.

Humedad capilar

Se denomina contenido máximo de humedad capilar w_{cap} , al máximo contenido de agua que el material puede albergar en condiciones de saturación por capilaridad, expresado en volumen de material seco.

Dicho valor difiere del contenido máximo de humedad w_{max} expresado anteriormente, dado que al alcanzarse el contenido máximo de humedad capilar, quedan aun cierta cantidad de poros con aire incluido en su interior.

El contenido de humedad alcanzará el estado de saturación lentamente, al disolverse progresivamente dicho aire ocluido en el agua que inunda todos los poros.

$$w_{max} > w_{cap}$$

Dado que el proceso de disolución del aire en el agua del material es muy lento y dado que las condiciones de saturación y capilaridad extremas, no suelen mantenerse durante largos periodos de tiempo sobre los elementos constructivos, el contenido de humedad capilar suele considerarse como el máximo contenido de humedad que el material adquiere en condiciones habituales de trabajo.

En ocasiones son utilizados otros contenidos representativos de humedad para caracterizar al material, como el contenido de humedad correspondiente a una humedad relativa en el material del 80% a 23°C, w_{80} , que será posteriormente utilizado para caracterizar al material a lo largo del capítulo VI de este trabajo.

Este contenido de humedad se considera típico del equilibrio de humedad en el cerramiento a lo largo de un año en localizaciones del norte de Europa, donde estos estudios han tenido una mayor extensión y profundidad (Little, 2010). Igualmente, representa un punto de saturación del material, en el que el transporte de humedad en el material empieza a verse condicionado por el transporte de agua líquida.

Coefficiente de absorción capilar y tasa inicial de absorción

La misma norma UNE-EN ISO 9346:2009, determina igualmente una magnitud capaz de caracterizar el tiempo necesario para la absorción de la humedad en el material.

Se define coeficiente de absorción capilar o de agua A_w [$\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s}^{1/2}$], como el cociente entre la masa de humedad absorbida por capilaridad a través de una determinada

sección de material, entre la raíz cuadrada del tiempo necesario para su absorción. También el mismo coeficiente puede referirse a horas, con una dimensión W_w [$\text{kg}/\text{m}^2 \text{h}^{1/2}$].

La determinación de este coeficiente, puede realizarse sometiendo a los diferentes materiales ensayados a condiciones de humedad líquida en su superficie durante cortos espacios de tiempo o bien a largos periodos, que habitualmente se prolongan durante un mes completo. Dado que las condiciones habituales del material en obra, no presentan contactos con ambientes saturados durante periodos tan largos de tiempo (salvo elementos enterrados), el ensayo más referenciado determina el coeficiente a corto plazo.

La norma UNE-EN ISO 15148:2003 “Comportamiento higrotérmico de los materiales y productos de edificación. Determinación del coeficiente de absorción de agua por inmersión parcial” (AENOR, 2003a), establece las condiciones básicas del ensayo, para una duración habitual de 24 horas y define el parámetro definido A_w .

Bajo condiciones de ensayo controladas de temperatura y humedad relativa, el material es puesto en contacto con una lámina de agua en su superficie, de tal forma que la misma asciende por el material por procesos de capilaridad similares a los producidos en el caso de síndromes por ascensión capilar de agua desde el terreno a través de los cerramientos.

La medición del peso del material, a intervalos de tiempo crecientes, permite la representación de la gráfica de absorción capilar a corto plazo, que puede a su vez permitir su establecer un ajuste matemático y por ende, la determinación del coeficiente.

$$A_w = \frac{\Delta m_{final} - \Delta m_{inicial}}{\sqrt{t}}$$

En ensayo termina cuando la humedad asciende hasta la superficie opuesta a la lámina de agua, (contenido de humedad capilar w_{cap} o cuando varias mediciones se registran constantes (el agua ha alcanzado su máxima altura capilar). El leve aumento detectado a partir de dicho momento, corresponde a la disolución del gas existente en los poros, que ha quedado ocluido en el proceso de ascensión del líquido (Fagerlund, 1982). La curva tendería asintóticamente hacia el contenido máximo de humedad w_{max} .

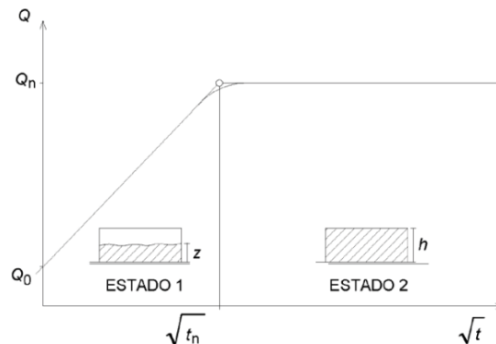


Figura II.99.- Curva típica de la absorción de agua por capilaridad en el hormigón endurecido, con la identificación de los dos estados y fenómenos de absorción. Fuente: UNE-EN 83982:2008.

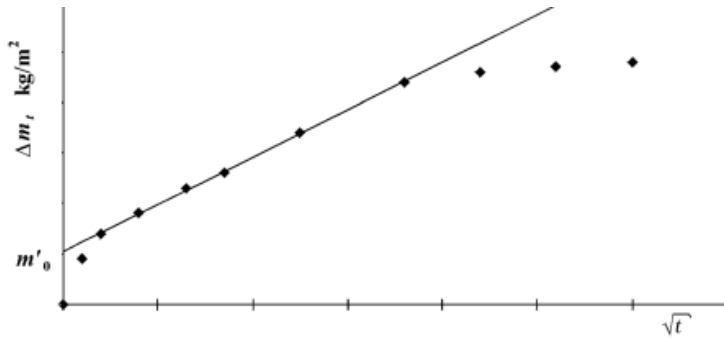


Figura II.100.-Representación de puntos en el desarrollo del ensayo de absorción capilar; pendiente constante, con repentina disminución final (llegada del líquido a la capa opuesta del material) (arriba). Fuente: AENOR, 2003a.

El coeficiente por lo tanto, representa la pendiente de la curva representada en su primer tramo o bien un valor promedio medido a las 24 horas de ensayo, cuando su comportamiento no es lineal ni tan siquiera en la fase inicial. Representa a su vez, la densidad del flujo de agua absorbido en el material, debido exclusivamente a la capilaridad creada en su sistema poroso.

No obstante el valor de A_w , describe únicamente la absorción de agua dependiente del tiempo, mientras el material está en contacto con el agua. El valor, no puede por lo tanto utilizarse para describir el mismo parámetro una vez ha cesado el contacto con el agua, momento en el que se produce una re-distribución de agua en el interior del material.

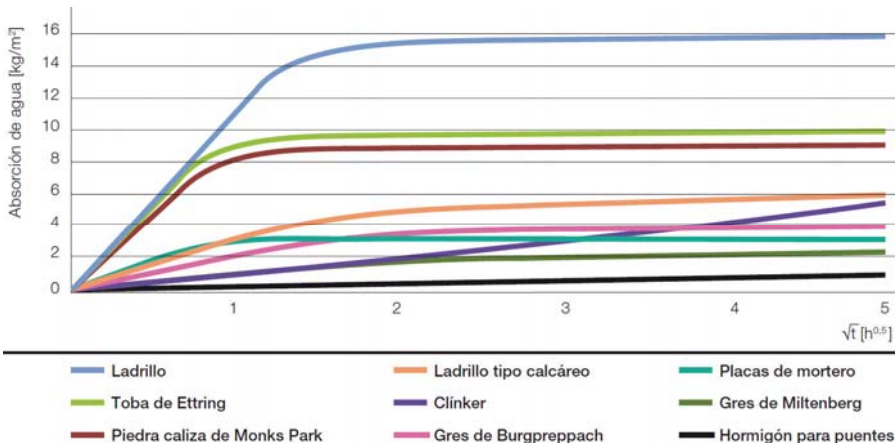


Figura II.101.- Representación de diferentes ensayos para determinación del coeficiente de absorción de agua para materiales habituales en construcción. Los valores oscilan desde $0,15 \text{ kg/m}^2\text{h}^{1/2}$ para hormigón para puentes y $11,5 \text{ kg/m}^2\text{h}^{1/2}$ para ladrillos. Fuente: Wacker Chemie AG, 2011.

Otras normas como UNE-EN 1015-18:2003, UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 1925:1999 determinan condiciones específicas para la realización del ensayo, atendiendo a las características especiales del material: mortero endurecido, piezas de fábrica de todo tipo para albañilería y piedra natural respectivamente.

Por su parte, la norma UNE-EN 12087:1997, permite establecer la caracterización de los materiales como aislantes térmicos, bajo condiciones de saturación a largo plazo (1 mes), bien por inmersión parcial o total del producto. No obstante, tal y como la propia norma indica, el parámetro solo resulta relevante bajo condiciones de utilización muy específicas.

Otro factor de larga tradición principalmente en piezas para fábricas de albañilería, es la succión o tasa inicial de absorción de agua $A_{w,i}$ (también $C_{w,i,s}$ en algunas normas), cuya expresión física sería la representación de la velocidad de absorción de agua por parte del material en los primeros momentos de su puesta en contacto.

Es, como el coeficiente de absorción capilar, el cociente entre la masa de humedad absorbida por capilaridad a través de una determinada sección, entre un tiempo, esta vez acotado, acotado de 1 min (AENOR, 2011a).

$$A_{w,i} = \frac{\Delta m_{final} - \Delta m_{inicial}}{Sup \cdot \sqrt{1 \text{ min}}} \cdot 10^3 \quad [\text{kg/m}^2 \text{ min}]$$

La norma UNE-EN 772-11:2011, especifica las condiciones de realización del ensayo necesario para la obtención de este parámetro en bloques de arcilla cocida, habituales en la ejecución de fábricas de fachada.

Su determinación es importante por las afecciones que implica en la puesta en obra, determinando la necesidad o no de humedecer las piezas cerámicas durante su colocación y las precauciones a adoptar para la adecuada hidratación y fraguado de las juntas de mortero.

Similarmente, la norma UNE-EN 771-1:2011 (AENOR, 2011b), en su anejo C, establece para las piezas de arcilla cocida utilizadas en la ejecución de fachadas, una estimación alternativa de la capacidad de absorción de agua por capilaridad del material, sin recurrir a la determinación del coeficiente A_w anteriormente indicado. Para ello, es determinada la absorción del material en valor porcentual, del siguiente modo.

$$w_m = \frac{\Delta m_{final \text{ humeda}} - \Delta m_{inicial \text{ seca}}}{\Delta m_{inicial \text{ seca}}} \cdot 100\% \quad [-]; [\%]$$

El resultado porcentual obtenido de este modo, se encuentra en consonancia con la forma más habitual de expresar la absorción de agua del material para otros productos, como los aislantes térmicos (véase II.3.1.1.). La duración del periodo de inmersión, a diferencia de la UNE-EN 12087:1997 para aislantes térmicos, será tan solo de 24 horas, frente a los 28 días del anterior o las 48 horas del ensayo para piedras naturales definido por UNE-EN 13755:2008 (AENOR, 2008a).

Coefficiente de penetración de agua

De forma paralela al anterior ensayo, puede determinarse el coeficiente de penetración de agua B_w [$m/s^{1/2}$], como el cociente entre la altura de ascensión alcanzada por la humedad absorbida por capilaridad a través de una determinada sección, entre la raíz cuadrada del tiempo necesario para su absorción.

A pesar de que el procedimiento de determinación de este coeficiente no se encuentra normalizado, el mismo puede obtenerse en el proceso de obtención del coeficiente de absorción de agua, midiendo a intervalos regulares, la altura alcanzada por el agua absorbida en cada una de las cuatro paredes de la probeta de ensayo.

El resultado, permite expresar el coeficiente en mediante una curva similar a la obtenida para la absorción capilar, expresando la altura alcanzado por el agua en función del tiempo de ensayo.

$$B_w = \frac{\Delta H_{final} - \Delta H_{inicial}}{\sqrt{t}} \quad [m]$$

Otros ensayos, como el representado en la figura siguiente, utilizan técnicas alternativas como el TAC, para la visualización de la altura alcanzada por el frente capilar en el material, dada la menor exactitud de la medida superficial (siempre ligeramente superior a la altura del frente existente en la parte interna del material).

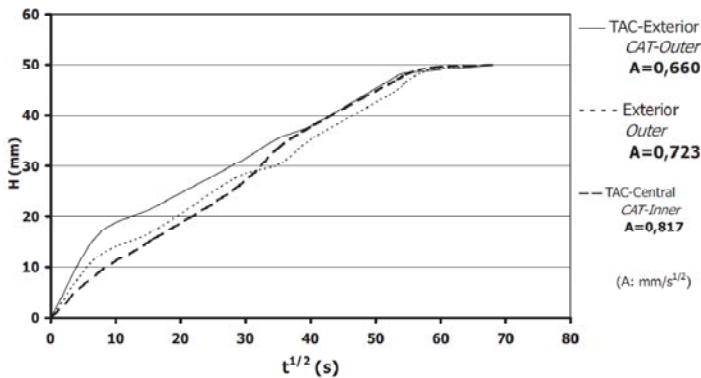


Figura II.102.- Comparación de representación de curva para coeficiente de penetración de agua obtenido mediante tomografía de rayos X (TAC) y método tradicional asociado al ensayo de coeficiente de absorción de agua, para areniscas. Fuente: Ruiz de Argandoña et al., 2008.

Otros ensayos como UNE-EN 12390-8:2009 “Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión” (AENOR, 2009b), tienen un carácter destructivo y permiten caracterizar la altura alcanzada por el frente capilar en hormigones curados, mediante la rotura de la probeta tras haber sido sometida a la acción de agua a presión durante 72 h (500 kPa). El ensayo, aunque permite caracterizar al material, no ofrece sin embargo, un coeficiente dependiente del tiempo.

Otra aproximación somera de la penetración de agua en un material (AENOR, 2011a), puede obtenerse a partir de contenido de humedad para el cual se estima que se inicia la transferencia de humedad en fase líquida (habitualmente w_{80}).

Conocido el valor de esta humedad en el material afectado por la presencia de agua líquida en superficie y conocida la cantidad de líquido en contacto con el material, puede estimarse la penetración (supuesta ésta lineal) como:

$$d_w = \frac{M_{\text{agua por m}^2}}{w_{\text{critica}=80}} \quad [\text{m}]$$

Material	Contenido crítico de agua w_{cr} kg/m ³
Hormigón celular	120
Ladrillo	60-130
Mortero de cemento	180
Hormigón	125
Ladrillo silíceo-calcáreo	80-110

Figura II.103.- Valores típicos de contenido de humedad crítico según UNE-EN ISO 13788:2002.

Calor específico

Se define calor específico C_p [J/kg K], como la cantidad de energía que es necesario suministrar a una masa dada de material, para incrementar en un grado su temperatura.

El valor se refiere únicamente a la masa seca del material y depende únicamente de la composición química del material, pero no de su mayor o menor porosidad interior. Conocida la densidad aparente del material, el calor específico puede expresarse igualmente en base al volumen total del material:

$$c_{p \text{ vol}} = \rho \cdot C_p \quad [\text{J/m}^3 \text{ K}]$$

Conductividad térmica

Se define conductividad térmica λ [W/kg K], como la capacidad de un material para permitir el paso de energía. Teóricamente, la propiedad es definida en base a condiciones de ausencia de humedad, si bien, tal y como se ha adelantado anteriormente, su magnitud varía en función del contenido de humedad y temperatura del material.

Las condiciones para la utilización de esta magnitud, bien sea según su valor declarado $\lambda_{\text{DECLARADO}}$ o valor de diseño $\lambda_{\text{DISEÑO}}$, han sido ya presentadas previamente, estableciéndose en la práctica por el CTE unas condiciones de 10 °C y contenido de humedad bajo una humedad relativa del 50 % a 23 °C.

No obstante, dada la variabilidad de esta magnitud en función de los parámetros higrotérmicos del material, es frecuente definirla en programas de simulación numérica especialmente precisos, como una función dependiente tanto de la humedad como de la temperatura, aplicando para ello medidas obtenidas experimentalmente o los valores aproximados recogidos por la norma UNE-EN ISO 10456:2012, “Materiales y productos para la edificación. Procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño”.

Permeabilidad al vapor de agua

Se define permeabilidad al vapor de agua δ_p de un material, como la relación de la cantidad de vapor que fluye a través del mismo como consecuencia de un gradiente de presión de vapor (concentración de moléculas de fluido), en su sección.

$$\vec{g} = -\delta_p \cdot \text{grad } P_v \quad [\text{kg/s m}^2] \quad [\text{ec. II.3}]$$

Siendo:

g vector de densidad del flujo de vapor de agua

δ_p permeabilidad al vapor de agua [kg/m s Pa]

P_v presión de vapor de agua, cuya variación a lo largo del sistema poroso del material, genera el potencial responsable de la difusión de vapor [Pa].

El parámetro es de especial relevancia para la caracterización del transporte de humedad en estado gaseoso a través de la matriz porosa del material, siendo utilizado en la adaptación matemática de la ley de difusión ideal de Fick, por lo que solo es presentativa del transporte de humedad a bajas humedades relativas, perdiendo relevancia progresivamente al aumentar el humedecimiento del material.

La propia expresión y definición del coeficiente, se asemeja a dicha ley Fick, sustituyendo el gradiente de concentración de soluto en la mezcla gaseosa, por la presión de vapor como potencial del desplazamiento.

Paralelamente, el coeficiente de difusión del soluto en el medio gaseoso ideal, es sustituido por el coeficiente δ_p , indicativo de la capacidad de difusión del vapor en el medio poroso real, condicionado y limitado.

Esta comparación entre las condiciones de difusión ideales y reales, se caracteriza mediante el factor de resistencia al vapor de agua, presentado a continuación y que compara la difusión del vapor de agua en el aire inmóvil (medio ideal), con la permeabilidad al vapor de agua a través del material poroso (medio real).

La permeabilidad al vapor de agua, caracteriza por lo tanto la facilidad de difusión del fluido a lo largo del medio poroso, como una capacidad dependiente del propio material, del fluido que se difunde (habitualmente agua) y del estado del material en el momento analizado (saturación S). Por ello, no se trata de una magnitud constante e intrínseca al material, sino que la misma oscila en función de las condiciones puntuales del mismo y en función del gas considerado (temperatura y naturaleza molecular del gas).

Por otro lado, la permeabilidad al vapor de agua, puede establecerse igualmente en relación a la humedad por volumen v , existente en el medio poroso (o masa de vapor de agua contenida en el volumen de la mezcla gaseosa), quedando su expresión como:

$$\vec{g} = -\delta_v \cdot \text{grad } v \quad [\text{kg/s m}^2]$$

Siendo:

g vector de densidad del flujo de vapor de agua

- δ_v permeabilidad al vapor de agua [m^2/s]
- v humedad por volumen presente en los poros del material, equivalente a la presión de vapor y cuya variación a lo largo del sistema poroso del material, genera el potencial responsable de la difusión de vapor [kg/m^3].

Tanto la presión de vapor en el sistema poroso, como su humedad por volumen, son potenciales de desplazamiento equivalentes, que pueden ser utilizados indistintamente en la determinación de la permeabilidad. Así, para unas condiciones establecidas del aire, un mayor contenido de humedad por volumen se asociará directamente con un incremento de la presión de vapor o cantidad de moléculas de vapor, contenidas en el volumen gaseoso y por lo tanto con una mayor humedad relativa.

El vector densidad del flujo de vapor de agua, se describe como la masa de humedad en fase vapor, transferida a un sistema, por unidad de tiempo y superficie, de tal forma que puede expresarse como:

$$\vec{g} = \frac{G}{S} \quad [\text{kg}/\text{s m}^2]$$

Siendo:

- G el flujo de vapor o masa de vapor transferida a un sistema o desde un sistema por unidad de tiempo [kg/s]
- S superficie del sistema, perpendicular a la dirección del flujo [m^2] y cuya consideración obliga a la consideración vectorial del parámetro.

Dado que mediante los procesos de difusión, la concentración de moléculas gaseosas tienden a uniformizarse en todo el volumen, la variación de P_v o v en el medio poroso activará igualmente el desplazamiento por difusión de las moléculas, desde los puntos de mayor concentración hacia los de menor concentración. Puesto que dicho desplazamiento se produce en la dirección de la menor concentración, la permeabilidad al vapor de agua se ve acompañada por un símbolo negativo.

La variación del gradiente admite una variabilidad tridimensional en el sistema poroso, por lo que la expresión anterior se ha expresado de forma vectorial, pudiendo expresarse según sus componentes direccionales, bien en base al gradiente de presión de vapor o bien por humedad por volumen.

$$\delta_p = \begin{bmatrix} \delta_{px} & 0 & 0 \\ 0 & \delta_{py} & 0 \\ 0 & 0 & \delta_{pz} \end{bmatrix} \quad \delta_v = \begin{bmatrix} \delta_{vx} & 0 & 0 \\ 0 & \delta_{vy} & 0 \\ 0 & 0 & \delta_{vz} \end{bmatrix}$$

Sin embargo con frecuencia, la magnitud suele simplificarse, asumiéndose escalar y considerando al material homogéneo e isótropo:

$$\delta_p = \delta_{px} = \delta_{py} = \delta_{pz} \quad \delta_v = \delta_{vx} = \delta_{vy} = \delta_{vz}$$

La caracterización de este coeficiente, asumido un material homogéneo e isótropo, se realiza mediante el ensayo descrito por norma UNE-EN ISO 12572:2002

“Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios. Determinación de las propiedades transmisión de vapor de agua” (AENOR, 2002c).

Para ello se determina la densidad de flujo de vapor de agua g , existente entre dos caras opuestas de una probeta sometida a una diferencia de presión de vapor por la utilización de un desecante en una de ellas. Conocida el área de la probeta y la presión de vapor en el ambiente del ensayo, a partir de la determinación de la permeabilidad al vapor de agua del material δ_p (en el estado concreto ensayado), pueden a su vez obtenerse otros parámetros relevantes, como los que se presentaran a continuación: μ , s_d y W .

Factor de resistencia al vapor de agua

El factor de resistencia al vapor de agua μ [-], puede definirse como el cociente entre el coeficiente de difusión del vapor de agua en el aire inmóvil y la permeabilidad al vapor de agua a través de un material poroso.

Es por lo tanto un valor que permite expresar la resistencia que opone el material al paso de vapor de agua a través de su sistema poroso, en comparación a la que ofrecería el mismo grosor de aire estático en las mismas condiciones de temperatura.

Por su propia definición para el aire inmóvil, el valor de μ es igual a la unidad, mientras que para los materiales en construcción este valor puede llegar hasta infinito, cuando el material no permite la migración del vapor, como las barreras colocadas para evitar condensaciones intersticiales en los cerramientos.

$$\mu = \frac{D_p}{\delta_p} \quad [-] \quad [\text{ec. II.4}]$$

Siendo:

D_p Coeficiente de difusión del vapor de agua [kg/m s Pa], en un volumen de aire estático, con un valor típico de $2 \cdot 10^{-10}$ kg/m s Pa.

δ_p Permeabilidad al vapor de agua [kg/m s Pa], determinado según norma UNE-EN ISO 12572:2002.

El valor, permite caracterizar mediante un valor matemático simplificado, la naturaleza del sistema poroso del material en relación a su capacidad para permitir el paso de vapor, supuesto un nivel macroscópico homogéneo.

Una porosidad abierta reducida, con escasos poros interconectados entre sí atravesando el material y con recorridos de elevada tortuosidad en su interior, se relaciona directamente con una mayor resistencia al paso del vapor de agua en el seno del material. La capacidad para permitir el paso de vapor de agua a través de un material está así íntimamente relacionado con la porosidad abierta contenida en dicho material, la cantidad de poros interconectados que atraviesan completamente el material y grado de tortuosidad de su recorrido.

Otros factores externos al material, también pueden condicionar su resistencia al paso de vapor. En condiciones de elevado contenido de humedad en el interior de estos poros, éstos pueden estar obstruidos con agua líquida, suponiendo a todos los efectos una barrera adicional al desplazamiento de vapor de agua.

Se deduce por lo tanto que mayores contenidos de humedad en el interior del material, darán como resultado factores de resistencia al vapor de agua progresivamente más elevados.

No obstante, las experiencias prácticas basadas en la medición del flujo de humedad, demuestran un comportamiento opuesto al esperado, incrementándose el flujo de vapor, a mayor humedad en el material.

Este hecho se debe a la aparición de condensaciones de agua líquida en los poros para estas humedades mayores y el inicio de cierto transporte de agua líquida, incrementan el monto total del flujo de humedad. Así pues, si bien la difusión de vapor se hace cada vez menor, el flujo de humedad en el material, se va incrementando progresivamente, por lo que el factor de resistencia total al flujo de “vapor”, paradójicamente, decrece.

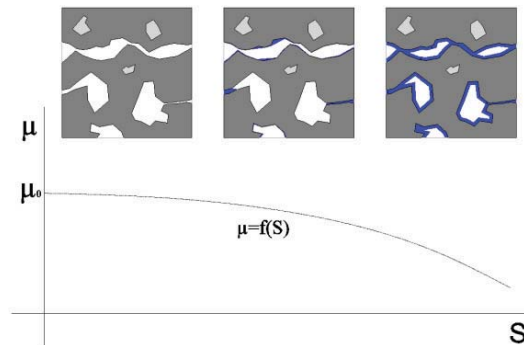


Figura II.104.- El factor de resistencia al paso de vapor se va reduciendo al aumentar la saturación del material (y por lo tanto el número de poros obstruidos por su contenido en agua líquida). La resistencia al paso de vapor de agua del material, va creciendo consecuentemente.

Tal y como se aprecia de la anterior figura, el factor de resistencia no puede considerarse directamente proporcional a la saturación del material (Gómez, 2006) ya que la progresiva obstrucción de los poros, se realiza de forma no lineal. Así, para pequeños contenidos de humedad en el material, dependiendo de la porosimetría existente, una gran cantidad de pequeños poros pueden encontrarse obstruidos, aun a pesar de que la saturación del material sea muy baja. Inversamente, para materiales con gran tamaño de poro, será necesaria una elevada saturación para reducir apreciablemente el factor de resistencia al paso del agua.

El coeficiente, permite estimar en unas condiciones definidas, cuantas veces resulta menos permeable al vapor de agua el medio poroso, respecto a lo que lo sería el aire estático en un proceso de difusión libre ideal, no condicionado por el material.

Así pues, el factor se interpreta como una valoración numérica del sistema poroso que constituye el material, de su porosidad y de la tortuosidad de sus recorridos internos y de la interconexión y saturación existente en los mismos.

$$\mu \approx f \left(\frac{\text{Totuosidad}}{n_0 \cdot (1-S)} \right)$$

Dada esta dependencia de un parámetro externo al material como es la saturación, una caracterización de valores típicamente utilizados para esta magnitud puede obtenerse de la norma UNE-EN 12524:2000 “Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores de diseño tabulados” (AENOR, 2000a), en la que los valores son referidos a dos condiciones en diferente estado de saturación: equilibrio a temperatura de 23 °C y 50 % (seco) y 80 % (húmedo) respectivamente de humedad relativa. Otras tabulaciones de datos similares pueden obtenerse de documentos como el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

Grupo de materiales o aplicación	Densidad	Conductividad técnica de diseño	Calor específico	Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua	
	ρ kg/m ³	λ W/(m · K)	c_p J/(kg · K)	μ seco	μ húmedo
Asfalto	2 100	0,70	1 000	50 000	50 000
Betún Puro	1 050	0,17	1 000	50 000	50 000
Fieltro/lámina	1 100	0,23	1 000	50 000	50 000
Hormigón ^(a)					
Densidad media	1 800	1,15	1 000	100	60
	2 000	1,35	1 000	100	60
	2 200	1,65	1 000	120	70
Alta densidad	2 400	2,00	1 000	130	80
Armado (con 1 % de acero)	2 300	2,3	1 000	130	80
Armado (con 2 % de acero)	2 400	2,5	1 000	130	80
Revestimientos para suelos					
Caucho	1 200	0,17	1 400	10 000	10 000
Plástico	1 700	0,25	1 400	10 000	10 000
Subcapa, caucho celular o plástico	270	0,10	1 400	10 000	10 000
Subcapa, fieltro	120	0,05	1 300	20	15
Subcapa, lana	200	0,06	1 300	20	15
Subcapa, corcho	<200	0,05	1 500	20	10
Placas de corcho	>400	0,065	1 500	40	20
Moqueta/revestimientos textiles	200	0,06	1 300	5	5
Linóleo	1 200	0,17	1 400	1 000	800
Gases					
Aire	1,23	0,025	1 008	1	1

Figura II.105.- Valores tabulados para el coeficiente de resistencia a la difusión de vapor μ , para diferentes materiales y productos de construcción. Nótese la especificación relativa a calor específico y al diferente factor de resistencia a la difusión de humedad según su humedad. Fuente: AENOR, 2000a.

Grosor de capa de aire equivalente a la difusión de vapor

Aplicando el concepto inverso al factor de resistencia al vapor de agua, el grosor de capa de aire equivalente s_d [m], representa el grosor que habría de tener una capa de aire inmóvil, para alcanzar la misma resistencia a la difusión de vapor que la capa de material analizado.

Partiendo de las expresiones presentadas para el coeficiente de permeabilidad al vapor de agua, (ec. II.3) y para el factor de resistencia al vapor de agua (ec. II.4) y asumiendo el material como homogéneo e isotrópico (magnitudes escalares de dichos coeficientes), el gradiente puede sustituirse por un aumento de la presión de vapor a lo largo del espesor del material:

$$\vec{g} = -\delta_p \cdot \text{grad } P_v \approx -\delta_p \frac{\Delta P_v}{e} \quad [\text{kg/s m}^2]$$

$$\delta_p = \frac{D_p}{\mu} \quad [-]$$

$$\text{grad } P_v = \frac{\partial P_v}{\partial x} x + \frac{\partial P_v}{\partial y} y + \frac{\partial P_v}{\partial z} z \approx \frac{\Delta P_v}{e} \quad [\text{Pa/m}]$$

Dado que el espesor s_d , ha de presentar la misma resistencia a la difusión de vapor que la capa de material analizado de espesor d , pueden igualarse ambas densidades de flujo de vapor de agua, para la determinación de s_d :

$$g = -\frac{D_p}{\mu} \frac{\Delta P_v}{e} = -D_p \frac{\Delta P_v}{s_d} \quad [\text{kg/s m}^2] \quad [\text{ec. II.5}]$$

$$s_d = \mu \cdot e \quad [\text{m}]$$

El parámetro resulta de especial utilidad en aquellos casos en los que el material posee una gran resistencia al paso de vapor de agua, pero sin embargo, su espesor resulta difícil de caracterizar por su escasa magnitud, como en el caso de barreras de vapor o revestimientos pintados.

Permeancia y resistencia al vapor de agua

Partiendo de la consideración de un material homogéneo e isótropo, caracterizable mediante magnitudes escalares, se define permeancia al vapor de agua W , como la magnitud que caracteriza la permeabilidad al paso de agua de un material, de forma unitaria.

Al igual que la permeabilidad al vapor de agua, la permeancia puede definirse en base a distintos potenciales, bien sea presión de vapor o contenido de humedad por volumen:

$$g = W_p (P_{v1} - P_{v2}) = -W_p \Delta P_v \quad [\text{kg/s m}^2]$$

$$g = W_v (v_1 - v_2) = -W_v \Delta v \quad [\text{kg/s m}^2]$$

Siendo:

W_p permeancia en función de la presión parcial de vapor de agua $[\text{kg/m}^2 \text{ s Pa}]$.

W_v permeancia en función de la humedad por volumen $[\text{m/s}]$.

Las expresiones del flujo de vapor de agua pueden describirse tanto mediante un símbolo negativo, como mediante uno positivo, si se invierten los términos del incremento del potencial, siendo 1 el punto de menor concentración de moléculas de agua y 2, el de mayor concentración.

Partiendo de la anterior ecuación II.5, la permeancia al paso de humedad puede definirse como:

$$W_p = \frac{D_p}{s_d} \quad W_v = \frac{D_v}{s_d}$$

Dado que representa una magnitud unitaria, multiplicando su valor por el espesor del material d , es posible obtener la permeabilidad al vapor de agua del propio material.

$$W_p = \frac{D_p}{s_d} = \frac{D_p}{\mu \cdot d} = \frac{\delta_p}{e} \quad \text{y} \quad \delta_p = W_p \cdot e$$

La magnitud, puede establecerse empíricamente mediante la norma UNE-EN ISO 12572:2002, una vez calculada la densidad de flujo de vapor de agua sobre la probeta de ensayo, puesto que son conocidas las presiones de vapor a cada lado de la muestra, en unas condiciones de temperatura y humedades.

En determinada bibliografía, la magnitud suele expresarse igualmente en “perm” o centímetros cúbicos de gas, que con la viscosidad de un poise, pasan en un segundo por una sección de un centímetro cuadrado en dirección perpendicular a una diferencia de presión de una dina por centímetro cuadrado. Su equivalencia en el SI es $57,4 \cdot 10^{-12} \text{ kg/m}^2 \text{ s Pa}$.

Se conoce a su vez como resistencia al vapor de agua Z, a la magnitud inversa a la permeancia anteriormente descrita, pudiendo igualmente expresarse en base a un gradiente de humedad por volumen y de presión de vapor de agua:

$$Z = \frac{1}{W} \quad [\text{m}^2 \text{ s Pa/kg}]; [\text{s/m}]$$

$$Z_p = \frac{1}{W} = \frac{s_d}{D_p} \quad \text{y} \quad s_d = Z \cdot D_p$$

$$g = \frac{(P_{v1} - P_{v2})}{Z_p} = - \frac{\Delta P_v}{Z_p} \quad [\text{kg/s m}^2]$$

$$g = \frac{(v_1 - v_2)}{Z_v} = - \frac{\Delta v}{Z_v} \quad [\text{kg/s m}^2]$$

II.6.3.- CARACTERIZACIÓN HIGROSCÓPICA DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Como corolario a la anterior descripción de los fenómenos y mecanismos que condicionan el transporte de humedad en el medio poroso y a la anterior descripción de las propiedades higrótérmicas que caracterizan a los materiales de construcción, de describen a continuación algunos de los procesos higroscópicos que se han definido.

En primer lugar se analizarán los diferentes ensayos que permiten determinar la forma en la que los materiales de construcción almacenan y ceden humedad en el interior de su estructura porosa. Del mismo modo se analizan los ajustes matemáticos más significativos para establecer una aproximación analítica a estas funciones de almacenamiento de humedad.

En segundo lugar se enuncian las principales teorías que tratan y estudios que han tratado de parametrizar el proceso de almacenamiento de agua basada en la absorción mono-multicapa de moléculas de agua, sin entrar a una descripción profunda de las formulaciones matemáticas que las acompañan.

En tercer lugar, se exponen la bases físicas que rigen el mecanismo de formación de los meniscos capilares en los poros del material de construcción, definiendo así la naturaleza física de la presión capilar que se establece en el interior del material y que es responsable de la mayor parte de la absorción de agua líquida por parte del material en contacto con la misma.

Por último, sentadas la bases matemáticas que rigen la condensación capilar y que permiten determinar la presión capilar, se describen los mecanismos físicos que conllevan esta absorción capilar de agua por parte del material.

Caracterización de la función de almacenamiento de humedad

En los materiales higroscópicos, capaces de interactuar con el medio exterior dada su porosidad abierta al mismo, se producen procesos de movimiento y consecuente almacenamiento de la humedad ambiental, como resultado del equilibrio higroscópico continuo que se tiende a establecer entre el interior del material y las condiciones ambientales externas.

En condiciones de elevada humedad relativa ambiental, el material presenta un mayor contenido de humedad en su interior que en condiciones secas o estivales. Así, en condiciones de gran humedad o si el material entra en contacto con agua líquida, su contenido en humedad se verá incrementado por el humedecimiento por capilaridad. En conocimiento de la capacidad del material para almacenar humedad en función de las condiciones externas, resulta de gran interés para caracterizar sus propiedades térmicas y de resistencia a la humedad.

Se denomina función de almacenamiento de humedad a la capacidad del material para albergar humedad en el interior de su sistema poroso, ante condiciones de variación de humedad en el ambiente exterior. Tal y como se ha expuesto en el apartado II.4, este almacenamiento de humedad se encuentra regido por múltiples fenómenos y mecanismos, que interactúan simultáneamente dentro del medio poroso.

La caracterización de este almacenamiento se realiza de acuerdo a metodologías de ensayo estandarizadas, como la norma UNE-EN ISO 12571:2000 “Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios. Determinación de las propiedades de sorción higroscópica” (AENOR, 2000b).

El almacenamiento de humedad en el material es caracterizado habitualmente mediante curvas de sorción, las cuales establecen la relación entre el contenido de humedad de un material y la humedad relativa del ambiente, a una temperatura determinada y constante, habitualmente de 23 °C, llamándose las curvas, de sorción isoterma.

Como tal, la curva de sorción, debe diferenciarse en dos curvas con características propias. Se denomina curva de adsorción a la curva de sorción establecida para humedades relativas crecientes, mientras que se denomina curva de desorción a la establecida para humedades relativas decrecientes.

Partiendo de unas condiciones ambientales secas en la curva de adsorción, debe incrementarse por pasos la humedad relativa, hasta que en sucesivas pesadas, el peso de la probeta sea constante (material en equilibrio de humedad con el ambiente). Determinando de este modo sucesivos puntos de contenido de humedad a diversas humedades relativas crecientes entre 21 y 95%, puede determinarse dicha curva.

Para la curva de desorción, debe partirse de una humedad relativa superior al 95% en la probeta en equilibrio, para seguir similar proceso, en sentido decreciente hasta alcanzar una humedad relativa del 30%.

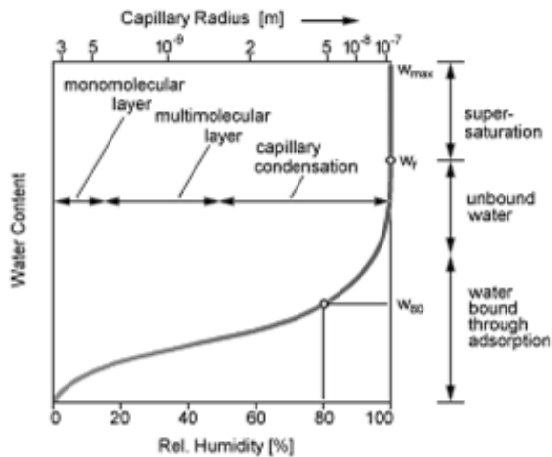


Figura II.106.- Representación esquemática de una curva de sorción isoterma y de los parámetros higroscópicos más relevantes del material poroso. Fuente: WUFI, 2011.

En las curvas de sorción, es posible identificar claramente los diferentes fenómenos de transporte de humedad que se dan en el interior del material poroso para los distintos contenidos de humedad posible. La aparición de fenómenos y condiciones de transporte diferenciados para el secado y humedecimiento del material, da como resultado cierta diferencia ya analizada o histéresis entre las curvas de adsorción y desorción, de ahí la necesidad de efectuar ambos ensayos para una caracterización precisa del material.

A bajas humedades relativas, se produce un rápido incremento en el contenido de humedad del material, cuando se establece cierta absorción capilar en la superficie de los poros del medio. Esta absorción será tanto más acusada, cuanto mayor sea la porosidad abierta n_o y menor sea el tamaño de los poros (mayor superficie hidráulica).

A humedades relativas superiores al 20%, comienza el proceso de absorción multicapa, con lo que el crecimiento de humedad en el material es aproximadamente lineal, en paralelo al crecimiento lineal de las sucesivas capas en las paredes de los poros. Esta tendencia lineal se mantiene hasta el momento en el que comienzan a producirse las primeras condensaciones capilares y aparece una pequeña cantidad de agua líquida en el interior del medio.

A humedades relativas superiores al 40%, ciertos poros presentan condensación de agua en sus zonas más estrechas, por lo que el agua líquida contenida incrementa acusadamente el contenido de humedad, rompiendo la linealidad previa de la curva. Cuantos más poros se vean afectados por condensaciones capilares, mayor sea el incremento de humedad y más acusada será la variación de la linealidad en la curva.

Hasta una determinada humedad relativa, (aceptada frecuentemente en torno al 80%), se considera que las condensaciones capilares en los poros son tan poco numerosas que las mismas no están interconectadas entre sí, de modo que no puede producirse transporte de humedad líquida en el interior del material o éste es despreciable.

A partir de esta humedad, las condensaciones capilares van a ir interconectándose paulatinamente, dando lugar a un transporte creciente de humedad líquida en el material que incrementa de forma exponencial, el contenido de humedad en el medio poroso. Paralelamente, el transporte de humedad por difusión se verá reducido, hasta llegar a ser despreciable.

Incrementando la humedad relativa, se llegaría al contenido de humedad capilar w_{cap} (w_f en algunas fuentes bibliográficas), momento en el cual todo el espacio en el interior del medio poroso (salvo oclusiones de aire), se encuentra ocupado por agua líquida. La eliminación de estas oclusiones de aire, por su disolución en el líquido, permitiría aumentar más el contenido de humedad del material, hasta w_{max} , contenido que raramente es alcanzado en materiales de construcción no sumergidos.

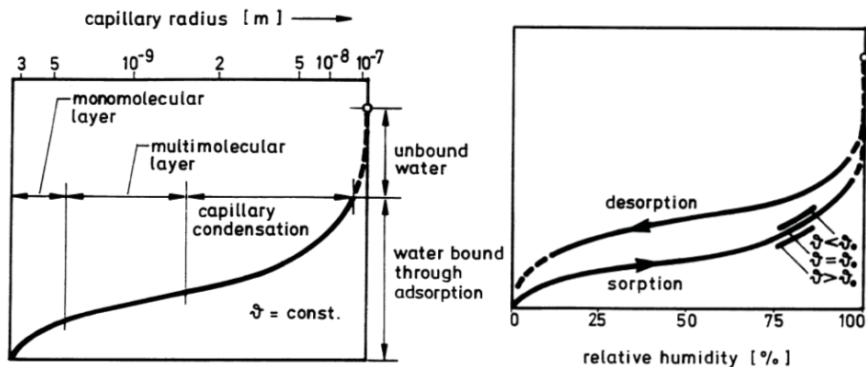


Figura II.107.- Representación esquemática de una isoterma de sorción. Representación del efecto de histeresis entre la isoterma de sorción y desorción. Fuente: Krus, 1996.

Tal y como se aprecia, las curvas de sorción caracterizan de este modo la cantidad de humedad (vapor + agua líquida), que el material acoge en su sistema poroso, en función de la humedad relativa que se presenta en el ambiente con el cual está en equilibrio.

Debido a los fenómenos descritos en el apartado II.4, como son la oclusión de aire en los poros, la presencia de agua retenida en poros de gran tamaño rodeados de poros menores o la diferencia de ángulo de contacto en el avance o retroceso de las gotas de agua, la curva de desorción, partiendo de un estado de gran humedad, presentan contenidos de humedad mayores, para similares humedades relativas.

Dependiendo de las características intrínsecas del material, esta diferencia entre ambas curvas será poco acusada, siendo asumible la utilización de una única curva de sorción para la caracterización unívoca del material. Un cálculo preciso, no obstante, necesitará de la caracterización mediante ambos ensayos.

A pesar de que dichas curvas se obtienen mediante diversos ensayos, es posible establecer aproximaciones mediante ajustes matemáticos a las curvas de sorción isotérmica. Para ello, han sido definidas varias expresiones posibles, cuyos coeficientes de ajuste se derivan de los resultados de laboratorio, alguna de las cuales ha sido utilizada a lo largo del capítulo VI.

Una de ellas es la aportada por el software de simulación numérica WUFI (2011), basada en el modelo de Künzle (1995), Krus (1996) y Krus y Holm (1999) según la cual, el contenido de humedad del material puede estimarse a partir del conocimiento del contenido de humedad en saturación.

$$w \approx w_{cap} \cdot \frac{(b-1) \cdot \phi}{b - \phi} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Siendo:

- b un factor corrector [-], a ajustar en cada caso, según el resultado empírico del contenido de humedad a la humedad referencia w_{80} .
- w_{cap} al máximo contenido de agua que el material puede albergar en condiciones de saturación por capilaridad, expresado en volumen de material seco $[\text{kg/m}^3]$.
- ϕ humedad relativa del momento analizado, expresado en tanto por uno [-].

Otra aproximación diferente fue propuesta por Kumaran (1994, 1996), en base únicamente al contenido de humedad relativa en el material:

$$w \approx \frac{\phi}{a\phi^2 + b\phi + c} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Siendo:

- a, b y c factores de corrección [-], a ajustar en cada caso según el resultado empírico del ensayo.

Una última aproximación se basa en el trabajo de Burch (1992) y Burch y Chi (1997), para el desarrollo del software informático de simulación higrótérmica MOIST, para el que se precisan de nuevo coeficientes de ajuste derivados de los resultados del ensayo de caracterización:

$$w \approx A \left[\frac{1}{1-\phi} - 1 \right]^B \quad [\text{kg/m}^3]$$

Siendo:

A y B factores de corrección [-], a ajustar en cada caso según el resultado empírico del ensayo.

Todos ellos precisan de la realización de ensayos que permitan optimizar sus coeficientes de ajuste para cada material, si bien el estudio de todos ellos puede combinarse para dar como resultados ajustes más exactos.

Una amplia base de datos para el ajuste de los modelos a diferentes materiales, puede encontrarse en la bibliografía específica mostrada, así como en los manuales técnicos que definen los software informáticos que han derivado, como WUFI o MOIST.

En la tabla siguiente, se presentan la comparación de los parámetros de ajuste obtenidos para algunos materiales según los tres métodos propuestos, derivada de los trabajos de algunos autores españoles:

Tabla II.16.- Parámetros de ajuste para los tres modelos indicados en diferentes materiales de construcción.

Material	Modelo	Coeficientes			Autor
Arcilla aligerada 1	WUFI	$w_{\text{cap}} = 10,717$	$b = 1,071$		Gómez I. (2006)
	Kuraman	$a = -1,819$	$b = 1,898$	$c = 0$	
	Burch	$A = 1,236$	$B = 0,516$		
Mortero de árido volcánico	WUFI	$w_{\text{cap}} = 63,026$	$b = 1,168$		
	Kuraman	$a = -0,044$	$b = -0,022$	$c = 0,081$	
	Burch	$A = 10,530$	$B = 0,467$		
Arcilla aligerada 2	WUFI	$w_{\text{cap}} = 39,677$	$b = 1,246$		
	Kuraman	$a = -0,194$	$b = 0,215$	$c = 0,001$	
	Burch	$A = 9,397$	$B = 0,383$		
Hormigón aligerado	WUFI	$w_{\text{cap}} = 23,944$	$b = -0,220$		Del Coz et al. (2012)
	Kuraman	$a = -0,040$	$b = 0,074$	$c = 0,001$	
	Burch	$A = 17,604$	$B = 0,162$		

Estas curvas identifican el contenido de humedad, sin establecer distinción entre vapor y agua líquida y son válidas para todo el rango de humedad por debajo de la saturación. No obstante, a humedades relativas superiores al 95%, el mantenimiento de las condiciones de ensayo se hace muy difícil. La aparición de los fenómenos de histéresis por aire ocluido y las inciertas condiciones del ensayo en estas condiciones, hacen que los puntos obtenidos en las curvas para humedades relativas mayores al 95%, sean poco precisos.

Es por lo tanto necesario recurrir a otra tipología de ensayo más adecuada a este fin.

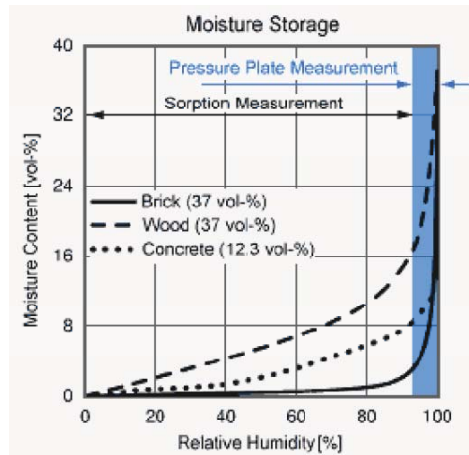


Figura II.108.- Representación típica para las curvas de sorción de materiales escasamente higroscópicos (ladrillo), moderadamente higroscópicos (hormigón) y muy higroscópicos (madera). Los valores en la franja oscura para altos contenidos de humedad se determinarían mediante ensayo de retención de humedad. Fuente: WUFI, 2011.

Esa tipología de ensayo o determinación de la curva de retención de humedad, se realiza de forma inversa, partiendo de un estado de saturación total, alcanzando contenidos de humedad asociados a bajas humedades relativas. Se complementa con mayor precisión de esta forma, la información ofrecida, hasta la humedad capilar, por los ensayos de sorción.

Caracterización de la adsorción molecular

Las investigaciones desarrolladas por autores como Langmuir (1916) o Brunauer, Emmett y Teller (1938), continúan siendo referencia para la determinación matemática de la humedad absorbida mediante procesos de adsorción molecular, bien sea ésta monocapa (Langmuir), como multicapa (BET).

La expresión asociada a la absorción multicapa, parte de una extensión de la llamada ecuación de Langmuir, postulada únicamente para la primera capa de adsorción molecular de un gas sobre la superficie de un sólido. La aplicación de ambas teorías al caso concreto del vapor de agua da como resultado una caracterización matemática de este fenómeno, que puede ser consultada en el trabajo de otros autores relevantes (Gómez, 2006), pero que sin embargo, no tienen relevancia para los posteriores aportes de este trabajo doctoral.

Caracterización del mecanismo de condensación capilar

A humedades relativas en torno al 40%, la acumulación de capas de moléculas de agua en la superficie de los poros es tan acusada, que en aquellos poros de menor tamaño, pueden derivar en la adopción de disposiciones de mayor estabilidad (menor nivel energético), formando conexiones de agua líquida con las capas de moléculas cercanas. Al formarse dicha conexión y aparecer humedad en fase líquida en el material,

se originan consecuentemente, tensiones superficiales en la superficie del líquido en contacto con el gas predominante en el resto del sistema poroso. La acción de esta tensión superficial, confiere al frente de líquido en el poro, forma de menisco, dando lugar a la definición de cierta presión capilar en el poro.

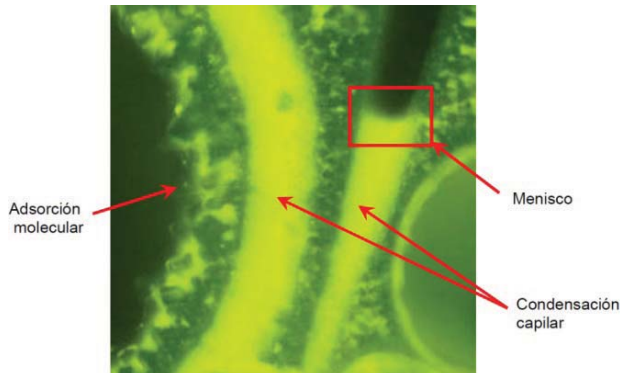


Figura II.109.- Imagen de alta resolución de una sección de sistema poroso sometido a la acción de la humedad, en la que se observan diferentes fenómenos de almacenamiento y transporte de humedad. Fuente: Gómez, 2006.

La atracción que se produce entre las moléculas de agua líquida conectadas en el poro, hace que en su superficie aparezca una tensión superficial capaz de deformar la superficie del líquido, sin que este se disgregue. De este modo, la estructura del líquido, se opone a las fuerzas de atracción establecidas entre el líquido y el sólido de la pared porosa y entre las propias moléculas de agua.

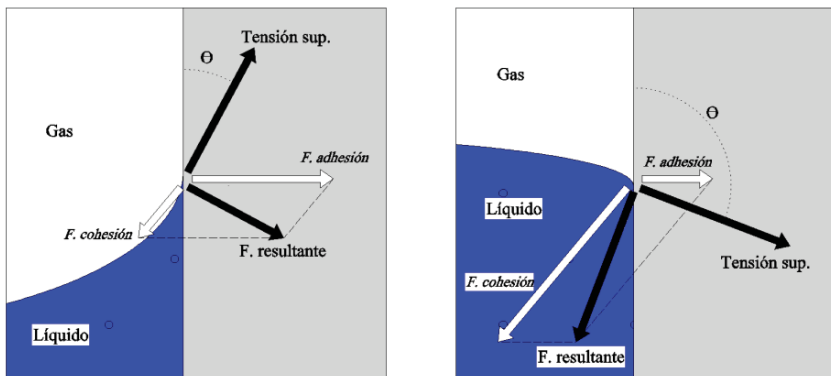


Figura II.110.- Esquema de fuerzas de adhesión-cohesión que dan lugar a la tensión superficial en el líquido. A la izquierda, el líquido “moja” el poro debido a la mayor magnitud de las fuerzas de adhesión con el poro (agua). A la derecha, el líquido “no moja”, el material, por la elevada magnitud de las fuerzas de cohesión (mercurio).

La resultante de las fuerzas de adhesión establecidas en el líquido, determina la dirección de la tensión superficial (perpendicular a la resultante) y consecuentemente el tipo de curvatura generada en el menisco del líquido. Dado que el sólido se considera indeformable, la dirección resultante de la tensión superficial condiciona el ángulo de contacto Θ , que el fluido presenta en su contacto con el poro (Boucher, 1980) (Boucher y Evans, 1980). Se establece de este modo el equilibrio mecánico en la interfaz sólido-gas-líquido.

Tabla II.17.- Propiedades capilares típicas del agua y mercurio, (utilizadas estas últimas en el ensayo de porosimetría de mercurio, anteriormente citado).

LÍQUIDO	PROPIEDADES TÍPICAS	
	Ángulo de contacto [°]	Tensión superficial [N/m]
Agua	0 a 30 aprox.	0,072
Mercurio	140 aprox.	0,480

Supuesto un poro del material perfectamente cilíndrico, cuya pared es lisa, indeformable, isotrópica e inerte al contacto con el fluido, al agua como líquido newtoniano, de densidad constante y sin especies químicas disueltas y al aire como gas ideal formado por aire seco y vapor de agua, podemos establecer el siguiente equilibrio de fuerzas, en el menisco supuestamente esférico generado por la condensación capilar de moléculas de humedad en el interior del poro:

$$\text{Eje y: } \sigma \cdot \cos \theta \cdot 2\pi r + \pi r^2 P_l = \pi r^2 P_g$$

$$\sigma \cdot \cos \theta \cdot 2\pi r = \pi r^2 (P_g - P_l)$$

$$(P_g - P_l) = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \quad [\text{Ec. de Washburn, 1921}]$$

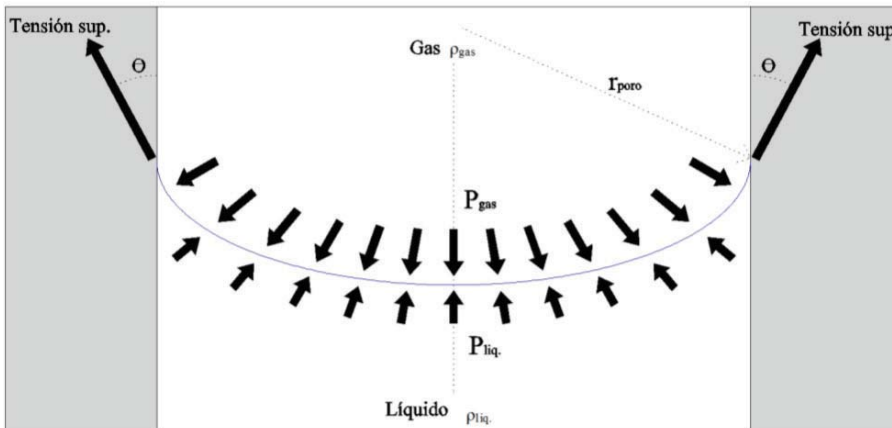


Figura II.111.- Representación esquemática de las fuerzas y presiones actuantes en el equilibrio de un menisco de líquido en el medio poroso.

De la anterior ecuación se deduce que en el interfaz líquido-gas del menisco se genera una diferencia de presión, tanto mayor, cuanto menor sea el radio del poro o capilar y mayor la tensión superficial establecida en la superficie del líquido. Esta diferencia de presión, necesaria para establecer el equilibrio de fuerzas en la interfaz se denomina presión capilar P_c .

La temperatura del líquido influye sustancialmente sobre la magnitud de la presión capilar, al producir una disminución notable de la tensión capilar del líquido (en el agua oscila desde desde 0,07564 N/m² a 4°C hasta 0,05891 N/m² a 100 °C). Con frecuencia, para el agua, la curvatura del menisco es tan acusada, que en poros pequeños, puede considerarse $\Theta=0^\circ$, por lo que $\cos \Theta = 1$ y la presión capilar, puede expresarse simplifícadamente como:

$$P_c = \frac{2\sigma}{r} \quad [N]$$

Tabla II.18.- La magnitud de las presiones capilares generadas en los poros es muy notable, alcanzando valores, para poros de reducido tamaño, muy superiores a los derivados de la acción de la gravedad.

Radio de poro [m]	Presión capilar [N/m ²]
$1 \cdot 10^{-8}$	14400000 aprox.
$1 \cdot 10^{-7}$	1440000 aprox.
$1 \cdot 10^{-6}$	144000 aprox.
$1 \cdot 10^{-5}$	14400 aprox.

De las anteriores expresiones, puede deducirse por lo tanto, que en la proximidad del menisco, cuanto menor sea el radio del menisco, mayor será la diferencia de presiones existente en la interfaz líquido-gas y por lo tanto, mayor la presión capilar en el poro. Este aumento localizado y muy intenso de la presión del gas en el entorno de la curvatura del menisco, es el responsable de que las moléculas de vapor en el entorno cercano al menisco condensen, aun cuando las condiciones de humedad relativa del gas, sean inferiores a las condiciones de saturación.

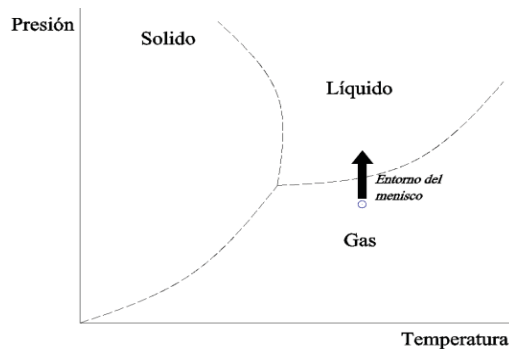


Figura II.112.- Representación convencional del diagrama de fases para gases ideales. El incremento puntual de la presión en el gas, en el entorno del menisco puede producir un cambio de fase en el mismo, aun cuando las condiciones generales del gas en el medio poroso, no alcancen el cambio de fase.

De hecho, de no existir curvatura (lámina libre de líquido en un recipiente infinitamente grande), la diferencia de presiones entre el líquido en reposo y el aire, sería nula:

$$P_c = (P_g - P_l) = \frac{2\sigma\cos\theta}{r} = \frac{2\sigma\cos\theta}{\infty} = 0$$

$$P_g = P_l$$

Con frecuencia, para radios de poro mayores a 0,01 m, la diferencia entre la presión del gas y del líquido se puede considerar despreciable ($P_c = 14,4 \text{ N/m}^2$).

No obstante, analizando de forma diferencial el efecto descrito y considerando un poro cilíndrico lo suficientemente pequeño como para asumir con un error aceptable que $\cos\Theta = 1$ y unos fluidos intervinientes ideales, puede obtenerse la relación existente entre la humedad relativa del gas y el radio mínimo necesario para que tenga lugar la condensación capilar.

$$P_c = (P_g - P_l) = \frac{2\sigma}{r} \qquad dP_g - dP_l = d\left(\frac{2\sigma}{r}\right)$$

$$v_{liq} \cdot dP_l = v_{vapor} \cdot dP_v \qquad dP_l = \frac{v_{vapor} \cdot dP_v}{v_{liq}}$$

Igualando ambas expresiones obtenemos la siguiente formulación diferencial:

$$dP_v - \frac{v_{vapor} \cdot dP_v}{v_{liq}} = d\left(\frac{2\sigma}{r}\right) = \frac{(v_{liq} - v_{vapor}) \cdot dP_v}{v_{liq}}$$

Dado que el volumen molar del agua líquida puede establecerse en $18 \text{ cm}^3/\text{mol}$, frente a los $22,4 \text{ l/mol}$ del vapor, el mismo puede ser despreciado. Del mismo modo asumido el vapor de agua como fluido ideal, tenemos que:

$$v_v = \frac{V_v}{n} = \frac{RT}{P_v}$$

$$\frac{(-v_{vapor}) \cdot dP_v}{v_{liq}} = d\left(\frac{2\sigma}{r}\right)$$

$$\frac{dP_v}{P_v} \cdot \frac{RT}{v_{liq}} = -d\left(\frac{2\sigma}{r}\right)$$

$$\frac{dP_v}{P_v} = -\frac{v_{liq}}{RT} \cdot d\left(\frac{2\sigma}{r}\right)$$

Integrando la anterior expresión desde $r = \infty$ a $r = r_{poro}$ y desde $P = P_{sat}$ hasta $P = P_v$, se obtiene la expresión de Kelvin (Thomson, 1871), que relaciona la humedad relativa presente en el interior del poro, con el diámetro de radio del mismo, así como con la presión capilar existente en el menisco condensado:

$$\ln\left(\frac{P_v}{P_{sat}}\right) = -\frac{2\sigma v_{liq}}{r_{critico}RT}$$

$$\ln(\phi) = - \frac{2\sigma}{\rho r_{\text{critico}} R_v T} = \frac{-P_c}{\rho R_v T} \quad [\text{Ec. de Kelvin}]$$

Dado que para humedades relativas inferiores al 30-40%, no se produce condensación capilar en el interior del medio poroso, la anterior expresión solo tiene validez física para humedades relativas mayores. De la misma se deduce que para unas condiciones de tensión superficial, densidad y temperatura del fluido, a cada humedad relativa ambiental, le corresponde un radio crítico del material, para el cual se produce la condensación.

Tabla II.19.- Relación existente definida por la ecuación de Kelvin entre humedad relativa del medio, radio crítico necesario para la condensación capilar y presión capilar generada en dicho poro. A bajas humedades relativas, únicamente los poros de menor tamaño, se ven afectados por condensación.

Humedad relativa [-]	Radio crítico de poro [m]	Presión capilar crítica [10 ⁶ N/m ²] [MPa]
0,4 (inicio de cond.)	1·10 ⁻⁹	124,034
0,8 (w ₈₀)	4·10 ⁻⁹	30,206
0,95	2·10 ⁻⁸	6,943
0,999	1,06·10 ⁻⁶	0,135
0,99999	1,06·10 ⁻⁴	0,00135

La anterior expresión no obstante, se halla sometida a múltiples simplificaciones, por lo que el comportamiento real en el interior del material no se ajusta fidedignamente a lo esperable a través de la expresión. Aun con todo, la misma constituye una valiosa herramienta para simular e interpretar los procesos de condensación que se producen en los poros, ofreciendo una aproximación suficientemente válida.

De ella se desprende que si el radio del poro es lo suficientemente pequeño, puede producirse condensación capilar a humedades relativas inferiores al 100%, tal y como experimentalmente ha sido detectado para humedades superiores al 40%. Así, para los poros más pequeños (radio 10⁻⁸ m), estas se producen en estos rangos, mientras que poros mayores, precisarán de humedades cercanas a la saturación, para poder condensar en un menisco.

Como consecuencia de esto, puede afirmarse que en el entorno del menisco, la presión de saturación se reduce proporcionalmente a la menor dimensión del poro, por lo que en el entorno de la interfaz, la condensación de moléculas de vapor seguirá produciéndose hasta que las condiciones impidan la condensación.

Estas condiciones se producen cuando la condensación se extiende a un poro de mayor radio (en el que no se alcanza el radio crítico necesario para que se produzca condensación capilar) o bien cuando la humedad relativa del medio poroso desciende hasta un rango tal que impide la condensación en poro analizado.

El efecto mencionado está detrás de alguno de los fenómenos de histéresis que han sido nombrados. Por un lado, la temprana condensación en los poros menores,

conectados a otros mayores, impide que estos últimos se llenen de agua, dando lugar a aire ocluido en el material, aun cuando se alcanzan humedades muy elevadas.

Por otro lado, en situaciones de saturación completa, la estabilidad del menisco en los poros más pequeños hasta contenidos de humedad muy reducidos, impide que en los poros de mayor tamaño conectados a los mismos, se produzcan los procesos de desaparición de la condensación, hasta humedades relativas muy reducidas. Todo ello contribuye al mayor contenido de humedad en los procesos de secado, frente a los de humedecimiento, para similares condiciones de humedad relativa.

En grietas y fisuras, en el orden de décimas de milímetros, la humedad relativa necesaria para la condensación capilar, roza el 100%, situación difícilmente producible sin un aporte de agua líquido. Por el contrario, en estos poros y discontinuidades, su elevado tamaño permite la entrada de agua líquida exterior de forma directa, por lo que suelen verse ocupados por humedad en fase líquida, sin necesidad de fenómenos de condensación capilar. Será de aplicación en estos casos el mecanismo de absorción por capilaridad, que se presenta a continuación.

Caracterización de la capilaridad

Es posible, aplicando principios isostáticos al capilar poroso, caracterizar otros equilibrios hidráulicos, en los que puede introducirse el factor de la gravedad existente. Así, tomando un capilar inicialmente seco (ocupado por aire húmedo), al entrar en contacto con agua líquida superficial, este absorberá agua, generando de inmediato un menisco líquido dentro del poro y una consiguiente presión capilar.

Tal y como se aprecia en las siguientes figuras, la necesidad de establecer el equilibrio en la interfaz líquido-gas de la zona del poro, precisa de la creación de un menisco en el interior del poro, menisco, que por el ángulo de contacto típico del agua avanzará hacia el interior del mismo “mojando” el sólido.

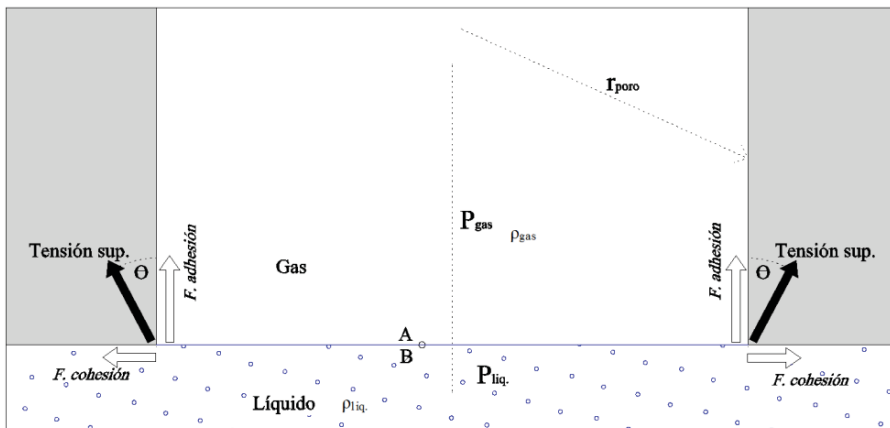


Figura II.113.- Durante el estadio inicial del contacto con el agua superficial, el estado no se encuentra en equilibrio de fuerzas, dado que la tensión superficial necesaria no se encuentra alineada con la curvatura de menisco alguno. Rápidamente, el agua penetrará en el poro y adoptará la forma necesaria para el equilibrio.

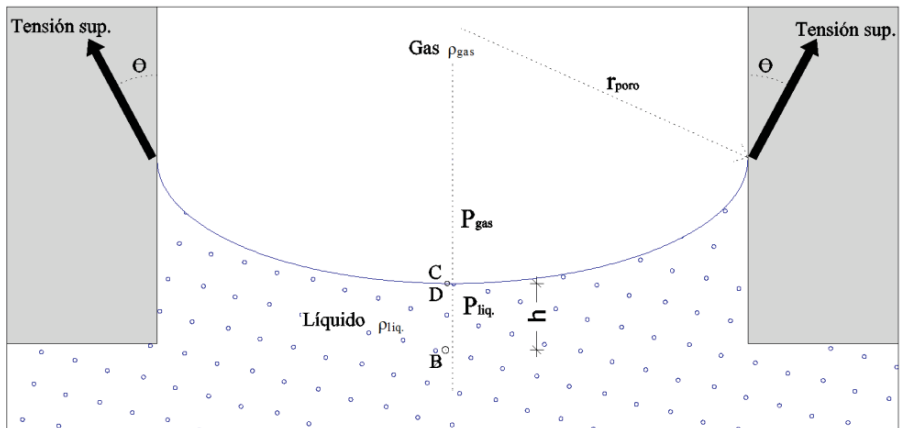


Figura II.114.- Una vez establecido el equilibrio de fuerzas por la curvatura del menisco, este avanzará en el poro si se mantiene el aporte de agua superficial exterior y hasta que el tamaño del poro fuera lo suficientemente grande como para no poder mantener la estabilidad del menisco (Ec. de Kelvin).

Tomando en las anteriores figuras equilibrios hidráulicos en el interior del poro, asumiendo un poro de gran tamaño en el que la acción de la gravedad no sea despreciable en comparación con la presión capilar y un líquido carente de presión externa, podemos expresar:

$$P_{gas} = P_{atmosférica} = P_B = P_{liq.}$$

$$P_D = P_B - \rho_{liq.} \cdot g \cdot h$$

$$P_C = P_B - \rho_{gas} \cdot g \cdot h$$

$$P_C - P_D = P_{gas} - P_{liq.} = -\rho_{gas} \cdot g \cdot h + \rho_{liq.} \cdot g \cdot h = g \cdot h (\rho_{liq.} - \rho_{gas})$$

Luego la magnitud de la presión capilar, puede expresarse en poros de gran tamaño, como una relación entre la altura alcanzada por el avance del menisco en dirección opuesta a la acción de la gravedad:

$$P_{gas} - P_{liq.} = P_c = g h (\rho_{liq.} - \rho_{gas})$$

que la presión capilar puede igualmente expresarse a través de la ecuación de Washburn, ambas expresiones pueden igualarse:

$$P_c = g h (\rho_{liq.} - \rho_{gas}) = \frac{2\sigma \cos\theta}{r}$$

$$h = \frac{P_c}{g (\rho_{liq.} - \rho_{gas})} = \frac{2\sigma \cos\theta}{r g (\rho_{liq.} - \rho_{gas})} \approx \frac{2\sigma}{r g \rho_{liq.}}$$

Se deduce que en un poro uniforme, lo suficientemente grande como para considerar no despreciable la acción de la gravedad, el fluido sería capaz de avanzar

hasta una altura igual a la definida por la anterior expresión. Igualmente se deduce la existencia de un gradiente de presión capilar en el poro considerado, dependiente de la altura de fluido considerada, responsable del desplazamiento de agua al interior del material, por reducción de la presión del líquido.

Tabla II.20.- La naturaleza porosa del material, marcará el grado de influencia de la gravedad en los procesos de capilaridad. Así por ejemplo, se estima el límite típico de afección del fenómeno de ascensión capilar desde el terreno, en 1,5 m (Broto, 2005), correspondiente a un radio de poro de $1 \cdot 10^{-5}$ m como media. En poros de menor tamaño, el tránsito de agua líquida puede considerarse como poco apreciable, a efectos patológicos.

Radio de poro [m]	H_{\max} [m] en ausencia de P_{ext} (aprox.)
$1 \cdot 10^{-6}$	14,678
$1 \cdot 10^{-5}$	1,467
$1 \cdot 10^{-4}$	0,146
$1 \cdot 10^{-3}$	0,014

Si se desprecia la acción de la gravedad, como puede ser admisible dada la reducida dimensión de mucho de los poros del material de construcción y su elevada presión capilar (véase tabla anterior), el ascenso de agua líquida se produciría indefinidamente, hasta que cesara el aporte de agua exterior o bien el poro variara su radio, incrementándolo hasta hacer inestable el menisco de agua líquida.

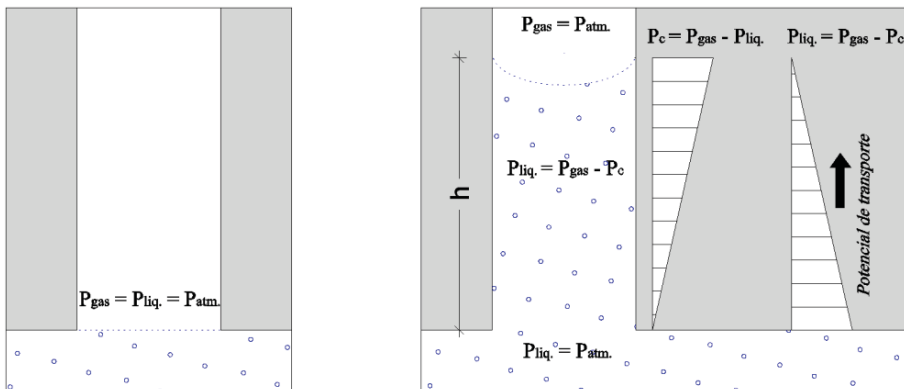


Figura II.115.- La diferencia de presión gas-líquido que la curvatura del menisco (por tensión superficial), genera en el poro, induce un gradiente de presión en el líquido, que tiende a penetrar en hacia el interior del poro (menor presión en el poro).

En realidad, el fenómeno se sitúa a medio camino entre ambos efectos. En los poros más pequeños, la acción de la gravedad puede despreciarse y el avance de agua por capilaridad es lento (elevada resistencia hidráulica), pero continuado (gran presión capilar). En poros mayores y fisuras, el avance de agua es rápido e intenso (escasa resistencia hidráulica y gran capacidad) pero limitado (la gravedad impide el flujo ascendente en grietas y fisuras de gran tamaño).

Considerando sobre el fluido la acción de una presión externa (viento, presión atmosférica variable, inercia en la caída de agua de lluvia...), la acción de dicha presión contribuirá a la mayor penetración del menisco en el interior del material:

$$P_B = P_D + \rho_{liq.} \cdot g \cdot h$$

$$P_B = P_{ext.} + P_C + \rho_{gas} \cdot g \cdot h \approx P_{ext.} + P_C$$

$$P_D = P_C - \frac{2\sigma \cos\theta}{r} \approx P_C - \frac{2\sigma}{r}$$

$$P_D \approx P_C - \frac{2\sigma}{r} = P_B - P_{ext.} - \frac{2\sigma}{r} = P_B - \rho_{liq.} \cdot g \cdot h$$

$$h \approx \frac{2\sigma}{r g \rho_{liq.}} + \frac{P_{ext.}}{g \rho_{liq.}}$$

Tabla II.21.- Tal y como se aprecia, únicamente en aquellos poros de mayor tamaño (mm o décima de mm), la influencia de la presión exterior puede considerarse como significativa en el avance por capilaridad del agua líquida. Como se verá más adelante, esta presión exterior aumentará su influencia en caso de que el material se encuentre completamente saturado (ausente de presión capilar).

Radio de poro [m]	H _{max} [m] en ausencia de P _{ext} (aprox.)	ΔH _{max} [m] considerada P _{ext} de 460 N/m ² (aprox.)
1·10 ⁻⁶	14,678	Despreciable
1·10 ⁻⁵	1,467	+0,046
1·10 ⁻⁴	0,146	+0,046
1·10 ⁻³	0,014	+0,046

La presión exterior aplicada de este modo, constituye la base del ensayo de porosimetría por mercurio, donde el incremento de presión sobre el mercurio y la cantidad del fluido introducido en el medio poroso (conocida la porosidad abierta), son relacionados para caracterizar los rangos de radio de poro presentes en el material. En vista de los anteriores resultados, es comprensible la utilización de presiones mayores a 200.000.000 N/m², para la caracterización completa de la porosimetría del material mediante inyección de mercurio.

El mismo efecto se tiene por la aplicación de tratamientos hidrofugantes siliconados, que alteran el ángulo de contacto entre la pared del poro y el fluido. Así, tomando un ángulo de contacto de 100° para la interfaz silicona-agua, que se produce en la superficie de los materiales sometidos a estos tratamientos y siguiendo las deducciones matemáticas previas, obtenemos los siguientes resultados modificados por el ángulo de contacto:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{r g (\rho_{liq.} - \rho_{gas})} = \frac{2\sigma (-0,1736)}{r g (\rho_{liq.} - \rho_{gas})} \quad \text{No se produce ascensión capilar}$$

$$h \approx \frac{2\sigma \cos\theta}{r g \rho_{liq.}} + \frac{P_{ext.}}{g \rho_{liq.}} = \frac{2\sigma (-0,1736)}{r g \rho_{liq.}} + \frac{P_{ext.}}{g \rho_{liq.}}$$

De la última expresión, se deduce que para alcanzar la misma altura de ascensión capilar obtenida en la tabla anterior, será necesaria la aplicación de una presión

exterior de mayor magnitud, lo que redunda en una mayor resistencia a la penetración de agua en el interior del producto.

Tabla II.22.- La inversión del ángulo de contacto en el poro, hace que se opongan a la ascensión del fluido de forma inversamente proporcional a como inicialmente la favorecían. Solo en poros de mayor tamaño, donde la presión capilar tiene menor relevancia, la presión externa puede producir cierta ascensión capilar. Una vez superada la capa superficial, la capilaridad se restablece en el interior.

Radio de poro [m]	ΔH_{\max} [m] considerada P_{ext} de 460 N/m ² (aprox.) en el producto hidrofugado
$1 \cdot 10^{-6}$	No se produce ascensión
$1 \cdot 10^{-5}$	No se produce ascensión
$1 \cdot 10^{-4}$	0,021 + avance interior
$1 \cdot 10^{-3}$	0,044 + avance interior

No obstante, superada la capa superficial hidrofugada, el agua introducida llegará a poros en condiciones habituales, por lo que el ascenso por capilaridad se volverá a producirse con fuerza, dejando sin efecto la protección superficial (el agua se redistribuirá en el material, ocupando los poros interconectados). Constituye por lo tanto una protección válida, siempre y cuando el material no se someta a condiciones muy desfavorables (por ejemplo sumergido o a presiones muy elevadas) y siempre que su porosidad no sea muy acusada.

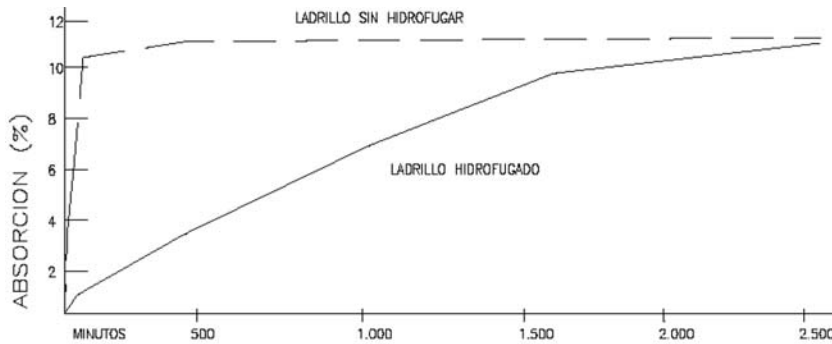


Figura II.116.- A largo plazo, la absorción de agua del ladrillo hidrofugado, apenas será algo inferior a la de un ladrillo típico. No obstante, rara vez se mantiene durante horas la presencia de agua líquida en la superficie del material de cerramiento.

Dado que en el material convive una gran heterogeneidad de tamaños de poro, fisuras y condiciones puntuales, el efecto práctico de la hidrofugación de materiales es la sensible reducción de la velocidad de succión del material (hasta un 80% menor). Del mismo modo, al impedir la entrada efectiva de agua líquida, se impide la penetración de sales disueltas en la misma, reduciendo significativamente los síndromes por eflorescencias, helacidad, deformaciones, desarrollo biológico, suciedad y se mejoran las prestaciones térmicas del cerramiento.

II.7.- ESTRATEGIA DE TRABAJO UTILIZADA

Tal y como se puede deducir a tenor de lo presentado, el campo abordado es amplio y complejo.

Del estudio patológico de los síndromes relacionados con la humedad en la edificación, al estudio de sus afecciones sobre la salud de los ocupantes de las construcciones, al análisis científico y riguroso de las condiciones de contorno que rodean a la envolvente edificatoria, pasando al análisis a nivel microscópico de los fenómenos de transporte de humedad o al estudio pormenorizado de la interacción de la misma con los materiales y la definición matemática de las propiedades de los materiales de construcción y de los mecanismos de transporte de la humedad en los mismos, todos ellos son campos de investigación objeto de un fuerte desarrollo vigente.

Es necesario por lo tanto centrar la estrategia de trabajo utilizada en el presente trabajo doctoral, que obviamente no puede abarcar todos los ámbitos de la interacción de la humedad con la edificación.

Para ello, se ha priorizado la búsqueda de resultados que permitieran ser utilizados de forma inmediata, mejorando las prestaciones de nuestros edificios y la calidad de vida de las personas que en ellos moran.

El análisis del comportamiento concreto de un determinado material, como se ha indicado, únicamente tendría validez para la caracterización puntual de dicho material, pero no por ello serviría para establecer una mejora global, en los términos que se persiguen. Por su parte, la utilización de simulaciones de los procesos de transporte en los materiales, se ven igualmente condicionadas por la naturaleza de cada material concreto, y no permiten la caracterización integrada de todos los fenómenos que se desarrollan en el interior del mismo.

Es por lo tanto necesario abstraerse a un nivel general, macroscópico y de pragmatismo, si se pretenden alcanzar aportes al estado del conocimiento que permitan mejorar de forma tangible e inmediata la calidad de nuestras edificaciones.

Para ello, un primera paso necesario consiste en analizar aquellos aspecto mejorables actualmente existente en la definición de los elementos de la envolvente que permiten proteger los espacios interiores de la humedad. En dicha línea, se analizan en el próximo capítulo diferentes normativas de construcción internacionales, haciendo especial hincapié en la normativa actualmente vigente en nuestro país.

Analizado en todas ellas tanto el procedimiento seguido para evaluar las condiciones de solicitación sobre la envolvente del edificio, como los procedimientos de verificación empleados para garantizar las prestaciones de dicha envolvente, a lo largo de los capítulos IV y V se optimizan dichas estimaciones y procedimientos, aportando avances no solo para la normativa española, sino también relevantes en el ámbito internacional del estado del conocimiento.

Detectada igualmente en el análisis normativo español un aspecto mejorable relativo a la consideración de la temperatura y grado de humedecimiento de los cerramientos en nuestro país, el capítulo VI presenta una metodología capaz de corregir

dicho aspecto, determinando de forma más precisa el comportamiento higrotérmico real de los cerramientos.

Todo ello por lo tanto, permite, mediante aproximaciones siempre orientadas a una directa implementación normativa, establecer los aspectos básicos y fundamentales que han de permitir mejorar la calidad de los edificios en relación a su interacción con la humedad, soslayando la caracterización puntual y por lo tanto limitada, de los materiales que se disponen en los mismos y la utilización de teorías matemáticas de validez únicamente parcial.

En consecuencia, la estrategia de trabajo que se sigue a continuación en este trabajo hunde sus raíces en la misma naturaleza de la ingeniería, tratando de resolver con rigor e ingenio, problemas prácticos actualmente presentes, en este caso, relacionados con el diseño de nuestros cerramientos verticales frente a la humedad, todo ello desde un punto de vista pragmático y funcional.

II.8.- BIBLIOGRAFÍA Y APÉNDICES

- Abdou, A.A; Budaiwi, I.M. 2005. *Comparison of thermal conductivity measurements of building insulation materials under various operating temperatures*. Journal of Building Physics, 29 (2), 171.184.
- Adolphs, J., Setzer, M.J. 1996a. *A model to describe adsorption isotherms*. Journal of Colloid and Interface Science, 180, 70-76.
- Adolphs, J., Setzer, M.J. 1996b. *Energetic classification of adsorption isotherms*. Journal of Colloid and Interface Science, 184, 443-448.
- AEMET. 2011. *Atlas climático ibérico. Iberian climate atlas*. Madrid, SPA: Ministerio de Medio Ambiente y medio rural y Marino. ISBN: 978-84-7837-079-5.
- AENOR UNE 67027:1984. *Ladrillos de arcilla cocida. Determinación de la absorción de agua*.
- AENOR UNE-EN ISO 67029:1995 EX. *Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de fluorescencia*.
- AENOR UNE-EN ISO 4524-3:1996. *Recubrimientos metálicos. Métodos de ensayo de recubrimientos electrolíticos de oro y aleaciones de oro. Parte 3: Determinación electrográfica de la porosidad*.
- AENOR UNE-EN ISO 10545-3:1997. *Baldosas cerámicas. Parte 3: Determinación de la absorción de agua, de la porosidad abierta, de la densidad relativa aparente, y de la densidad aparente*.
- AENOR UNE-EN 12087:1997a. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a largo plazo por inmersión*.
- AENOR UNE-EN 12088:1997b. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a largo plazo por difusión*.
- AENOR UNE-EN 12091:1997c. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la resistencia a ciclos de congelación y descongelación*.
- AENOR UNE-EN ISO 10545-3:1997. 1997d. *Baldosas cerámicas. Parte 3: Determinación de la absorción de agua, de la porosidad abierta, de la densidad relativa aparente, y de la densidad aparente*.
- AENOR UNE-EN 1609:1997. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a corto plazo. Ensayo por inmersión parcial*.
- AENOR UNE-EN 1170-6:1998. *Productos prefabricados de hormigón. Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio. Parte 6: Determinación de la absorción de agua por inmersión y determinación de la densidad seca*.
- AENOR UNE-EN 12086:1998. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua*.
- AENOR UNE-EN 13755:2008. 2008a. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica*.
- AENOR UNE-EN ISO 12687:1998. 1998a. *Recubrimientos metálicos. Ensayos de porosidad. Ensayo a la flor de azufre por vía húmeda*.
- AENOR UNE-EN 772-7:1999. *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 7: Determinación de la absorción de agua por inmersión en agua hirviendo de piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería que sirven de barrera al agua por capilaridad*.

- AENOR UNE-EN 1925:1999. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad.*
- AENOR UNE-EN 772-4:1999. 1999a. *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 4: Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total de piezas de piedra natural para fábrica de albañilería.*
- AENOR UNE-EN ISO 9346:2009. 1999b. *Comportamiento higrotérmico de los edificios y de los materiales de construcción. Magnitudes físicas para la transferencia de masa. Vocabulario.*
- AENOR UNE-EN 12154:2000. *Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Requisitos y clasificación.*
- AENOR UNE-EN 12524:2000. 2000a. *Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores de diseño tabulados.*
- AENOR UNE-EN ISO 12571:2000. 2000b. *Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios. Determinación de las propiedades de sorción higroscópica.*
- AENOR UNE-EN 772-11:2001. *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería.*
- AENOR UNE-EN 12939:2001. *Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos espesos de alta y media resistencia térmica.*
- AENOR UNE-EN ISO 12572:2002. 2002c. *Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua.*
- AENOR UNE-EN 12667:2002. *Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos de alta y media resistencia térmica.*
- AENOR UNE-EN ISO 13788:2002. 2002a. *Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo.*
- AENOR UNE-EN 12865:2002. 2002b. *Comportamiento higrotérmico de componentes y elementos de edificación. Determinación de la resistencia al agua de lluvia de muros exteriores bajo impulsos de presión de aire.*
- AENOR UNE-EN 1015-18:2003. *Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 18: Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido.*
- AENOR UNE-EN ISO 15148:2003. 2003a. *Comportamiento higrotérmico de los materiales y productos de edificación. Determinación del coeficiente de absorción de agua por inmersión parcial.*
- AENOR UNE-EN 14617-1:2005. *Piedra aglomerada. Métodos de ensayo. Parte 1: Determinación de la densidad aparente y la absorción de agua.*
- AENOR UNE-EN 13755:2008. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica.*
- AENOR UNE-EN 83982:2008. *Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido. Método Fagerlund.*
- AENOR UNE-EN 12390-8:2009. 2009b. *Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión.*

- AENOR UNE-EN 12808-5:2009. *Materiales de rejuntado para baldosas cerámicas. Parte 5: Determinación de la absorción de agua.*
- AENOR UNE-EN 13162:2009. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana mineral (MW). Especificación.*
- AENOR UNE-EN 13163:2009. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno expandido (EPS). Especificación.*
- AENOR UNE-EN 13164:2009a. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno extruido (EXP). Especificación.*
- AENOR UNE-EN 13165:2009. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de espuma rígida de poliuretano (PUR). Especificación.*
- AENOR UNE-EN 13166:2009. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de espuma fenólica (PF). Especificación.*
- AENOR UNE-EN 13167:2009. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de vidrio celular (CG). Especificación.*
- AENOR UNE-EN 13168:2009. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana de madera (WW). Especificación.*
- AENOR UNE-EN 13169:2009. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de perlita expandida (EPB). Especificación.*
- AENOR UNE-EN 13170:2009. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de corcho expandido (ICB). Especificación.*
- AENOR UNE-EN 13171:2009. *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de fibra de madera (WF). Especificación.*
- AENOR UNE-EN 771-1:2011. 2011b. *Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Piezas de arcilla cocida.*
- AENOR UNE-EN 772-11:2011. 2011a. *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería.*
- AENOR UNE-EN ISO 15927-3:2011. *Comportamiento higrotérmico de edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 3: Cálculo de índice de lluvia para superficies verticales a partir de datos horarios de viento y de lluvia.*
- AENOR UNE-EN ISO 10456:2012. *Materiales y productos para la edificación. Procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño.*
- AIPEX. Asociación Ibérica de Poliestireno Extruido. 2011. <<http://www.aipex.es>> [Consulta: 26 de mayo de 2011]
- Aranda A, Zabalza I, Díaz S, Llera E. 2010. *Eficiencia energética en instalaciones y equipamiento de edificios.* Prensas universitarias de Zaragoza. ISBN: 978-92774-96-8.
- ASEFA. 2011. *Servicios. Patologías en la construcción.* <www.asefa.es> [Consulta: 27 de mayo de 2011]
- ASHRAE Standard 160P 2008. *Criteria for moisture control design analysis in buildings.*
- Basheer, P.A.M. Long, A.E. Montgomery, F.R. 1994. *An Interaction Model for Causes of Deterioration of Concrete.* Malhotra Symposium on Concrete Technology. San Francisco: American Concrete Institute, SP 144, p. 213-233.

- Beaulieu, P., Bomberg, M., Cornick, S., Dalglish, A., Desmarais, G., Djebbar, R., Kumaran, K., Lacasse, M., Lackey, J., Maref, W., Mukhopadhyaya, P., Nofal, M., Normandin, N., Nicholls, M., O'Connor, T., Quirt, D., Rousseau, M., Said, N., Swinton, M., Tariku, F., van Reenen, D. 2002. *Final Report from task 8 of MEWS Project (T8-03) – Hygrothermal response of exterior wall systems to climate loading: Methodology and interpretation of results for stucco, EIFS, Masonry and siding clad wood-frame walls*. National Research Council Canada.
- Birkeland, O. 1963. *Rain Penetration investigation: A Summary of the Findings of a CIB Working Commission on Rain Penetration*. Norwegian Building Research Institute, Report No. 36.
- Blocken, B. Carmeliet, J. 2000a. *Driving Rain on Building Envelopes I: Numerical estimation and Full-scale Experimental Verification*. Journal of Thermal Envelope and Building Science, 24 (1): 61-85.
- Blocken, B. Carmeliet, J. 2000b. *Driving Rain on Building Envelopes II: Representative experimental data for driving rain estimation*. Journal of Thermal Envelope and Building Science, 24 (2): 89-110.
- Blocken B, Carmeliet J. *A review of wind-driven rain research in building science*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2004; 92(13): 1079–130.
- Blocken, B. Carmeliet, J. 2006. *On the validity of the cosine projection in wind-driven rain calculations on buildings*. Building and Environment 41(9): 1182-1189.
- Blocken, B. Carmeliet, J. 2010. *Overview of three state-of-the-art wind-driven rain assessment models and comparison based on model theory*. Building and Environment, 45 (3): 691-703.
- Boucher, E.A. 1980. *Capillary phenomena: properties of systems with fluid/fluid interfaces*. Rep. Prog. Phys, 43: 497-546
- Boucher, E.A; Evans, M.J.B. 1980. *Properties of fluid bridges between solids in a gravitational field*. Journal of Colloid and Interface Science, 75: 409-418.
- BRE. 2007. *Designing quality buildings. A BRE guide*. Garston, GBR: BRE 487. ISBN 978-1-86081-899-8.
- Broto, C. 2005. *Enciclopedia Broto de patologías en la construcción*. Links International. ISBN: 978-84-96424-37-1
- Brunauer, S., Emmett, P.H., Teller, E. J. *Adsorption of Gases in Multimolecular Layers*. Journal of the American Chemical Society, 1938, 60: 309
- Burch D.M, Thomas W.C. Fanney A.H. 1992. *Water vapor permeability measurements of common building materials*, In: ASHRAE Transactions, No. 98, Vol. 2, 1992.
- Burch D.M, Chi J. 1997. *MOIST. A PC program for predicting heat and moisture transfer in building envelopes*, In: NIST Special Publication 917, Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 1997.
- Carman, P.C. 1956. *Flow of gases through porous media*. Butterworths Scientific Publications, 1956
- Catala, F. 1992. *Cálculo de Caudales en las redes de saneamiento*. Madrid, SPA: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Demarcación Centro. ISBN 84-600-7282-7.
- CEN EN 15026:2007. *Comportamiento higrotérmico de componentes de edificios y elementos constructivos. Evaluación de la transferencia de humedad mediante simulación numérica*.
- CEN EN ISO 15927-3:2009 *Hygrothermal performance of buildings — Calculation and presentation of climatic 7data Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data*.

- Chand, I. Bhargava, P.K. 2002. *Estimation of driving rain index for India*. Building and Environment, 37: 549-554.
- Choi, E.C.C. 1994a. *Determination of wind driven-rain intensity on building faces*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 51(1):55-69.
- Choi, E.C.C. 1994b. *Parameters affecting the intensity of wind-driven rain on the front face of a building*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 53(1-2):1-17.
- Choi, E.C.C. 1998. *Criteria for water penetration testing. Water leakage through building façades*. ASTM STP, 1314: 3-16.
- Cornick, S. Dalglish, W.A. 2003. *A Moisture index to characterize climates for building envelope design*. Journal of Thermal Envelope & Building Science, 27 (2): 151-178.
- Cornick, S. Lacasse, M.A.. 2005. *A review of climate loads relevant to assessing the watertightness performance of walls, windows and wall-window interfaces*. Journal of ASTM International, 2 (10): 1-16.
- Del Coz, J.J, Álvarez F.P, García P.J, Domínguez J, Rodríguez B, Pérez J.M, *Hygrothermal properties of green lightweight aggregate concrete: a new unified theory*. 2012. Submitted for publication.
- Davenport, A.G. Riera, J.D. 1998. *Wind Effects on Buildings and Structures*. Rotterdam, NED: A. A. Balkema Publishers. ISBN 90 5410 959 9.
- Díaz, M., Tenorio, J. 2005. *Pérdidas de calor y formación de condensaciones en los puentes térmicos de los edificios*. 1ª jornadas de investigación en Construcción. Madrid, SPA: AMIET, p.1131-1153.
- Escribano, J. 1994. *Siniestrabilidad arquitectónica. Casuística, sintomatología y resultados*. Bilbao, SP: Colegio Oficial de Arquitectos Vasco-Navarro. ISBN 84-87813-07-0.
- España. 1999. *Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación*.
- España. Ministerio de Vivienda. 2006. *Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*.
- Fagerlund, G. 1982. *On the capillarity of concrete*. Oslo, NOR: Nordic Concrete Research. Cement AB, Head Technical Development.
- Franzen, C; Mirwald, P.W. 2004. *Moisture content of natural stone: static and dynamic equilibrium with atmospheric humidity*. Environmental Geology 46, 391-401.
- Gavira, M.J.; Linares, M.P. 2005. *Comportamiento higratérmico de la envolvente del edificio según el CTE. Análisis de las condensaciones mediante el cálculo de la humedad relativa interior. Soluciones alternativas: sistemas de ventilación por caudal variable*. Madrid, SPA: Actas de las 1ª Jornadas de Investigación en construcción: 739-756.
- Geving, S. 1997. *A systematic method for hygrothermal analysis of building constructions using computer models*. Prague, CZE: IBPSA Conference Proceedings.
- Giarma, C. Aravantinos, D. 2011. *Estimation of building components' exposure to moisture in Greece based on wind, rainfall and other climatic data*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic, 99: 91-102.
- Gómez, I. 2006. *Caracterización higroscópica de materiales de construcción: Arcilla aligerada y picón*. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones de Bilbao. Universidad del País Vasco.
- Gumbel, E.J. 1958. *Statistics of extremes*. Columbia University Press, New York.
- Hall, C., Hoff W.D. 2011. *Water transport in brick, stone and concrete*. Spon Press. 2nd Edition. New York.

- Hoppestad S. *Slagregn i Norge* (Driving rain in Norway, in Norwegian). Norwegian Building Research Institute Report no. 13, Oslo: NBI; 1955.
- Hunter, A. 1996. *High performance flat roofs*. Structural Survey, 14 (3):22-26.
- IEETcc. 2010. *Catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación. Versión preliminar marzo 2010*. <www.codigotecnico.org/web/galerias/archivos/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf> [Consulta: 10 de junio de 2011]
- Inculet, D. Surry, D. 1995. *Simulation of Wind Driven Rain and Wetting Patterns on Buildings*. CMHC.
- Instituto Geográfico Nacional. 2005. *Atlas Nacional de España. Grupo 9. II Edición. Climatología*. <www2.ign.es/ane/ane1986-2008/> [Consulta: 04 de julio de 2011]
- Isidro, F. 2003. *Determinación de la expansión por humedad de los productos cerámicos empleados en elementos estructurales*. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
- Jelle, B.P. Lisø, K.R. 2003. *Driving rain – weather data and calculation methods*. Oslo, NOR: Norwegian Building Research Institute. Project Report 344.
- Krus, M. 1996. *Moisture transport and storage coefficients of porous mineral building materials. Theoretical principles and new test methods*. Stuttgart, GER: Fraunhofer IRB Verlag. ISBN 3-8167-4535-0.
- Krus, M; Holm, A. 1999. *Simple methods to approximate the liquid transport coefficients describing the absorption and drying process*. Göteborg, SWE: Proceedings of the V Symposium Building Physics in the Nordic Countries, 241-248.
- Kumaran M.K. 1994. *Moisture Control in Buildings*. In: ASTM Manual Series, Heinz R. Trechsel Editorial Series.
- Kumaran M.K.. 1996. *Heat, Air and Moisture Transport in Envelope Parts. Final 22 Report*. Leuven, BEL: Task 3 Material Properties, Internal report, IEA. ECBCS.
- Kumaran, M.K. Mukhopadhyaya, P. Cornick, S.M. Lacasse, M.A. Rousseau, M. Maref, W. Nofal, M. Quirt, J.D. Dalglish, W.A. 2003. *An Integrated methodology to develop moisture management strategies for exterior wall systems*. Vancouver, CAN: Proceedings of the 9th Canadian Conference on Building Science and Technology: 45-62.
- Künzel, H.M. 1994. *Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchte-transportes in Bauteilen mit einfachen Kennwerten*. Stuttgart, GER: Dissertation Universität Stuttgart.
- Künzel, H.M. 1995. *Simultaneous heat and moisture transport in building components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters*. Stuttgart, GER: Fraunhofer IRB Verlag. ISBN 3-8167-4103-7.
- Künzel, H.M; Tanaka, T. 2005. *Simulation der instationären Temperatur- und Feuchteverhältnisse in Bauteilen mit Hilfe des Modells WUFI*. Kenchiku Shiage Gijutsu, 30 (355): 49-60.
- Kvande, T. Lisø, K.R. 2009. *Climate adapted design of masonry structures*. Building and Environment, 44: 2442-2450.
- Langmuir, I. 1916. *The constitution and fundamental properties of solids and liquids. part I. solids*. Journal of the American Chemical Society 38, 2221-95.
- Lacy RE, Shellard HC. *An index of driving rain*. The Meteorological Magazine 1962; 91(1080):177-84.
- Linares, M.P., Tenorio, J.A. 2009. *La salubridad en el CTE. 2009*. Revista Conarquitectura, 32: 81-88.

- Little, J. 2010. *Breaking the Mould IV. Condensation risk analysis – the standards and the issues*. Construct Ireland, 11 (4).
- Lozano, A., Lozano, G., del Coz, J.J. 2006. *Curso síndrome, patología y terapéutica de las humedades*. 3ª edición. Lozano y Asociados. Consultores Técnicos de Cosntrucción s.l. Gijón: SPA.
- Ministerio de Fomento. 1999. *Máximas llluvias diarias en la España peninsular*. Madrid, SPA: Dirección General de Carreteras. Serie monografías.
- Ministerio de Fomento. 2012. *Información estadística de la construcción*. <www.fomento.gob.es/mfom/lang_castellano/Estadisticas_y_Publicaciones/Informacion_Estadistica/Construccion/ConstruccionEdificios/Lmo_Publicacion/default.htm>. [Consulta: 14 de Febrero de 2012]
- Monj6, J. 2006. *Humedades de filtraci6n en fachadas. Medidas de prevenci6n*. Madrid, SPA: IETcc – CSIC. XVII Curso de Estudios Mayores de la Construcci6n. La innovaci6n en las t6cnicas, los sistemas y los materiales de construcci6n. Vol. 1. ISBN 978-84-691-2405-5.
- Morrison Hershfield Limited. 1996. *Survey of building envelope failures in the coastal climate of British Columbia*. Canada Mortgage and Housing Corporation.
- P6rez, J.M., Dom6nguez, J., Rodr6guez, B., del Coz, J.J., Cano, E. 2012. *Estimation of the exposure of buildings to driving rain in Spain from daily wind and rain data*. Building and Environment 57: 259-270.
- Plescia, S. Lonescu, D. Simpson, B. 2008. *Wind-driven Rain Study in the Coastal Climate of British Columbia*. Burnaby, CAN: Building Science Centre of Excellence. Final Report.
- Rowell, et al. 1971. *Gas and vapour permeability: Surface flow through porous media*. Journal of Colloid and Interface Science 37(1): 242-246.
- Ruiz de Argandoña, et al. 2008. *Ensayo de capilaridad en areniscas monitorizado mediante tomograf6a computerizada de rayos X*. Estudio comparativo con m6todos convencionales. Materiales de Construcci6n, 58: 219-231.
- Rydock, J.P. Lis6, K.R. Eirik, B.D. F6rlandc, J. Norea, K. Thue, J.V. 2005. *A driving rain exposure index for Norway*. Building and Environment, 40: 1450–1458.
- Sahal, N. Lacasse, M.A. 2008. *Proposed method for calculating water penetration test parameters of wall assemblies as applied to Istanbul, Turkey*. Building and Environment, 43: 1250–1260.
- Sauer, P. 1987. *An annual driven rain index for China*. Building and Environment, 22: 239-240.
- Sanders, C. 2004. *Comparison of the ‘British Standard’ and ‘French’ methods for estimating driving rain impacts on walls*. Glasgow, GBR: IEA Annex 41.
- Straube, J., Burnett, E.F. 1997. *Rain Control and Screened Walls*. Toronto, CAN: Proceedings of the 7th CSCE Building Science and Technology Conference, 17-38.
- Straube, J.F. Burnett E.F.P. 2000. *Simplified prediction of driving rain on buildings*. In: Proceedings of the International Building Physics Conference. Eindhoven, HOL: Eindhoven University of Technology.
- Straube, J. 2010. *Simplified Prediction of Driving Rain on Buildings: ASHRAE 160P and WUFI 4.0. Building Science Digest, 148*. <www.buildingscience.com/documents/digests/bsd-148-wufi-simplified-driving-rain-prediction> [Consulta: 06 de julio de 2011]
- Thomson, W.T.. 1871. Phil. Mag. 42, 448 (1871)
- Trechsel, H. 1994. *Moisture control in buildings*. Philadelphia, USA: ASTM Manual Series. ISBN 0-8031-2051-6.

- Trechsel, H. 2001. *Moisture analysis and condensation control in building envelopes*. Philadelphia, USA: ASTM. ISBN 0-8031-2089-3.
- Wacker Chemie AG. 2011. *Water Silicones SILRES BS*. <www.wacker.com/cms/media/publications/downloads/6187_ES.pdf> [Consulta 15 de junio de 2011]
- Washburn E.W. 1921. *The Dynamics of Capillary Flow*. Physical Review 17 (3): 273
- Whittaker, S. 1969. *Advances in Theory of Fluid Motion in Porous Media*. Industrial and Engineering Chemistry, 61 (12): 14-28.
- WHO. 2011. *Environmental burden of disease associated with inadequate housing. Methods for quantifying health impacts of selected housing risks in the WHO European Region*. Copenhagen, DEN: World Health Organization.
- WMO. 1996. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. Geneva, SWZ: World Meteorological Organization. No. 8. ISBN 978-92-63-100085.
- WUFI. 2011. Software for calculating the coupled heat and moisture transfer in building components. www.wufi.de/index_e.html [Consulta de 25 de Noviembre de 2011]

ÍNDICE DE TABLAS

- | | | |
|--------------|--|---------------------|
| Tabla II.1 | Porcentaje de aparición de las humedades según su tipo. Fuente: Broto 2005. | Pág. III.-8 |
| Tabla II.2 | Caracterización del grado de eflorescencia de los ladrillos cerámicos de arcilla cocida según intensidad de eflorescencia aparecido y superficie afectada. Fuente: UNE 67029 EX, 1995. | Pág. III.-36 |
| Tabla II.3 | Corrosividad de los ambientes a los que puede estar sometida una estructura metálica. Fuente: Broto, 2005. | Pág. III.-38 |
| Tabla II.4 | Porcentaje de la siniestralidad por zonas, con respecto a la misma y a su totalidad, en función de la sintomatología detectada. Fuente: Escribano, 1994. | Pág. III.-53 |
| Tabla II.5 | Comparación de conductividad térmica en componentes habituales presentes en el espacio poroso en materiales de construcción. | Pág. III.-59 |
| Tabla II.6 | Condiciones posibles de condiciones para la referencian del valor declarado. Fuente: UNE-EN ISO 10456:2012. | Pág. III.-52 |
| Tabla II.7 | Algunas normas de referencia para la especificación de productos aislantes térmicos para aplicaciones en edificación y condiciones de determinación de la conductividad y resistencia térmica declarada. | Pág. III.-64 |
| Tabla II.8 | Ensayos de caracterización de la absorción de agua para una amplia gama de materiales de construcción. | Pág. III.-72 |
| Tabla II.9 | Datos de partida para la comparación del error posible en la caracterización de la conductividad térmica, derivado del contenido de humedad, para cuatro aislamientos térmicos. | Pág. III.-73 |
| Figura II.10 | Datos de partida para la comparación del error posible en la caracterización de la conductividad térmica, derivado de la temperatura, para cuatro aislamientos térmicos en 4 emplazamientos españoles representativos. | Pág. III.-74 |

Tabla II.11	Datos de temperaturas medias en el mes de enero en distintas localidades europeas, así como la aproximación a una temperatura media del cerramiento en tales circunstancias (supuesto interior a 20°C). Fuentes: Protiempo.es y CTE DB-HE1. Anejo G.	Pág. III.-76
Tabla II.12	Clases de higrometría interior y humedad relativa considerada por el CTE para el cálculo de ocurrencia de condensaciones intersticiales. En la gráfica se indica la variación de la humedad interior en función de las clases de higrometría y temperatura exterior. Fuente: UNE-EN ISO 13788:2002.	Pág. III.-82
Tabla II.13	Tabulación experimental de producción de humedad interior habitual, en función de tres rangos de actividad. Fuente: Gavira y Linares, 2005.	Pág. III.-83
Tabla II.14	Estimación simplificada de la producción de humedad en función por vivienda, en función del número de habitaciones u ocupantes. Debe añadirse 0,15·10-4 kg/s de humedad por cada elemento de hidromasaje existente en la vivienda. Fuente: ASHRAE 160.	Pág. III.-84
Tabla II.15	Magnitud de algunos periodos de retorno habitualmente empleados en el diseño de elementos o cuantificación de sus exigencias.	Pág. III.-96
Tabla II.16	Parámetros de ajuste para los tres modelos indicados en diferentes materiales de construcción.	Pág. III.-159
Tabla II.17	Propiedades capilares típicas del agua y mercurio, (utilizadas estas últimas en el ensayo de porosimetría de mercurio, anteriormente citado).	Pág. III.-162
Tabla II.18	La magnitud de las presiones capilares generadas en los poros es muy notable, alcanzando valores, para poros de reducido tamaño, muy superiores a los derivados de la acción de la gravedad.	Pág. III.-163
Tabla II.19	Relación existente definida por la ecuación de Kelvin entre humedad relativa del medio, radio crítico necesario para la condensación capilar y presión capilar generada en dicho poro. A bajas humedades relativas, únicamente los poros de menor tamaño, se ven afectados por condensación.	Pág. III.-165
Tabla II.20	La naturaleza porosa del material, marcará el grado de influencia de la gravedad en los procesos de capilaridad. Así por ejemplo, se estima el límite típico de afección del fenómeno de ascensión capilar desde el terreno, en 1,5 m (Broto, 2006), correspondiente a un radio de poro de $1 \cdot 10^{-5}$ m como media. En poros de menor tamaño, el tránsito de agua líquida puede considerarse como poco apreciable, a efectos patológicos.	Pág. III.-168
Tabla II.21	Tal y como se aprecia, únicamente en aquellos poros de mayor tamaño (mm o décima de mm), la influencia de la presión exterior puede considerarse como significativa en el avance por capilaridad del agua líquida. Como se verá más adelante, esta presión exterior aumentará su influencia en caso de que el material se encuentre completamente saturado (ausente de presión capilar).	Pág. III.-169
Tabla II.22.-	La inversión del ángulo de contacto en el poro, hace que se opongan a la ascensión del fluido de forma inversamente proporcional a como inicialmente la favorecían. Solo en poros de mayor tamaño, donde la presión capilar tiene menor relevancia, la presión externa puede producir cierta ascensión capilar. Una vez superada la capa superficial, la capilaridad se restablece en el interior.	Pág. III.-170

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura II.1 Aparición de condensaciones en aristas de las estancias por efecto de condiciones higrotérmicas inadecuadas en el cerramiento y deficiente ventilación interior. **Pág. III.-11**
- Figura II.2 Efecto de la inserción de una barrera de vapor en el interior de un muro, para evitar la condensación intersticial. Fuente: Broto, 2005. **Pág. III.-12**
- Figura II.3 Afección patológica en enlucido de yeso pintado en falso techo, como consecuencia de la rotura de una conducción de evacuación de aguas. **Pág. III.-13**
- Figura II.4 Manchas y desprendimientos de revestimientos ocasionados por la ascensión capilar de humedad contenida en el terreno a través de los materiales de la envolvente. **Pág. III.-14**
- Figura II.5 Soluciones correctas e incorrectas para facilitar la evaporación de la humedad ascendente de un muro de sótano: Broto, 2005. **Pág. III.-15**
- Figura II.6 Juntas de mortero de agarre en un muro de ladrillo a la vista y su comportamiento frente a la acción de la lluvia: Broto, 2005. **Pág. III.-17**
- Figura II.7 Interdependencia de las propiedades de permeabilidad del hormigón y su durabilidad. La manufactura del hormigón se refiere a sus constituyentes, métodos de preparación y tratamientos posteriores. Fuente: Basheer, 1994. **Pág. III.-18**
- Figura II.8 Desconchamiento de ladrillos por acción del congelamiento del agua contenida en los poros del material. Fuente: Broto, 2005. **Pág. III.-20**
- Figura II.9 Desprendimiento de revestimiento continuo exterior y erosión de fábrica de adobe como consecuencia de la acción continuada de humedad por precipitaciones atmosféricas. **Pág. III.-20**
- Figura II.10 Estado de saturación en la superficie rugosa de un antepecho, provocado por lluvia intensa e impacto de agua de lluvia sobre superficie saturada. **Pág. III.-22**
- Figura II.11 Lavado diferencial o “churretones” en fachada, como consecuencia del escurrimiento a baja velocidad de agua y carencia de goterón, desde una terraza superior. **Pág. III.-23**
- Figura II.12 Análisis del escurrimiento de agua a lo largo de un paramento vertical exterior. Fuente: Broto, 2005. **Pág. III.-23**
- Figura II.13 Deformaciones típicas en parquet en contacto con la humedad, como consecuencia de la deformación por incremento de volumen. **Pág. III.-24**
- Figura II.14 Estimación de la deformación debida a la acción de la temperatura y humedad en revestimientos exteriores de fachada. Fuente: Künzel y Tanaka, 2003. **Pág. III.-25**
- Figura II.15 Desplazamientos, roturas, abombamientos y colapsos de fábricas sometidas a variaciones de volumen periódicas por humedad. Fuente: Isidro, 2006. **Pág. III.-25**
- Figura II.16 Graves síndromes en la fachada de un edificio por asentamiento diferencial de la cimentación (izq.) y hundimiento de solera y conducciones de evacuación por el asentamiento de pilar, derivado de la rotura de una conducción de abastecimiento enterrada cercana (der.). **Pág. III.-26**
- Figura II.17 Oquedad desarrollada bajo cimentación de planta industrial en suelo kárstico del valle del Ebro. Detalle de cimentación carente de apoyo. **Pág. III.-26**

- Figura II.18 Fisuraciones y grietas de mayores dimensiones en muros de hormigón. **Pág. III.-28**
- Figura II.19 Desprendimiento de aplacado sobre soporte de fábrica en fachada y muro de hormigón. Deficiente adherencia en la interfaz entre mortero y revestimiento, a consecuencia del secado excesivo derivado de su ejecución en verano. **Pág. III.-29**
- Figura II.20 Desprendimiento de revestimiento continuo exterior y conservación del mismo en áreas bajo aleros y vierteaguas, por menor incidencia de la climatología atmosférica. **Pág. III.-30**
- Figura II.21 Ejecución de un revoco. Fuente: Broto, 2005. **Pág. III.-31**
- Figura II.22 Desarrollo de eflorescencias: 1, depósito de sales en el interior del poro; 2, Aumento del volumen por cristalización o hidratación; 3, Fracturación del cristal confinado; 4, Recristalización o hidratación de la sal y aumento de volumen; 5, Disgregación de la capa superficial del material por tensiones; 6, Acceso de la humedad patológica externa hacia nuevos poros. Fuente: ASEFA, 2011. **Pág. III.-32**
- Figura II.23 Aparición de eflorescencias en ladrillos. Es en las partes más expuestas de las obras de fábrica donde primero afloran las sales solubles: Broto, 2005. **Pág. III.-33**
- Figura II.24 El riego frecuente de la terraza posterior, arrastra las sales disueltas en el mortero de la fábrica, provocando eflorescencias a la altura del suelo en el muro de rampa de garaje. **Pág. III.-34**
- Figura II.25 Detalle de eflorescencias y procesos bioquímicos sobre albardilla cerámica en muro a la intemperie. **Pág. III.-35**
- Figura II.26 Eflorescencias derivadas del escurrimiento de agua fecal sobre fachada de ladrillo caravista y derivada de aguas cloradas en el forjado de soporte para una piscina. **Pág. III.-36**
- Figura II.27 Pueden establecerse diferentes umbrales para el desarrollo de mohos en base al tipo de sustrato, siendo más favorable para su desarrollo las bases orgánicas, maderas o maderas empapeladas. Fuente: Little, 2010. **Pág. III.-39**
- Figura II.28 Pudrición por efecto del ataque de hongos a la celulosa de la madera y galerías realizadas por la acción de insectos xilófagos en el mismo sustrato. **Pág. III.-40**
- Figura II.29 Porcentaje de viviendas sobre el total (25.000.000), según su año de construcción. La totalidad de las mismas puede considerarse proyectada previamente a la aprobación y aplicación del CTE. Fuente: Aranda et al, 2010. **Pág. III.-44**
- Figura II.30 Relación entre la sintomatología general registrada en los siniestros. Fuente: Escribano, 1994. **Pág. III.-46**
- Figura II.31 Zona de aparición de humedades en el interior de la edificación (%). Fuente: ASEFA, 2011. **Pág. III.-46**
- Figura II.32 Distribución de síndromes por naturaleza del cerramiento en Noruega. Ha de mencionarse que en España, las fachadas con estructuras de madera (timber), son prácticamente inexistentes. Fuente: Kvande y LisØ, 2009. **Pág. III.-47**
- Figura II.33 Principales causas de los defectos identificados en cerramientos exteriores. Fuente: Kvande y LisØ, 2009. **Pág. III.-48**
- Figura III.34 Proporcionalidad entre grupos de defectos imputados al proyecto, según sentencias judiciales. Fuente: Escribano, 1994. **Pág. III.-49**
- Figura II.35 Relación entre la sintomatología detectada en los siniestros cuya causa principal son los defectos del proyecto. Fuente: Escribano, 1994. **Pág. III.-50**

- Figura II.36 Porcentaje de los pagos efectuados por siniestros derivados de defectos del proyecto, en función de los síntomas detectados. Fuente: Escribano, 1994. **Pág. III.-51**
- Figura II.37 Relación entre la sintomatología detectada en los siniestros cuya causa principal son los defectos en la ejecución. Fuente: Escribano, 1994. **Pág. III.-51**
- Figura II.38 Porcentaje de pagos efectuados por siniestros derivados de defectos en la ejecución en función de los síntomas detectados. Fuente: Escribano, 1994. **Pág. III.-52**
- Figura II.39 Relación entre la sintomatología detectada en los siniestros cuya principal causa es el uso de la obra. Fuente: Escribano, 1994. **Pág. III.-52**
- Figura II.40 Relación entre la sintomatología detectada en los siniestros cuya causa principal corresponde a otros factores. Fuente: Escribano, 1994. **Pág. III.-53**
- Figura II.41 Requisitos básicos de la edificación recogidos por la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, con el fin de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente, mediante las prestaciones de los edificios. **Pág. III.-56**
- Figura II.42 Relación entre la conductividad térmica de diferentes materiales aislantes y su contenido de humedad a 10°C. Fuentes: AIPEX, 2011; Hunter, 1996. **Pág. III.-57**
- Figura II.43 Efecto de la humedad en la conductividad térmica de diferentes materiales (hormigón celular, lana mineral y poliestireno) y la incidencia de los acusados efectos de calor latente en la lana mineral. Fuente: Künzel y Tanaka, 2005. **Pág. III.-58**
- Figura II.44 Representación de la relación entre energía y temperatura para el agua en diferentes estados (sólido, líquido y gaseoso) y los calores latentes derivados de su cambio de fase. **Pág. III.-59**
- Figura II.45 Porcentaje habitual de reparto del balance de energía en un edificio. Fuente: Aranda et al, 2010. **Pág. III.-59**
- Figura II.46 Influencia de la densidad y la temperatura de trabajo en la conductividad térmica de materiales aislantes en edificación: Fibra de vidrio, Lana de roca, EPS y XPS. Fuente: Abdou y Budaiwi, 2005. **Pág. III.-61**
- Figura II.47 Extracto de la norma UNE-EN ISO 13164:2009 (AENOR, 2009), relativa a las condiciones en las que el fabricante debe declarar la resistencia y conductividad térmica. **Pág. III.-63**
- Figura II.48 Valor en información comercial para conductividad térmica declarada en poliestireno extruido gran formato. Fuente: URSA, 2011. **Pág. III.-63**
- Figura II.49 Como se aprecia, se aplica únicamente una conversión por humedad (FM=1,07) al producto, de donde se deduce que las condiciones declaradas establecidas por norma UNE-EN 10456:2012, corresponden al grupo de condiciones Ib. Fuente: IETTcc, 2011. **Pág. III.-65**
- Figura II.50 Como se aprecia, no se aplica conversión alguna por humedad al producto aislante térmico, a pesar de que no existe ninguna obligación de presentar el valor declarado en condiciones diferentes de las secas. Fuente: IETTcc, 2011. **Pág. III.-66**
- Figura II.51 Conductividad térmica (mw/mK) según contenido en humedad (% en volumen), para cuatro aislantes térmicos habituales, según norma EN ISO 10456:2001. Fuente: AIPEX, 2011. **Pág. III.-68**
- Figura II.52 Resultados del ensayo de absorción de agua por difusión, según UNE-EN 12088:1997 para productos aislantes térmicos convencionales (% en volumen). El elevado contenido de agua se debe a las condiciones cercanas a la saturación (100% HR) utilizadas. Fuente: AIPEX, 2011. **Pág. III.-69**

- Figura II.53 Resultados del ensayo de absorción de agua por inmersión, según UNE-EN 12087:1997 para productos aislantes térmicos convencionales (% en volumen). Los resultados para lanas minerales se han ensayado únicamente para un periodo de 48 horas. Fuente: AIPEX, 2011. **Pág. III.-70**
- Figura II.54 Resultados del ensayo de absorción de agua por ciclos de hielo-deshielo, según UNE-EN 12091:1997 para productos aislantes térmicos convencionales (% en volumen), tras ensayo de inmersión. Fuente: AIPEX, 2011. **Pág. III.-70**
- Figura II.55 Compendio de condiciones de ensayo a helicidad en el ámbito europeo. A pesar de variaciones en las condiciones de congelación y descongelación y en el número de ciclos de exposición, todos ellos siguen una metodología similar. **Pág. III.-71**
- Figura II.56 Relación entre el valor de conductividad declarado en condiciones secas y los valores extremos de conductividad determinados por el contenido de humedad máximo y mínimo obtenido en el ensayo UNE-EN 12087:1997, para cuatro aislamientos térmicos convencionales. **Pág. III.-73**
- Figura II.57 Evolución de la temperatura media mensual del cerramiento en emplazamientos españoles de meteorología opuesta, frente a la temperatura de referencia utilizada para la caracterización de su conductividad (10°C), a partir de los datos ofrecidos por el CTE DB-HE1 Anejo G. **Pág. III.-75**
- Figura II.58 Relación entre el valor fijo de conductividad declarado y los valores extremos de conductividad condicionados por las temperaturas en el cerramiento, para cuatro aislamientos térmicos convencionales y dos emplazamientos españoles de meteorología opuesta. **Pág. III.-75**
- Figura II.59 Parámetros más importantes de influencia en la variación de las condiciones de diseño del producto. **Pág. III.-79**
- Figura II.60 Incremento de presión de vapor o contenido de humedad en el aire en relación a la clase higrométrica del recinto interior considerado. Fuente: UNE-EN ISO 13788:2002. **Pág. III.-82**
- Figura II.61 Disposición geográfica de estaciones registradoras de temperatura (izq.) y red de estaciones pluviométricas en la península ibérica e Islas Baleares (der.). Fuente: AEMET, 2011. **Pág. III.-88**
- Figura II.62 Extracto de recopilación horaria de datos por la estación 9443U de Zaragoza (altitud 221m), el día 30 de junio de 2011, relativos a temperatura y humedad (arriba), viento, presión y precipitación. Fuente: AEMET. **Pág. III.-89**
- Figura II.63 Alteración producida en el campo de lluvia inmediato por parte de cada tipo de pluviómetro (WMO, 1996). **Pág. III.-90**
- Figura II.64 Ejemplo de pluviograma (izq.) o representación de cantidad de lluvia recogida por unidad de tiempo y de hietograma (der.) o representación de la intensidad de caída de lluvia en cada intervalo de tiempo analizado. La intensidad media de lluvia durante 90 min, es muy inferior a la intensidad media de lluvia durante 10 min, tal y como se desprende del hietograma. Fuente: Catala, 1992. **Pág. III.-92**
- Figura II.65 Recopilación de datos máximos de lluvia (precipitación recogida e intensidad), para el fenómeno en el periodo de retorno (izq.). A la derecha, representación gráfica de curvas IDF (Intensidad-duración-frecuencia), que permite obtener la intensidad máxima de un chubasco de duración conocida, en el periodo de retorno adoptado para el cálculo. **Pág. III.-93**
- Figura II.66 Representación de curvas isoyetas correspondientes a un periodo de retorno 10 años e intensidad de chubasco de 1 h para España (izq.) y mapa de Pmed y coeficientes de variación para la zona correspondiente al norte de Aragón, para el cálculo de la precipitación máxima diaria (der.). **Pág. III.-95**

- Figura II.67 La máxima precipitación sobre el cerramiento (wind driving rain) suele darse para magnitudes de viento (DRWP) intermedias o bajas, como la marcada en el gráfico o como indican los datos recogidos en la tabla adjunta para emplazamientos canadienses. Un menor tamaño de la gota de lluvia (asociado a menores precipitaciones), favorece su arrastre por el viento y mayor impacto sobre el cerramiento. Fuente: Cornick y Lacasse, 2005; Plescia, Lonescu y Simpson, 2008. **Pág. III-97**
- Figura II.68 Combinación de fuerzas de gravedad y fricción para modificar la trayectoria de caída de la gota de agua (izq.); resultante de lluvia sobre la fachada vertical (centro) y rosa de vientos anual en una localización concreta (Punta Paloma)(der.). Fuente: Straube, 2010 y Blocken y Carmeliet, 2004. **Pág. III-98**
- Figura II.69 Estimación del factor multiplicador de velocidad de viento de la norma ASCE/SEI 7-10 “Minimum Design Loads of Buildings and Other Structures”, de la Asociación Americana de Ingenieros Civiles, sin considerar la topografía del terreno circundante al edificio. Fuente: Straube, 2010. **Pág. III-106**
- Figura II.70 Estimación del factor W (RDF para algunos autores), para algunas geometrías simples de edificio, en base a estimaciones experimentales, de ensayo y de simulación. No toda la fachada, recibe la misma precipitación durante un episodio de lluvia. Fuente: Straube, 2010. **Pág. III-107**
- Figura II.71 Estimación del factor W (en valor medio y según posición), para geometrías simples de edificio, en base a estimaciones experimentales, de ensayo y de simulación aportados por las normas BS 8104:1992 y UNE-EN ISO 15927-3:2011. **Pág. III-107**
- Figura II.72 Simulación informática para el flujo de viento en el entorno de un edificio y su relación de velocidad respecto de la registrada a una altura respecto de la rasante de 10 m realizada por Blocken y Carmeliet. **Pág. III-108**
- Figura II.73 Resultados de simulaciones realizadas para flujos de viento en el entorno de edificios, para la estimación de velocidades de viento y factores de incidencia como el presentado (W). Las simulaciones numéricas no obstante, conllevan un elevado esfuerzo técnico y de desarrollo, no viable para textos normativos o la práctica diaria del proyectista. Fuente: Choi, 1994. **Pág. III-108**
- Figura II.74 Algunos datos climáticos mensuales referentes a capitales de provincia para el cálculo de condensaciones interiores, según serie de datos correspondiente al periodo 1971-2000. Fuente: España, 2006. **Pág. III-111**
- Figura II.75 Composición del medio poroso con convivencia de tres fases de la materia; sólida en la matriz del material; líquida y gaseosa en el interior del medio poroso. La fase gaseosa por su parte se estima compuesta por una mezcla ideal de aire seco y vapor de agua. La proporción de fase sólida depende del material, mientras que la de fase líquida y gaseosa, de las condiciones ambientales. **Pág. III-114**
- Figura II.76 Imagen al microscopio de alta resolución de pasta de cemento hidratada (izq.) con su compleja estructura imposible de discretizar. A la derecha, a una escala de 2·10⁻⁷ m, puede observarse la estructura porosa del cemento fraguado, igualmente inabordable. **Pág. III-114**
- Figura II.77 Heterogeneidad a nivel microscópico (μm) obtenida por microscopía (izq.) y heterogeneidades a nivel macroscópico, observables a simple vista (der), para dos ejemplos de un mismo material cemento. El estudio a ninguna de las dos escalas es abordable sin una necesaria simplificación. **Pág. III-115**
- Figura II.78 Siempre y cuando la heterogeneidad microscópica siga un patrón definido por su colocación o manufactura, será posible su simulación mediante cálculo numérico e inclusión dentro del sistema calculado. Grietas y otros defectos macroscópicos aleatorios, deberán ser evitados en la medida de lo posible mediante una adecuada ejecución y puesta en obra de los materiales. **Pág. III-116**

- Figura II.79 Al incrementar el tamaño de la muestra representativa, las propiedades del medio se promedian y armonizan, hasta un punto en el que la existencia en la muestra de irregularidades macroscópicas, vuelven a alterar los valores medios de las mismas. Fuente: Gómez, 2006. **Pág. III.-117**
- Figura II.80 Proceso de humedecimiento en poros: a) difusión de vapor, b) adsorción mono y multicapa, c) condensación capilar, d) flujo capilar y difusión de vapor, e) flujo capilar en material no saturado, f) material saturado. Fuente: Franzen y Mirwald, 2004. **Pág. III.-119**
- Figura II.81 La tortuosidad de los recorridos en el sistema poroso disminuye la eficiencia de la difusión respecto a las condiciones ideales (derecha). Del mismo modo, la efusión en poros de reducido tamaño (a), interfiere en los procesos de difusión respecto a las condiciones no limitadas ideales (b). **Pág. III.-120**
- Figura II.82 El gradiente de difusión se establece según la diferencia de concentración de moléculas de vapor existente. En los dos primeros casos (izq.), la humedad se traslada por difusión al interior del material, con un diferente gradiente. En el tercer caso (der.), es el material quien cede humedad a un ambiente seco. **Pág. III.-121**
- Figura II.83 Representación esquemática del fenómeno combinado de difusión superficial y de vapor. Las moléculas en las capas superficiales, tienden a homogeneizar su espesor en todo el poro. Fuente: Rowell et al, 1971. **Pág. III.-122**
- Figura II.84 La difusión superficial puede darse simultáneamente en sentido contrario a la difusión de vapor. Mientras que el potencial para la difusión de vapor (1), es la presión de vapor, para la difusión superficial (2), es la humedad relativa. Es por ello, que en condiciones de gradiente térmico, el sentido de ambos desplazamientos puede ser opuesto. Fuente: AENOR, 2002a. **Pág. III.-123**
- Figura II.85 La eficiencia de la difusión del vapor se ve reducida por sucesivos efectos como la condensación capilar (a), tortuosidad de los recorridos en el medio poroso (b), interacción con las paredes del poro (c) y reducción de la sección de paso por adsorción mono y multicapa. **Pág. III.-124**
- Figura II.86 La incapacidad del menisco para seguir creciendo en el poro de mayor tamaño (radio de curvatura demasiado amplio), propicia que las moléculas de humedad pasen a estado gaseoso y se desplacen de nuevo mediante mecanismos de difusión. Similar efecto se da en a), actuando el poro como una isla de agua en la difusión, en tanto en cuanto, la humedad no se vea incrementada. **Pág. III.-126**
- Figura II.87 Superficie tratada mediante emulsión siliconada hidrofugante a), mediante líquido colmatador de poros b), mediante película de poro cerrado c). Comparación de ángulo de contacto al agua, en superficie tratada (material hidrófobo) y sin tratar (material hidrófilo). Fuente: Wacker Chemie AG, 2011. **Pág. III.-128**
- Figura II.88 El transporte de vapor por difusión hacia el interior del poro de mayor tamaño ha quedado interrumpido por los meniscos de agua líquida creados en los poros que le rodean. El aire contenido, deberá ser eliminado progresivamente del sistema, mediante su disolución en el líquido. **Pág. III.-130**
- Figura II.89 En estado de saturación, la presión capilar en los poros desaparece y la acción de gravedad, viento y presión, permiten el desplazamiento de agua en el sistema. La evaporación en los capilares abiertos a un ambiente seco, permite igualmente el flujo de agua hacia los mismos (der.). **Pág. III.-131**
- Figura II.90 Proceso de secado en poros: a) flujo capilar; evaporación superficial en poros abiertos, b) flujo capilar y difusión de vapor; eliminación de condensaciones capilares en poros de gran tamaño, c) difusión de vapor; eliminación de condensación capilar en los poros más pequeños, d) desorción mono y multicapa; reducción de las capas adheridas y secado completo. **Pág. III.-132**

- Figura II.91 Representación de isotérmicas de absorción-desorción para un mismo material. Fijada una temperatura constante, el material se ve sometido a un lento proceso de humedecimiento, incrementando la humedad relativa ambiental (a). Llegado a un estado de saturación, el proceso se invierte (b), identificándose dos valores de agua contenida para un mismo valor de humedad relativa. La magnitud de esta histéresis depende de cada material, pudiendo llegar a ser despreciable en algunos. **Pág. III.-133**
- Figura II.92 El mantenimiento del menisco en los poros menores, provoca que en poros mayores como el mostrado en la figura, el agua líquida se mantenga hasta humedades relativas muy bajas. **Pág. III.-133**
- Figura II.93 El diferente ángulo de contacto en la interfaz sólido-líquido para una gota de agua en avance y retroceso, contribuye a magnificar la histéresis presentada en la curva de almacenamiento de humedad. **Pág. III.-134**
- Figura II.94 Extracto de características atribuibles a algunos materiales de construcción pétreos típicos, incluida su densidad aparente, para condiciones de diseño del CTE. Fuente: IETcc, 2010. **Pág. III.-136**
- Figura II.95 Composición de un material poroso típico. Matriz sólida (oscuro), porosidad cerrada (gris) y porosidad abierta (blanco). Solo la porosidad abierta está sometida a la acción de la humedad exterior, supuesto una matriz sólida inerte a la acción exterior. **Pág. III.-137**
- Figura II.96 Ejemplo de representación de curva de porosidad. Fuente: Gómez, 2006. **Pág. III.-138**
- Figura II.97 Fases típicas para la realización de ensayo de porosimetría de mercurio y representación esquemática del progresivo llenado de los poros al incrementar la presión. Fuente: WUFI, 2011. **Pág. III.-139**
- Figura II.98 Diferentes estados de saturación en un material poroso típico: completa a la izquierda, parcial a la derecha. Matriz sólida (oscuro), porosidad cerrada (gris), porosidad abierta (blanco) y porosidad saturada de agua líquida (negro). **Pág. III.-141**
- Figura II.99 Curva típica de la absorción de agua por capilaridad en el hormigón endurecido, con la identificación de los dos estados y fenómenos de absorción. Fuente: UNE-EN 83982:2008. **Pág. III.-143**
- Figura II.100 Representación de puntos en el desarrollo del ensayo de absorción capilar; pendiente constante, con repentina disminución final (llegada del líquido a la capa opuesta del material) (arriba). Fuente: AENOR, 2003a. **Pág. III.-144**
- Figura II.101 Representación de diferentes ensayos para determinación del coeficiente de absorción de agua para materiales habituales en contracción. Los valores oscilan desde $0,15 \text{ kg/m}^2\text{h}^{1/2}$ para hormigón para puentes y $11,5 \text{ kg/m}^2\text{h}^{1/2}$ para ladrillos. Fuente: Wacker Chemie AG, 2011. **Pág. III.-144**
- Figura II.102 Comparación de representación de curva para coeficiente de penetración de agua obtenido mediante tomografía de rayos X (TAC) y método tradicional asociado al ensayo de coeficiente de absorción de agua, para areniscas. Fuente: Ruiz de Argandoña et al., 2008. **Pág. III.-146**
- Figura II.103 Valores típicos de contenido de humedad crítico según UNE-EN ISO 13788:2002. **Pág. III.-147**
- Figura II.104 El factor de resistencia al paso de vapor se va reduciendo al aumentar la saturación del material (y por lo tanto el número de poros obstruidos por su contenido en agua líquida). La resistencia al paso de vapor de agua del material, va creciendo consecuentemente. **Pág. III.-151**

- Figura II.105 Valores tabulados para el coeficiente de resistencia a la difusión de vapor μ , para diferentes materiales y productos de construcción. Nótese la especificación relativa a calor específico y al diferente factor de resistencia a la difusión de humedad según su humedad. Fuente: AENOR, 2000. **Pág. III.-152**
- Figura II.106 Representación esquemática de una curva de sorción isotérmica y de los parámetros higroscópicos más relevantes del material poroso. Fuente: WUFI, 2011. **Pág. III.-156**
- Figura II.107 Representación esquemática de una isoterma de sorción. Representación del efecto de histéresis entre la isoterma de sorción y desorción. Fuente: Krus, 1996. **Pág. III.-157**
- Figura II.108 Representación típica para las curvas de sorción de materiales escasamente higroscópicos (ladrillo), moderadamente higroscópicos (hormigón) y muy higroscópicos (madera). Los valores en la franja oscura para altos contenidos de humedad se determinarían mediante ensayo de retención de humedad. Fuente: WUFI, 2011. **Pág. III.-160**
- Figura II.109 Imagen de alta resolución de una sección de sistema poroso sometido a la acción de la humedad, en la que se observan diferentes fenómenos de almacenamiento y transporte de humedad. Fuente: Gómez, 2006. **Pág. III.-161**
- Figura II.110 Esquema de fuerzas de adhesión-cohesión que dan lugar a la tensión superficial en el líquido. A la izquierda, el líquido “moja” el poro debido a la mayor magnitud de las fuerzas de adhesión con el poro (agua). A la derecha, el líquido “no moja”, el material, por la elevada magnitud de las fuerzas de cohesión (mercurio). **Pág. III.-161**
- Figura II.111 Representación esquemática de las fuerzas y presiones actuantes en el equilibrio de un menisco de líquido en el medio poroso. **Pág. III.-162**
- Figura II.112 Representación convencional del diagrama de fases para gases ideales. El incremento puntual de la presión en el gas, en el entorno del menisco puede producir un cambio de fase en el mismo, aun cuando las condiciones generales del gas en el medio poroso, no alcancen el cambio de fase. **Pág. III.-163**
- Figura II.113 Durante el estadio inicial del contacto con el agua superficial, el estado no se encuentra en equilibrio de fuerzas, dado que la tensión superficial necesaria no se encuentra alineada con la curvatura de menisco alguno. Rápidamente, el agua penetrará en el poro y adoptará la forma necesaria para el equilibrio. **Pág. III.-166**
- Figura II.114 Una vez establecido el equilibrio de fuerzas por la curvatura del menisco, este avanzará en el poro si se mantiene el aporte de agua superficial exterior y hasta que el tamaño del poro fuera lo suficientemente grande como para no poder mantener la estabilidad del menisco (Ec. de Kelvin). **Pág. III.-167**
- Figura II.115 La diferencia de presión gas-líquido que la curvatura del menisco (por tensión superficial), genera en el poro, induce un gradiente de presión en el líquido, que tiende a penetrar en hacia el interior del poro (menor presión en el poro). **Pág. III.-168**
- Figura II.116 A largo plazo, la absorción de agua del ladrillo hidrofugado, apenas será algo inferior a la de un ladrillo típico. No obstante, rara vez se mantiene durante horas la presencia de agua líquida en la superficie del material de cerramiento. **Pág. III.-170**

CAPÍTULO III

MARCO NORMATIVO DE LA PROTECCIÓN FRENTE A LA HUMEDAD EN LA EDIFICACIÓN

III.1.- Introducción	III.-2
III.2.- Enfoque normativo prestacional	III.-5
III.2.1.- Aproximación española a un código de construcción prestacional	III.-6
III.3.- Normativa española	III.-20
III.3.1.- Exigencias básicas	III.-20
III.3.2.- Estimación de la sollicitación y soluciones aceptadas en DB-HS 1	III.-24
III.3.3.- Validación de la sollicitación sobre fachadas	III.-42
III.3.4.- Validación de las soluciones aceptadas para fachadas	III.-46
III.3.5.- Métodos de verificación en DB-HE 1	III.-50
III.3.6.- Normas de caracterización complementarias	III.-64
III.4.- Marco normativo internacional	III.-88
III.4.1.- Marco normativo británico	III.-89
III.4.3.- Marco normativo estadounidense	III.-103
III.4.4.- Marco normativo canadiense	III.-112
III.5.- Comentario al análisis normativo realizado	III.-124
III.6.- Bibliografía y apéndices	III.-128

III.1.- INTRODUCCIÓN

La necesidad de obtener una adecuada protección frente a la humedad, ha llevado a la inclusión de este requisito básico en la nueva configuración normativa española en materia de edificación. Así, a pesar de que antes de 2006 este punto no había sido abordado por ninguna norma (salvo para la impermeabilización de cubiertas bituminosas mediante la norma NBE-Q 1990), desde ese año y con la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación, el diseño de los edificios españoles debe cumplir este requisito básico.

Este citado requisito básico se define por la norma española en su apartado 13.1, Parte I, como:

“Limitación del riesgo previsible de presencia inadecuada de agua o humedad en el interior de los edificios y en sus cerramientos como consecuencia del agua procedente de precipitaciones atmosféricas, de escorrentías, del terreno o de condensaciones, disponiendo de medios que impidan su penetración”.

No obstante y aun a pesar de su definición unitaria, tanto la norma española como otras normativas internacionales, coinciden en diferenciar dentro de esta protección frente a la humedad, dos aspectos independientes, cuyo cumplimiento se caracteriza mediante soluciones y planteamientos diferentes: la penetración de agua en estado líquido a través del cerramiento y la aparición de condensaciones debidas al transporte de humedad en estado gaseoso.

Mientras que la primera se aborda disponiendo los revestimientos exteriores necesarios para evitar la penetración de agua a través de los cerramientos, muros, suelos y cubiertas del edificio, la segunda se relaciona con la existencia de unas condiciones térmicas que eviten la saturación por vapor del aire que transita a través del medio poroso conformado por los materiales de edificación.

Si bien en este capítulo se analizan los requerimientos normativos relacionados con ambas orientaciones, será el primero el que centrará la mayor parte del trabajo de esta Tesis Doctoral (como ya se ha podido observar a lo largo del Capítulo II), por ser también el menos desarrollado por la normativa y el de cumplimiento menos óptimo y prestacional.

A este respecto, en el primer apartado de este capítulo se analiza la diferencia teórica existente entre los procedimientos prestacionales y prescriptivos, determinando el ámbito normativo en el que se encuentra el Código Técnico de la Edificación. Se analizan someramente las dificultades de implantación de una normativa enteramente prestacional existentes en nuestro país.

También son estudiados los mecanismos articulados por el CTE para el cumplimiento de cualquier requisito básico o exigencia, analizando el grado de prestacionalidad de cada una de las alternativas disponibles.

Por último se identifican los factores básicos teóricos que deben ser satisfechos para que el cumplimiento de la protección frente a la penetración de agua, pueda obtenerse mediante un procedimiento prestacional.

En una segunda parte de este capítulo, se analizan pormenorizadamente todos los aspectos que definen a la normativa española en materia de protección frente a la humedad, valorando tanto los parámetros utilizados para valorar la exigencia, como los mecanismos articulados para enfrentarse a la misma.

El análisis se desarrolla para las dos aproximaciones mencionadas (penetración de agua líquida y condensación de agua en estado vapor), si bien será el ámbito concreto de penetración de agua en estado líquido el más profusamente estudiado.

A pesar de que se analizan ambos aspectos, el estudio se va a centrar fundamentalmente sobre el riesgo de penetración de agua, dado que la condensación de agua puede evaluarse en la actualidad mediante procedimientos parcialmente prestacionales, a diferencia del anterior aspecto. También, el ámbito de trabajo se va a referir únicamente a los cerramientos verticales, ya que estos elementos a diferencia de otros de la envolvente, no cuentan con materiales impermeabilizantes capaces de hacer frente a este riesgo.

Mientras que cubiertas, suelos o muros en contacto con el terreno, se ven caracterizados por contactos con el agua que pueden llegar a ser continuados, los cerramientos se ven sometidos a situaciones de exposición puntuales, que pueden llegar a permitir la penetración de agua, pero que no justifican la disposición de tales materiales impermeabilizantes. Por ello también son más vulnerables a la penetración de agua, cuando se dan condiciones atmosféricas que aportan elevadas cantidades de agua y presión eólica sobre la fachada.

De este análisis de la normativa vigente se desprenderá la falta de rigor y objetividad presentes en la norma, lo que hace que la misma no permita cumplir con su fin último, el aseguramiento de una reducción asumible del riesgo de penetración de agua al interior del edificio.

Para realizar este análisis crítico, no será necesaria la utilización de ninguna herramienta o procedimiento sofisticado: el mero sentido común y el estado del conocimiento plasmado en el capítulo anterior, bastarán para identificar claramente las deficiencias existentes y para plasmar, en posteriores capítulos, las medidas correctoras necesarias.

Se analizan finalmente otras normativas vigentes de interés, que si bien no son de obligado cumplimiento, sí tienen influencia sobre la regulación recogida por el CTE o son de indudable interés para el desarrollo de alternativas prestacionales a estos procedimientos normativos en posteriores capítulos de este trabajo.

En cualquier caso, la regulación normativa de la prestación frente a la penetración de humedad, se enfrenta a severas limitaciones derivadas del estado del conocimiento en materia de transferencia de humedad.

La dependencia del transporte de humedad respecto a multitud de parámetros ya someramente expuestos a lo largo de los capítulos II.5 y II.6 como la porosidad del material, la forma de dicha porosidad, el estado de saturación, el ángulo de contacto entre el agua y los materiales, la presión capilar, la temperatura, la histéresis existente, los diferentes mecanismos de transporte que se solapan, superponen y producen en el interior de la matriz del material... hace que no exista un modelo unitario para describir dicho transporte.

Así pues, aun definidas unas condiciones de solicitud adecuadas, cualquier posible descripción del proceso de transporte empleado conllevaría la utilización de importantes simplificaciones e indeterminaciones, que limitarían gravemente la validez de los resultados obtenidos.

Todo ello hace que ninguna normativa internacional asuma en su articulado un procedimiento concreto para evaluar el cumplimiento de la protección frente a la humedad de forma prestacional, recurriendo todas ellas a la obligación prescriptiva de disponer determinadas soluciones constructivas en los cerramientos, determinadas a priori según las solicitudes previstas.

Dado que estas soluciones prescritas se basan en la tradición constructiva de cada país, se definen en base a procedimientos de ensayo reales diferentes y se refieren a materiales y condiciones de exposición diferentes, es totalmente imposible establecer comparaciones objetivas entre las soluciones técnicas propuestas por cada normativa internacional.

Del mismo modo, resulta imposible establecer qué grado de cumplimiento del requisito básico tendrá una determinada solución constructiva en otro país, puesto que la misma se ha diseñado sin atender a un procedimiento científico unitario, objetivo y válido para cualquier situación, sino de una forma aproximada, tradicional y conservadora.

Aun a pesar de estas limitaciones, en el último apartado de este capítulo se intenta realizar una comparación entre diferentes normativas internacionales, no comparando las soluciones concretas propuestas por cada una de ellas (lo que daría lugar a una casuística casi infinita), sino los parámetros fundamentales en base a los cuales se organiza cada normativa. Tal y como se apreciará, todas ellas obedecen a unos parámetros comunes prácticamente constantes, si bien en algunos ámbitos nacionales se han desarrollado algunas peculiaridades interesantes a este respecto.

III.2.- ENFOQUE NORMATIVO PRESTACIONAL

Dentro de los marcos normativos de construcción actuales, dos enfoques diferenciados determinan la redacción y estructuración de los documentos que se asocian a las mismas. En primer lugar, el enfoque prescriptivo se orienta a concretar las condiciones que el elemento regulado debe cumplir.

Por otro lado, el enfoque prestacional se orienta a establecer el nivel de funcionalidad o seguridad que el producto debe alcanzar, dando libertad al técnico para alcanzarlo con las condiciones que se estimen idóneas, sin fijar predeterminadamente las mismas de forma concreta.

Los códigos prescriptivos, dada su rigidez y desarrollo pormenorizado, adquieren extensiones importantes pero aun así, se ven sometidos a problemas de aplicación en supuestos no contemplados específicamente en el articulado. Un buen ejemplo de estas normas son los códigos relacionados con la protección frente al fuego, donde resulta difícil establecer una aproximación enteramente prescriptiva de todas las posibles situaciones que pueden producirse (Pérez, 2011).

En la actualidad es difícil encontrar marcos normativos puramente prescriptivos o prestacionales, siendo la opción más frecuente una hibridación de ambos enfoques, condicionada por el desarrollo de la técnica y el conocimiento, la preexistencia de normativas anteriores y la singularidad del proyecto.

Así una norma puramente prescriptiva, debería recoger, analizar y regular todas las casuísticas posibles que pudieran darse, lo que en muchas ocasiones, supone una tarea simplemente inabordable y que puede conllevar el desarrollo de normas de gran complejidad y extensión, difícilmente aplicables. El uso continuado de soluciones sancionadas por la experiencia y la práctica, a su vez, desalienta la innovación en la materia objeto de regulación, repercutiendo en la obsolescencia de la industria nacional.

Por otro lado, una norma puramente prestacional se ve siempre condicionada por los mecanismos disponibles para acreditar el nivel de funcionalidad o de seguridad que el producto ha logrado alcanzar. Estos mecanismos con frecuencia no están disponibles para los técnicos proyectistas, su utilización esa sometida a apreciaciones subjetivas o simplemente, todavía no se han desarrollado técnica o científicamente, limitando la prestacionalidad efectiva.

Por ello internacionalmente se tiende al desarrollo de normativas híbridas, que no obstante tratan de primar el enfoque prestacional, por considerarlo más beneficioso para el desarrollo de soluciones innovadoras y por dotar de libertad al técnico proyectista, en contraposición con el periodo anterior regido por normativas casi puramente prescriptivas.

La normativa en edificación tradicionalmente se ha basado en procedimientos aceptados o guías técnicas de carácter obligatorio y prescriptivo. Tal es el caso de la mayor parte de las Normas Básicas de la Edificación (NBE) vigentes desde el año 1977 (Real Decreto 1650/1977) hasta el año 2006 en nuestro país y de las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) que las complementaban, así como el de las normas MV previas, ya introducidas por el ministerio de vivienda en 1957.

En el contexto actual, este planteamiento prescriptivo en el ámbito de la construcción es considerado como una barrera a la innovación y al desarrollo

tecnológico, considerándose más eficiente la definición de exigencias genéricas, no ligadas en su cumplimiento al uso de un determinado material, producto o solución constructiva concreta. Es por ello que todas las normativas prestacionales están sufriendo un proceso de transformación, orientado hacia una mayor prestacionalidad, auspiciado y promovido, en el caso europeo, de forma global en todos los países miembros.

III.2.1.- APROXIMACIÓN ESPAÑOLA A UN CÓDIGO DE CONSTRUCCIÓN PRESTACIONAL

Este enfoque prestacional pretendido surge como respuesta al desarrollo de tecnologías más complejas, a la globalización de los procesos y diseños y a la formación más especializada de los profesionales en todos los campos del conocimiento, lo que aporta las herramientas, metodologías y especialización necesarias para acotar las limitaciones de los códigos prescriptivos. Basándose en este planteamiento, el enfoque prestacional exige a todos los participantes, proyectistas, administraciones de control, fabricantes, operarios... una mayor formación y especialización acorde a los tiempos actuales.

Pioneros en este enfoque innovador fueron los países nórdicos, desarrollando códigos prestacionales que pretenden afrontar el diseño de soluciones de una forma óptima, no encorsetada por la práctica habitual. Progresivamente, este enfoque se ha ido extendiendo a otros países avanzados, como Dinamarca, Canadá, Estados Unidos, Japón, Reino Unido, Francia, Holanda, Nueva Zelanda, Australia y desde el año 2006 a España, dentro del marco de normalización normativa europeo.

Estos códigos de enfoque prestacional, se implantan con el objetivo de impulsar en los países que los adoptan, una mayor innovación industrial, una mayor armonización internacional y una mayor adecuación a la especificidad de cada proyecto, fomentando la optimización de recursos. Para ello, su planteamiento nace de la identificación y descripción concreta de la exigencia que se pretende satisfacer, así como de los fundamentos científicos sobre la que se sustenta.

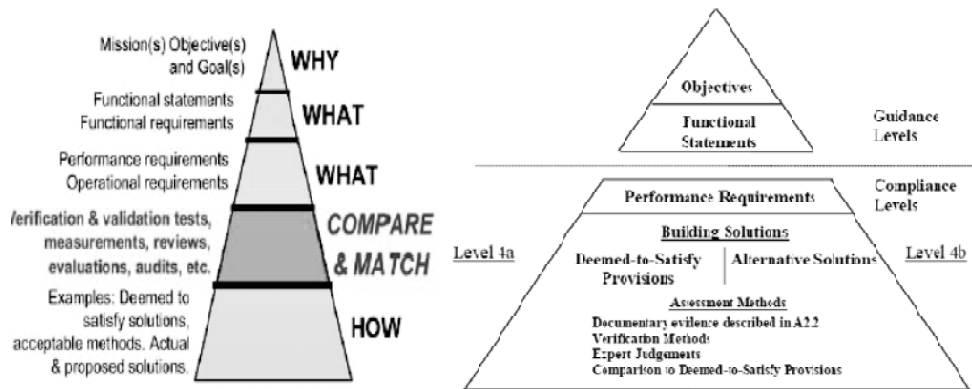


Figura III.1.- Organización metodológica similar entre los códigos prestacionales nórdicos (izq.) y australiano (der.). En ambos se identifican objetivos y exigencias y los mecanismos para satisfacerlos. Fuente: Serra, 2007.

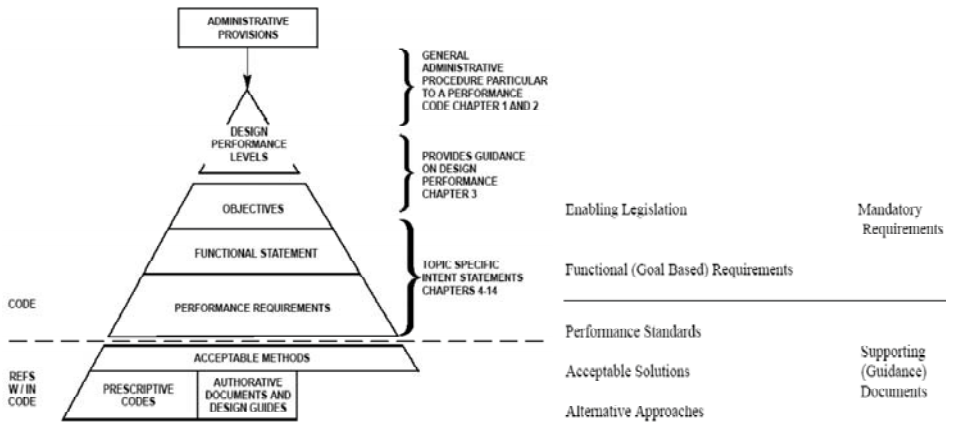


Figura III.2.- Similares organizaciones metodológicas, pueden encontrarse igualmente en códigos norteamericanos (izq.) y británicos (der.), legitimando la uniformidad internacional del enfoque.

Fuente: Serra, 2007.

Con el objetivo de centrar el ámbito de investigación de este trabajo, se hace necesario encuadrar el ámbito normativo español en materia de construcción dentro de una de estas aproximaciones.

En nuestro país, los requisitos básicos de calidad que deben cumplir los edificios y sus instalaciones, han quedado reguladas por el Código Técnico de la Edificación (CTE), conjunto de normas que desde el año 2006 configuran el marco técnico normativo aplicable, que se armoniza y adapta al ámbito legislativo prestacional impulsado por otros países (España, 2006). Desarrollando la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (España, 1999) y cumpliendo así las directivas de la Comisión Europea de armonización a nivel europeo en este ámbito (85/384/CEE y 89/106/CEE), el citado código pretende proporcionar los requisitos y procedimientos necesarios para acreditar con garantías técnicas el cumplimiento de diversos requisitos básicos, entre la que queda recogida la correspondiente a “higiene, salud y protección del medio ambiente”.

Las medidas destinadas a cumplir los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad en los edificios y las exigencias que de ellos se desprenden, deben ser efectivas tanto en proyecto, como en la construcción, mantenimiento y conservación del edificio. Queda sujeta a estas exigencias un amplio espectro de edificaciones, que comprende todas aquellas públicas o privadas, que precisen de licencia o autorización legalmente exigible. Están especialmente incluidas también, las obras de nueva construcción dedicadas a usos de carácter residencial, así como las obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación siempre que la adaptación a dichas exigencias, sea viable y técnicamente factible.

Este planteamiento prestacional del CTE, basado en el concepto “por objetivos o prestaciones” (Serra, 2005), pretende alinearse con el enfoque basado en prestaciones alentado desde las principales organizaciones internacionales relacionadas con los códigos de edificación, como el International Council for Research and Innovation in Building and Construction (abreviadamente Conseil International du Bâtiment o CIB) o el Inter-Jurisdiccional Regulatory Collaboration Committee IRCC).

La estructura del Código Técnico de la Edificación español, similar en su planteamiento a otros códigos internacionales, se basa en la redacción de objetivos, llamados *requisitos básicos*, que tratan de enumerar las condiciones necesarias en el edificio para que estos sean útiles, eficientes y seguros para su utilización acorde al fin previsto. Para cada uno de estos requisitos básicos, se desglosan diferentes exigencias básicas o condiciones específicas que la construcción ha de poseer para que se considere asegurado el requisito básico último.

En coherencia con este enfoque, el código muestra una estructura jerarquizada y organizada, en la que se define y cuantifica individualmente cada exigencia a satisfacer, con objeto de discernir las prestaciones exigibles y proporcionadas por el edificio, sus partes, materiales, productos y sistemas.

El resultado es un documento de gran extensión y elevada complejidad que se ordena a su vez en dos partes diferenciadas: disposiciones y condiciones generales de aplicación del mismo y la descripción de los requisitos básicos a cumplir. En esta segunda parte se describe la regulación técnica dispuesta para el cumplimiento de cada exigencia derivada de los requisitos básicos, ordenada en diferentes Documentos Básicos (DB) independientes.

Cada uno de los documentos básicos pretende en virtud del conocimiento consolidado en las técnicas constructivas y campos científicos, caracterizar y cuantificar las exigencias y establecer en el edificio el conjunto de prestaciones objetivables que permitan determinar su aptitud para cumplirlas. Esta parte exigencial o de requisitos, trata de no definir productos, soluciones o diseños concretos, de tal manera que no condicione la labor del técnico en su planteamiento.

Por desgracia, para el cumplimiento y garantía de estas exigencias el CTE articula diferentes mecanismos, que a pesar de su planteamiento prestacional, no logran alejarse completamente del anterior enfoque prescriptivo. Ello hace que en la actualidad, el CTE se mantenga como una normativa híbrida, con importantes reminiscencias de un marco normativo enteramente prescriptivo.

III.2.1.- Cumplimiento de los requisitos básicos y exigencias

El cumplimiento de estas exigencias y requisitos básicos de la edificación, más allá del ámbito normativo, debe concretarse en la ejecución de diseños, productos, ensamblajes y soluciones concretas, que han de ser definidas con todo detalle.

Para llegar a estas soluciones constructivas concretas, han sido tres las estrategias fundamentales adoptadas por el CTE, que pueden ser utilizadas indistintamente. Con las mismas se ha pretendido implementar la mayor prestacionalidad posible en la regulación normativa actual y garantizar el cumplimiento de las exigencias derivadas de los requisitos básicos planteados para la edificación:

- Soluciones aceptadas
- Soluciones alternativas
- Procedimientos o métodos de verificación.

Soluciones aceptadas

La primera de estas estrategias la constituyen las soluciones aceptadas, que al igual que las “cláusulas de cumplimiento equivalente” que se analizarán a continuación, pretenden garantizar el cumplimiento de las exigencias básicas de una forma ágil y funcional, pero por desgracia, poco prestacional. Mediante la aplicación de estas soluciones más o menos predefinidas, se considera que se cumplen las exigencias básicas (lo que en cierta manera coincide con el enfoque prescriptivo).

Así, las soluciones aceptadas se limitan a una descripción de soluciones constructivas que en caso de ejecutarse, asegurarían el cumplimiento de las exigencias básicas objetivo. Dicho planteamiento, no admite otras soluciones que las definidas o descritas a priori.

La disminución del carácter prestacional de la norma por parte de estas últimas, se justifica ante la imposibilidad de establecer los procedimientos y métodos de verificación necesarios por la ausencia del necesario conocimiento, experiencia previa o formato adecuado y para mitigar las problemáticas anteriores, que acontecen como resultado de la inclusión de un código puramente prestacional.

En consecuencia, aquellas exigencias básicas cuyo cumplimiento solo puede realizarse mediante la adopción de soluciones aceptadas, mantienen íntegramente la naturaleza prescriptiva de la norma, a la espera de que se desarrollen los mecanismos que permitan garantizar su cumplimiento de forma prestacional. La alternativa definida por las “soluciones alternativas”, como se ha visto no constituye más que un mero lavado de cara formal a este planteamiento prestacional.

Este es el caso de la exigencia de protección frente a la humedad, que en la actualidad se basa enteramente en la definición de soluciones aceptadas por el Documento Básico, de obligado cumplimiento para obtener los permisos necesarios para la construcción de los edificios.

Las soluciones aceptadas se definen de forma específica para cada exigencia marcada por el CTE, por lo que a diferencia de las “soluciones alternativas”, estas deben ser definidas por cada Documento Básico en el que se pretendan aplicar.



Figura III.3.- Organización metodológica del CTE. Jornada sobre el DB-HR y las herramientas complementarias de ayuda a su aplicación. José Antonio Tenorio Ríos. Madrid, 18 de junio de 2009.

Por último, es necesario mencionar que el establecimiento de una solución aceptada, conlleva aparejada la necesidad de regular un cierto control sobre la ejecución

real de la solución específica. Las condiciones de su ejecución, el mantenimiento y materiales empleados en la misma y la disposición adecuada de sus elementos, es una condición indispensable para garantizar que las soluciones propuestas generan condiciones reales que se asemejan a las previstas por los requisitos básicos y que de tal forma la exigencia va a ser satisfecha.

El resultado de lo anterior en todos los documentos básicos, es la inclusión de sucesivos condicionantes que atienden a las condiciones de puntos singulares, juntas, encuentros, dimensionado, productos de construcción empleados, control de la ejecución y mantenimiento y conservación de la solución adoptada, que deben ser adoptados adicionalmente (o en conjunción a la verificación realizada), para garantizar la prestación de la solución aceptada.

Soluciones alternativas

La segunda de estas estrategias es la definición de soluciones alternativas a las soluciones aceptadas o “clausulas de cumplimiento equivalente”, orientadas a complementar a las soluciones prescriptivas anteriores allí donde la normativa no cubre situaciones no explícitamente recogidas en la misma. El Código Técnico de la Edificación ampara esta estrategia de forma general para cualquier exigencia y requisito básico en su articulado 5.1.3, Parte I:

“3. Para justificar que un edificio cumple las exigencias básicas que se establecen en el CTE podrá optarse por:

- a) adoptar soluciones técnicas basadas en los DB, cuya aplicación en el proyecto, en la ejecución de la obra o en el mantenimiento y conservación del edificio, es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias básicas relacionadas con dichos DB; o*
- b) soluciones alternativas, entendidas como aquéllas que se aparten total o parcialmente de los DB. El proyectista o el director de obra pueden, bajo su responsabilidad y previa conformidad del promotor, adoptar soluciones alternativas, siempre que justifiquen documentalmente que el edificio proyectado cumple las exigencias básicas del CTE porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a los que se obtendrían por la aplicación de los DB”.*

La aplicación de estas soluciones “alternativas”, no obstante, no representa una aproximación a una normativa más prestacional y suponen un serio perjuicio para el proyectista, al llevar aparejadas numerosas dificultades para su aplicación y utilización final:

- En muchas ocasiones la exigencia no se define de forma científica.
- Cuando se definen adecuadamente, se desconocen las bases científicas en las cuales se sustentan, siendo difícil suplirlas por otras equivalentes.
- No se dispone de metodologías y criterios que permitan comparar entre sí soluciones de acuerdo a la definición de la exigencia.
- La especialización requerida en el proyectista para su planteamiento es incompatible con una labor profesional no dedicada a la investigación y el desarrollo.
- Son necesarios costosos medios informáticos, humanos y de ensayo para el desarrollo de soluciones alternativas.

- Es necesario recurrir al estudio de normativas de carácter internacional, difícilmente obtenibles o en su defecto, muy costosas.
- La responsabilidad adquirida por el proyectista al definir soluciones equivalentes es muy elevada (civil y penal) y las coberturas legales necesarias con muy gravosas (seguros).
- La responsabilidad de las administraciones y organismos de control que deben aprobarlas, es elevada, por lo que se establecen importantes dificultades y requisitos para su aprobación, superiores a los de la solución recogida por norma.
- En ocasiones los técnicos encargados de su aprobación carecen de una titulación adecuada para tal tarea (caso de arquitectos técnicos municipales evaluando proyectos realizados por arquitectos).
- Los mecanismos para su aprobación son complejos y lentos dada la gran cantidad de normativa a analizar y los procedimientos administrativos y burocráticos a seguir.
- La propiedad busca la rápida resolución de su encargo o edificación, presionando al técnico para obtener la solución administrativa con menor demora y mayor simplicidad.
- En ausencia de la formación adecuada, la aprobación de soluciones alternativas suele limitarse a un mero chequeo del cumplimiento de las condiciones de la norma, por lo que la solución alternativa difícilmente vez puede ser aprobada.

Por ello en conclusión, salvo contadas organizaciones con importantes capacidades de investigación y desarrollo u organismos oficiales, las soluciones alternativas, no suponen una alternativa factible para la aplicación cotidiana de la norma, reduciéndose está en la práctica al acatamiento del articulado existente en la forma que él determine.

Por el contrario la utilización de las exigencias prescriptivas (soluciones aceptadas) recogidas por la normativa, permite al técnico reducir sus costes de operación, acortar los tiempos de realización del proyecto y tramitación de licencias y acogerse a la validez de la norma ante una problemática posterior en la obra realizada. A todas luces el diseño de soluciones alternativas, no supone más que desventajas para quien tiene que aplicarlas, por lo que son raramente utilizadas.

Por lo tanto, un código híbrido, basado en enfoques prescriptivos salvados únicamente mediante “soluciones alternativas o cláusulas de cumplimiento equivalente”, se reduce en la práctica a un código puramente prescriptivo, rígido, inadecuado para obras singulares o la utilización soluciones optimizadas, aislado de otros códigos internacionales, poco dado a modificaciones de calado y sobre todo incongruente, al desconocerse el fin que persiguen y los fundamentos científicos que sustentan a las prescripciones impuestas.

Procedimientos o métodos de verificación

La tercera de las posibilidades de cumplimiento articuladas por el CTE, es la única que se adapta plenamente al enfoque prestacional que se pretende para la norma.

El planteamiento de método de verificación, que permiten al técnico demostrar que una solución cualquiera cumple las exigencias, sin recurrir a una solución aceptada, permite la utilización de soluciones no definidas ni descritas a priori (al contrario que las

soluciones aceptadas), al tiempo que se aportan los mecanismos para evaluar el cumplimiento de las exigencias por parte de otras soluciones (se ofrecen los mecanismos para definir soluciones “alternativas o equivalentes”). Todo ello en definitiva, pone las bases para una mayor innovación en el sector de la construcción (Linares y Tenorio, 2009).

Así por lo tanto, un método de verificación no es más que un procedimiento funcional y asequible, mediante el cual evaluar el cumplimiento de las exigencias por parte de soluciones alternativas propuestas por el técnico.

Tabla III.1.- Estrategias de cumplimiento de las exigencias básicas en algunos Documentos Básicos del CTE.

Documento Básico	Exigencia básica	Estrategia de cumplimiento	Métodos admitidos
HE. Ahorro de energía	HE1. Limitación de demanda energética	Método de verificación	Simplificado General
	HE2. Rendimiento de las instalaciones térmicas	R.I.T.E.	R.I.T.E.
	HE3. Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación	Método de verificación	-
	HE4. Contribución solar mínima de A.C.S.	Método de verificación	-
	HE5. Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica	Método de verificación	-
HR. Protección frente al ruido	HR. Protección frente al ruido	Método de verificación	Simplificado General
HS. Salubridad	HS1. Protección frente a la humedad	Solución aceptada	-
	HS2. Recogida y evacuación de residuos	Solución aceptada	-
	HS3. Calidad del aire interior	Solución aceptada	-
	HS4. Suministro de agua	Solución aceptada	-
	HS5. Evacuación de aguas	Solución aceptada	-

Dada la complejidad que estos métodos de verificación pueden llegar a alcanzar en aquellos aspectos basados en aspectos físicos y matemáticos, en ocasiones, el método de verificación se simplifica definiendo dos niveles de complejidad: general (exhaustivo) o simplificado.

En el primero, son aplicados en gran detalle los fundamentos científicos en los que se sustenta la exigencia siendo con frecuencia necesaria la utilización de herramientas informáticas que automaticen el cálculo a realizar. En segundo lugar, el procedimiento simplificado asume ciertas aproximaciones que dan lugar a una verificación más rápida y sencilla, pero también más conservadora y menos exacta.

Estos métodos de verificación simplificados, suelen establecer valores aceptados necesarios en el diseño, propiciando de este modo el cumplimiento final de la exigencia, si los mismos son satisfechos.

Su orientación es por lo tanto similar al de las soluciones aceptadas, si bien no se definen soluciones y diseños concretos, sino valores de cálculo que deben ser satisfechos. En cualquier caso, la adecuación de estos parámetros puede ser evaluada

objetivamente mediante el método de verificación general, lo que no merma la potencialidad de innovación de este planteamiento.

En los Documentos Básicos del CTE, conviven tanto soluciones aceptadas como métodos de verificación, si bien poco a poco, los métodos de verificación ganan terreno a las soluciones aceptadas. Las primeras se utilizan allí donde el estado actual del conocimiento no han permitido establecer métodos de verificación lo suficientemente representativos, fiables o sencillos para su utilización normativa.

Los métodos de verificación que se reflejan en la anterior tabla, se acogen estrictamente a un mismo patrón metodológico general en cuanto a su planteamiento, que se desarrolla con mayores o menores diferencias y detalle en función del conocimiento existente en cada materia concreta.

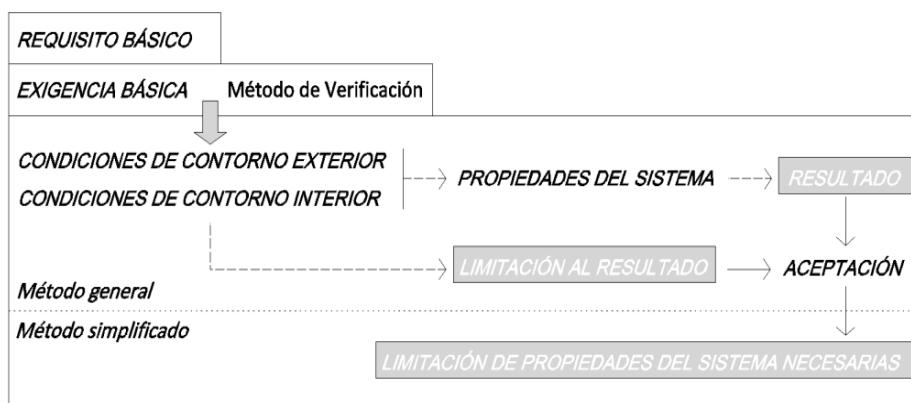


Figura III.4.- Patrón metodológico de los métodos de verificación recogidos en el CTE.

Un ejemplo que permite ilustrar el procedimiento seguido por estas metodologías de verificación, se recoge en documento de Ahorro de Energía DB-HE1. En él se establece el procedimiento a seguir para verificar el riesgo de aparición de humedades por condensación intersticial o superficial.

Así por ejemplo, este método de verificación se apoya enteramente en la norma EN ISO 13788:2001 (AENOR, 2001), “Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo” y cuenta con todos los aspectos básicos presentados en la figura III.4:

El método de verificación parte de la determinación de las condiciones exteriores al cerramiento del edificio (CTE DB-HE1, Anejo G.1.1) mediante los datos de su temperatura T y presión de vapor P_v , que se caracteriza a través de la humedad relativa exterior ϕ o HR.

Las condiciones interiores, recogidas por el Anejo G.1.2, se referencian en base a los mismos parámetros de T y P_v referidos esta vez, a las condiciones interiores del cerramiento.

Los cálculos de estas condiciones externas e internas, permiten, mediante el conocimiento de las propiedades del sistema, caracterizadas por s_d , espesor de aire

equivalente frente a la difusión del vapor de agua, μ factor de resistencia a la difusión del vapor de agua y λ conductividad térmica, obtener la P_v existente en cada uno de los puntos del cerramiento.

La comparación de estos valores de P_v , con los límites aceptables para los mismos (P_{SAT} en el caso de condensaciones intersticiales o $0,8 \cdot P_{SAT}$ para condensaciones superficiales), permiten aceptar o rechazar la solución constructiva propuesta, que como corresponde a este tipo de aproximaciones, no se impone a priori.



Figura III.5.- Patrón metodológico del método de verificación frente a la existencia de condensaciones por flujo de vapor HE1.

En este caso concreto, las condiciones límite del resultado no se ven modificadas en función de las condiciones de contorno exterior o interior, al ser éste un valor absoluto (existencia o no de condensación $P_v > P_{SAT}$).

Tanto la determinación de las condiciones ambientales como el propio método de cálculo, permiten realizar un cálculo analítico, si bien la simplificación necesaria hace que la precisión de los resultados se vea mermada sensiblemente.

Mientras que en este caso las condiciones de contorno interiores y exteriores al cerramiento, tienen influencia en el resultado de su comportamiento, en otros métodos de verificación contenidos en el CTE, las condiciones de contorno se limitan a condicionar la limitación establecida para el resultado.

Así, también en el mismo DB HE1, limitación de la demanda energética, la zona climática en la que se ubica la edificación, no influye en el comportamiento térmico del cerramiento, pero sí condiciona los valores de aislamiento mínimos que han de alcanzarse. En otras ocasiones, las condiciones externas no influyen en la verificación, como sucede en el DB HE3, Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.

Las condiciones internas suelen centrarse en la determinación del uso del edificio o estancia sobre el que se desarrolla la verificación, lo que determina bien el valor límite para el resultado, bien el ámbito de aplicación del método de verificación. Como ejemplo podemos citar el DB HR, protección frente al ruido, donde las condiciones de uso del recinto, condicionan la reducción acústica requerida en su interior.

Tabla III.2.- Parámetros utilizados en algunos métodos de verificación utilizados por el CTE.

Exigencia Básica	Cond. exteriores	Cond. interiores	Cond. del sistema	Resultado y limitación impuesta
HE1	Zona climática	Uso del recinto	λ , espesor	U / U_{\max}
HE1	$T_{\text{EXT}} ; P_{\text{vEXT}}$	$T_{\text{INT}} ; P_{\text{vINT}}$	μ, s_d, λ	P_v / P_{SAT}
HE3	-	Uso de la estancia	Sup, lux, $W_{\text{lámpara}}$	$VEEI / VEEI_{\max}$
HE4	Zona climática	Demanda de A.C.S.	Orientación, sombras, sup. de captación...	Contribución / $Contribución_{\min}$
HE5	-	Uso de la estancia	Sup, lux, $W_{\text{lámpara}}$	$VEEI / VEEI_{\max}$
HR	Índice de ruido día	Uso del recinto	$m, \rho, R_A, L_{n,w} \dots$	Reducción acústica / $Red. acústica_{\min}$

III.2.2.- Prestacionalidad efectiva alcanzada por el CTE

Si bien la aprobación del CTE, ha supuesto un salto cualitativo de indudable magnitud en el marco normativo de la construcción, superando la dispersión normativa precedente (España, 1977) y armonizando su contenido a estándares europeos, el código presenta considerables áreas susceptibles de mejora. Su definición no obstante se ha realizado de forma heterogénea debido a limitaciones en el estado del conocimiento, que han impedido determinar algunos procedimientos de verificación, lo que ha traducido en el mantenimiento parcial del concepto normativo tradicional previo.

La complejidad científica del campo de estudio, el escaso nivel de desarrollo o la insuficiencia de datos fiables, han imposibilitado en ocasiones cuantificar y definir con precisión las exigencias, gravando de este modo el desarrollo prestacional consiguiente. Los mismos aspectos han llevado igualmente al ente legislador en su tarea responsable, a establecer soluciones aceptadas basadas en la tradición constructiva, desechando métodos de verificación no suficientemente validados.

Todo ello, propicia que en ausencia de método de verificación, la solución aceptable recogida en el DB sea tratada como la solución prescriptiva tradicional de obligado cumplimiento.

El desconocimiento de los parámetros que cuantifican la exigencia y la ausencia de un método de verificación, propician también que el técnico que ha de utilizar este marco normativo en su actividad diaria, se vea incapaz de proponer y justificar soluciones “alternativas” a las prescritas por el código y encuentre en la solución prescrita, el único medio disponible para el cumplimiento de la norma.

Así en la práctica, el código se reduce en ciertos ámbitos a una norma prescriptiva, cuyo cumplimiento se basa en la elección entre un repertorio limitado de soluciones. Dichas soluciones, derivadas de la experiencia en lugar de un desarrollo científico o tecnológico, resultan estáticas e inmutables y en consecuencia alejadas de los parámetros de innovación y desarrollo que se pretenden promover.

Se genera así una situación de inmovilismo, en el que al carecer de bases científicas verificables, las soluciones tradicionales aceptadas no son mejorables de forma objetiva.

El CTE complementa su articulado con la posibilidad de admitir Documentos Reconocidos por parte del ente legislador, que sin carácter reglamentario permitan tras su aprobación proporcionar:

- Especificaciones y guías técnicas o códigos de buena práctica que incluyan procedimientos de diseño, cálculo, ejecución, mantenimiento y conservación de productos, elementos y sistemas constructivos.
- Métodos de evaluación y soluciones constructivas, programas informáticos, datos estadísticos sobre la siniestralidad en la edificación u otras bases de datos.
- Comentarios sobre la aplicación del CTE.
- Cualquier otro documento que facilite la aplicación del CTE, excluidos los que se refieran a la utilización de un producto o sistema constructivo particular o bajo patente.

No obstante, la innovación proporcionada por estos complementos ha demostrado hasta la fecha ser significativamente pobre, al haberse registrado seis años después de la aparición del CTE:

- Tres documentos con comentarios explicativos y aclaratorios sobre los propios documentos Básicos.
- Siete documentos de apoyo, que recopilan guías de aplicación o datos necesarios para la utilización de los métodos de verificación inicialmente incluidos en los Documentos Básicos.
- Cinco aplicaciones informáticas, dos de ellas necesarias o facilitadoras para la verificación de los procedimientos ya recogidos por el CTE y otra más, una versión digital interactiva del propio código.
- Una moderada relación de guías técnicas y datos meramente explicativos, relativos a la certificación de la eficiencia energética y a ciertas instalaciones térmicas en los edificios.

Como se observa, las mejoras propuestas se han centrado más en aspectos formales del articulado, mejorando la comprensión y aplicabilidad de lo ya contenido en el CTE, que en definir nuevos procedimientos innovadores que permitan el cumplimiento por otras vías, de los requisitos básicos y exigencias recogidas por el CTE.

En nuestro país, este impulso de renovación normativa ha chocado contra la estructura previa existente en las profesiones técnicas, en la industria y en la administración. Sin entrar en una evaluación exhaustiva, la excesiva burocratización e ineficiencia de la administración, la carencia actual de medios económicos, el escaso interés innovador por parte de las empresas, la rigidez competencial entre profesionales, los planteamientos formativos caducos y poco competitivos, los operarios y mano de obra no cualificada... suponen un obstáculo de difícil superación para la implementación efectiva de códigos totalmente prestacionales en materia de construcción en nuestro país.

La carencia de una regulación específica que establezca el proceso a seguir para la supervisión de soluciones “alternativas”, la carencia de medios e interés y la falta de un cuerpo de inspectores dependientes de las administraciones públicas y específicamente dedicados y especializados a esta tarea, al estilo de otros países (England and Wales, 2010), constituyen trabas importantes.

Otros aspectos coyunturales, también han contribuido a facilitar esta implantación. La actual crisis económica inhibe la realización de proyectos que conlleven unos gastos mayores, como los derivados de la aplicación del nuevo CTE. Las mayores responsabilidades administrativas inherentes a estos códigos, son rechazadas por técnicos y administraciones anclados en el enfoque prescriptivo previo y sin un adecuado reciclaje de su formación. Las necesidades de especialización para la redacción de este tipo de proyectos, son asumidas por profesionales con insuficiente formación técnica (si bien no artística) y competencias exclusivas en determinados ámbitos de la construcción...

Tampoco la propia redacción del propio CTE ayuda a su implantación, ya que muchos de los Documentos Básicos se complementan con una creciente referencia a instrucciones, reglamentos, ensayos, procedimientos y normas técnicas especializadas, que debiendo ser tenidas en cuenta en la redacción del proyecto y construcción del edificio, adquieren de facto un carácter de cumplimiento pseudo-obligatorio.

No obstante, a pesar de su cumplimiento pseudo-obligatorio, ninguna de ellas tiene un carácter público y gratuito, por lo que es necesario acometer su compra directa a las instituciones de normalización que realizan así su negocio a costa de la necesidad de garantizar la seguridad y habitabilidad de todos nuestros edificios. Esta creciente perversión, que no es inherente únicamente al ámbito de la construcción, debería eliminarse bien suprimiendo la referencia a estos estándares, bien facilitando su acceso público mediante su compra por parte de las administraciones del Estado.

Por otra parte, el apego del sector a los anteriores códigos prescriptivos se debe a que estos posibilitaban una rápida supervisión administrativa (menor esfuerzo), una cómoda interpretación y aplicabilidad por parte de los técnicos (mayor rapidez de ejecución del proyecto y realización de la obra) y una clara exposición de los puntos y condiciones a cumplimentar en el diseño de la solución.

Estas características permiten realizar proyectos de forma rápida, aun careciendo de una formación especializada en la materia, de tal modo que el profesional proyectista podía abordar un gran número de tareas diferentes e independientes entre sí, con un conocimiento reducido de todas ellas. Del mismo modo, el constructor podía abordar las tareas de ejecución del edificio con los mismos medios y formación, al aplicarse siempre las mismas soluciones tradicionales prescritas por la norma.

A todo ello se aúna la endémica falta de supervisión final de la construcción por parte de la administración española, que deriva en que la ejecución se siga realizando de forma independiente a lo recogido por el CTE. Solo los aspectos urbanísticos (debidos a su índole económica) y de protección de incendio (debidos a sus posibles implicaciones de responsabilidad penal sobre la administración) son exhaustivamente controlados por la administración pública.

La inercia de todo este sistema condiciona que en la actualidad, la aplicación del nuevo código prestacional con todas sus implicaciones, se limite a una simple redacción de papeles cada vez más voluminosa y compleja, que posteriormente será con

frecuencia obviada durante la construcción, entre otras razones, porque ninguna administración se molestará en verificar un cumplimiento, que el cliente no está habituado a demandar.

Invertir esta tendencia, proporcionando procedimientos de verificación precisos, científicos y funcionales, a la par que sencillos e intuitivos, constituye un reto que es necesario asumir para propiciar una mayor implantación de este tipo de normativas prestacionales en nuestro país y de forma concreta en el ámbito de la construcción.

III.2.3.- Requisitos de partida para establecer verificaciones prestacionales

En cualquier caso, pueden definirse dos aspectos claves necesarios para la funcionalidad de cualquier sistema de verificación y por lo tanto, de cualquier marco normativo prestacional:

- Una adecuada caracterización de las condiciones de contorno externas e internas que dan lugar a la exigencia básica (caracterización de la solicitud o exposición).
- Un adecuado conocimiento de los parámetros internos que caracterizan la respuesta del diseño planteado ante estas condiciones de contorno (caracterización del comportamiento del diseño planteado).

Por un lado, las condiciones ambientales de exposición que dan lugar al riesgo a evitar, deben ser caracterizadas de forma precisa, científica y objetiva, dotando al técnico de la información necesaria para la evaluación de la solución propuesta, ante las condiciones reales a las que va a ser solicitada.

Por otro lado, el estado actual del conocimiento ha de permitir caracterizar y matematizar el comportamiento de la solución ante dichas solicitudes y exigencias, para permitir así evaluar su grado de prestación y funcionalidad.

En el caso del requisito básico relacionado con la exigencia de protección frente a la penetración de agua al interior de los edificios, recogido en los Documentos Básicos HS-1 y HE-1 del Código Técnico de la Edificación, no se dan ninguno de los factores claves anteriormente identificados, tal y como se procederá a analizar en el apartado siguiente.

Así, las solicitudes atmosféricas que condicionan el riesgo de penetración de agua líquida a través del cerramiento, se hayan caracterizadas de una forma general, aproximada y subjetiva, como se demostrará en posteriores apartados de este capítulo. Además esta solicitud no se ajusta a ninguno de los procedimientos actualmente vigentes internacionalmente, resultando en una caracterización final de las condiciones de contorno claramente deficiente.

A lo largo del Capítulo IV de este trabajo doctoral, se desarrollará una estimación de la exposición a la humedad más científica que la actualmente establecida, permitiendo determinar con precisión y fiabilidad el riesgo de penetración de agua al

interior del edificio en cada posible emplazamiento y orientación del cerramiento. Se define de esta forma el primer aspecto clave necesario para una aproximación prestacional al cumplimiento del requisito básico.

Por otro lado, el estado actual del conocimiento impide caracterizar y matematizar el comportamiento de los materiales del cerramiento ante la presencia de agua líquida, sin incurrir en cálculos numéricos de gran complejidad o sin someter a la caracterización a simplificaciones que solo representan parcialmente los fenómenos descritos en el Capítulo II.5, condicionados además por infinidad de casuísticas posibles.

Ello obliga a que el cumplimiento de las exigencias se articule en base a soluciones aceptadas, que no hacen sino transcribir los resultados de una amplia variedad de ensayos de estanqueidad realizados sobre esas mismas soluciones.

Por desgracia, tampoco los parámetros de partida utilizados en estos ensayos han sido los adecuados, resultando en una caracterización de la estanqueidad totalmente indeterminada y mejorable.

A lo largo del Capítulo V, se desarrollará en este trabajo doctoral una estimación de los parámetros de ensayo de estanqueidad a realizar sobre los cerramientos más adecuada, estableciendo de esta forma, si bien no un método de verificación prestacional, si una prueba que permita evaluar con precisión la respuesta de cada posible solución planteada ante las anteriores condiciones de solicitud.

La ausencia de ambos aspectos clave en el Documento Básico de Salubridad BD-HS, parte 1, Protección frente a la humedad, impiden en la actualidad aplicar ninguna estrategia prestacional en esta materia.

A continuación se analiza la norma española en materia de protección frente a la humedad, justificando y demostrando la carencia de ambos aspectos claves, así como la inadecuación de la solicitud y soluciones aceptadas utilizadas para el cumplimiento de la exigencia definida.

III.3.- NORMATIVA ESPAÑOLA

Como novedad respecto a anteriores regulaciones normativas, el Código Técnico de la Edificación establece entre sus exigencias básicas y exigencia, la referida a aplicar los procedimientos y medidas necesarias para limitar el riesgo de presencia inadecuada de humedad en el interior de las edificaciones.

En el caso concreto de esta exigencia básica, la ausencia en el texto de bases de partida que posibiliten un desarrollo prestacional, aunado al complejo desarrollo científico del campo de investigación de la transferencia de humedad en construcción (ya presentado en el capítulo II), propicia que la verificación del cumplimiento de esta exigencia se reduzca a la selección entre limitadas soluciones constructivas sancionadas por la práctica, en virtud a una estimación más o menos aproximada de las condiciones externas que deberán soportar.

Se exponen a continuación las características de este documento básico (DB-HS 1), así como del DB-HE 1, Limitación de demanda energética, que configuran juntos, el marco normativo español relacionado con la protección frente a la humedad en la edificación.

III.3.1.- EXIGENCIAS BÁSICAS

El Código Técnico de la Edificación, establece una serie de requisitos básicos derivados del articulado de la Ley de Ordenación de la Edificación. A partir de estos requisitos, se recogen en los DB diferentes exigencias, que pueden ser cumplidas si se adoptan las soluciones aceptadas y métodos de verificación contenidos en los mismos. Los requisitos generales se resumen en la siguiente relación:

- Exigencia Básica de Seguridad Estructural (SE).
- Exigencia Básica de Seguridad en caso de Incendio (SI).
- Exigencia Básica de Seguridad de Utilización y Accesibilidad (SUA).
- Exigencias Básicas de Protección frente al Ruido (HR).
- Exigencias Básicas de Ahorro de Energía (HE).
- Exigencias Básicas de Salubridad. “higiene, salud y protección del medio ambiente” (HS).

Es precisamente, dentro de esta última exigencia donde se enmarca el requisito básico de salubridad, dentro del cual se contiene la necesidad de impedir la presencia indebida de agua en el interior de los edificios:

“reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, padezcan molestias o enfermedades, así como el riesgo de que los edificios se deterioren y de que deterioren el medio ambiente en su entorno inmediato, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento” (España, 2006).

De la exigencia presentada puede destacarse su formulación en base a términos de reducción de riesgo. No se pretende con el mismo la desaparición completa del riesgo,

debido a sus costes o imposibilidad técnica, sino que éste se reduzca a límites aceptables teniendo en cuenta la percepción de los usuarios de los edificios y siempre a un coste asumible.

La definición concreta del riesgo asumible, debe ser por lo tanto una tarea fundamental, si se pretende el desarrollo de nuevos procedimientos científicos y técnicos alternativos capaces de competir en igualdad de condiciones con las soluciones aceptadas aportadas inicialmente por el CTE. Tal y como se expondrá en el artículo V, la estimación de periodos de retorno para las solicitaciones a soportar por el cerramiento sin presentar problemas de estanqueidad, será un criterio adecuado para definir este riesgo asumible, tal y como sucede en otros muchos campos de la ingeniería.

Los documentos interpretativos elaborados a petición de la CEE para desarrollar la Directiva del Consejo 89/106/CEE, de 21 de diciembre de 1988, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros sobre los productos de construcción, explican este requisito básico en mayor extensión (CEE, 1993):

“Las obras deberán proyectarse y construirse de forma que no supongan una amenaza para la higiene o la salud de los ocupantes o vecinos, en particular como consecuencia de cualquiera de las siguientes circunstancias:

- *Fugas de gas tóxico.*
- *Presencia de partículas o gases peligrosos en el aire.*
- *Emisión de radiaciones peligrosas.*
- *Contaminación o envenenamiento del agua o del suelo.*
- *Defectos de evacuación de aguas residuales, humos y residuos sólidos o líquidos.*
- *Presencia de humedad en partes de la obra o en superficies interiores de la misma”.*

El propio documento interpretativo elaborado en referencia a la higiene, salud y medio ambiente, se estructura en torno a cinco aspectos específicos, que describe con mayor detalle en su desarrollo: *“ambiente interior, suministro de agua, evacuación de aguas residuales, evacuación de residuos sólidos y ambiente exterior”.*

III.3.3.1.- Exigencia básica de protección frente a la humedad.

En el CTE, el documento básico DB-HS Salubridad es el encargado de especificar parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas de salubridad y la superación de los niveles mínimos de calidad propios de los requisitos básicos.

El primero de sus apartados (DB-HS 1), se refiere exclusivamente a la exigencia básica de protección frente a la humedad, definida como:

“la limitación del riesgo previsible de presencia inadecuada de agua o humedad en el interior de los edificios y en sus cerramientos como consecuencia del agua procedente de precipitaciones atmosféricas, de escorrentías, del terreno o de condensaciones, disponiendo de medios que impidan su penetración o, en su caso permitan su evacuación sin producción de daños”.

Tal y como se aprecia, la definición concreta del límite de riesgo previsible se realiza cualitativamente, privando a la exigencia de los parámetros físicos, técnicos y científicos necesarios para poder desarrollar una metodología encaminada a establecer una respuesta alternativa a la exigencia.

El Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), entidad colaboradora del Ministerio de Fomento para el desarrollo y actualización del CTE, identificó esta problemática al reconocer que:

“Sin embargo, en el caso concreto del DB HS, en su elaboración se partió de una serie de condiciones de contorno que lo limitaron en su carácter prestacional... Por ello, estas condiciones de contorno limitantes pusieron en evidencia la dificultad de elaborar una norma basada en prestaciones en estos campos. El resultado es que el DB HS, aunque con una inspiración prestacional, principalmente es descriptivo y está basado en el desarrollo de soluciones aceptadas.” (Linares y Tenorio, 2009).

Dichas condiciones de contorno, como la ausencia de reglamentación e información previa y el conocimiento insuficiente o parcial, han provocado una redacción prescriptiva del DB-HS1, que utiliza soluciones aceptadas y no incluye método de verificación alguno ni una definición precisa de las solicitaciones, prestaciones y sus niveles de cumplimiento.

En el documento básico DB-HE 1 Limitación de la demanda energética, es desarrollado otro concepto de importancia para este trabajo, al definirse como exigencia básica que:

“Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos”.

De nuevo, queda patente la indefinición técnica asociada a la exigencia, si bien en este caso, la prestación para reducir el riesgo de aparición de humedades de condensación superficial e intersticial, queda acreditada en el DB-HE1 mediante un método de verificación, que no obstante adopta notables simplificaciones.

Recurriendo a los documentos interpretativos anteriormente citados, se obtiene una descripción más amplia de la exigencia básica. Así, el aspecto referido a la adecuación del ambiente interior es desglosado en una serie de factores, entre los que se encuentra el relativo a presencia de humedad en el interior de los edificios:

- Ambiente térmico
- Iluminación
- Calidad del aire
- Humedad
- Ruido

El requisito de humedad se ocupa de la protección de la salud de los ocupantes y usuarios frente a los efectos de una humedad excesivamente alta o insuficiente en el ambiente interior. Se define que esta humedad puede influir en la salud de los ocupantes y usuarios del edificio por medio de:

- Efectos de una humedad relativa del aire excesivamente alta o baja.
- Efectos indirectos de la humedad, como formación de moho en las superficies y en el interior de los productos, así como el depósito creciente de ácaros domésticos.

El cualquier caso, se aprecia también como la definición de estos requisitos y efectos, se mantiene en un ámbito cualitativo, lo que en conjunto impide el establecimiento de un método de verificación cuantitativo preciso. Para el control de ambos efectos, se proponen las siguientes medidas a articular en la edificación:

Control de la humedad del aire:

- Aumento o disminución de la temperatura del aire (calefacción, aislamiento, refrigeración).
- Ventilación adecuada de las habitaciones (natural o mecánica).
- Humidificación y deshumidificación del aire interior o del aire procedente del exterior.
- Eliminación o reducción de la humedad en la fuente o aislamiento de las actividades que generan humedad.

Control de la humedad en superficies impidiendo el paso de humedad exterior:

- Evitando o previniendo la infiltración y penetración de lluvia, nieve, etc. en las obras.
- Evitando o previniendo la infiltración y penetración de aguas freáticas en la obra.

Control de la humedad en superficies evitando la condensación:

- Asegurando que la humedad relativa del aire en la proximidad de la superficie no supere un nivel máximo aceptable, mediante una combinación adecuada de calefacción, aislamiento y ventilación.
- Asegurando que la presión de vapor dentro de los elementos quede por debajo de la presión de saturación de vapor, mediante el diseño adecuado de los productos y la elección apropiada de los materiales.

A continuación se analizarán las medidas adoptadas por el CTE para llevar a término estas medidas de control de la humedad, entre las que destacan las referidas al segundo grupo (DB-HS1, protección frente a la penetración de agua) y el tercero (DB-HE1, protección frente a la condensación indebida de agua en el cerramiento).

III.3.2.- ESTIMACIÓN DE LA SOLICITACIÓN Y SOLUCIONES ACEPTADAS EN DB-HS 1

El CTE establece una comprobación diferenciada para cada uno de los efectos relacionados con la exigencia básica de protección frente a la humedad.

Mientras el cumplimiento de resistencia a la penetración de agua (DB-HS 1), se realiza mediante la elección de soluciones aceptadas, la comprobación de la limitación de humedades de condensación (DB-HE 1), cuenta con un método de verificación no ligado a ninguna solución constructiva concreta.

Centrándonos en el primer documento (DB-HS1), en las soluciones aceptadas por el mismo no se recoge la inabarcable tipología de soluciones posibles para los componentes de la envolvente edificatoria, si bien publicaciones sectoriales (Hispalyt, 2008) o aplicaciones específicamente desarrolladas como el CEC, Catálogo de Elementos Constructivos (Ministerio de Fomento, 2010), han permitido ampliar el abanico existente.

Las soluciones alternativas, que se apartan total o parcialmente de las recogidas por el DB-HS 1 y sus documentos complementarios, podrían utilizarse siempre que se justificara documentalmente el cumplimiento de los requisitos básicos y exigencias. Sin embargo, el CTE no recoge método de verificación que permita acreditar este cumplimiento (Linares y Tenorio, 2009).

III.3.2.1.- Estimación de la solicitud sobre la envolvente

El documento básico HS-1 se aplica a todos los elementos que configuran la envolvente del edificio; muros en contacto con el terreno, suelos en contacto con el terreno, fachadas y cubiertas. Para cada uno de los cuatro grupos diferenciados, las soluciones aceptadas deben satisfacer las exigencias definidas en base al grado de impermeabilidad demandado (GI).

Del mismo modo, el diseño de la envolvente debe respetar ciertas características de buena práctica constructiva en sus puntos singulares, lo que deberá completarse con una adecuada utilización de productos, ejecución en obra y mantenimiento y conservación posterior.

Se define el grado de impermeabilidad GI, como el número indicador de la resistencia al paso del agua característica de una solución constructiva, definido de tal forma que aumenta al crecer dicha resistencia. En consecuencia, cuanto mayor sea la solicitud de humedad, mayor debe ser el grado de impermeabilidad de dicha solución para alcanzar el mismo resultado de prestación.

“Grado de impermeabilidad: número indicador de la resistencia al paso del agua característica de una solución constructiva definido de tal manera que crece al crecer dicha resistencia y, en consecuencia, cuanto mayor sea la solicitud de humedad mayor debe ser el grado de impermeabilidad de dicha solución para alcanzar el mismo resultado. La gradación se aplica a las soluciones de cada elemento constructivo de forma independiente a las de los demás elementos. Por lo tanto, las gradaciones de los distintos elementos no son necesariamente equivalentes: así, el grado 3 de un muro no tiene por qué equivaler al grado 3 de una fachada”.

El grado de impermeabilidad (G.I.) demandado para cada elemento de la envolvente se caracteriza por una escala de 1 a 5, en base a las situaciones externas que afectan a la envolvente. Vista la definición de dicho grado de impermeabilidad y su formato cualitativo, es imposible asociar a cada valor del grado de impermeabilidad valores objetivables de exigencia, tal y como se demostrará más adelante.

Por el contrario, sirve para relacionar las prestaciones con un listado de soluciones constructivas sancionadas por la práctica, a las que se les supone un mejor comportamiento frente a las condiciones de humedad, en una escala meramente comparativa entre sí.

El modo de determinar el grado de impermeabilidad necesario en cada grupo de elementos varía en cada uno de ellos, dependiendo de diferentes parámetros físicos del terreno, de la pluviometría, de la presión eólica... Todo ello provoca que la definición cuantitativa de este grado no pueda ser unívoca, ni comparable entre diferentes componentes de la envolvente edificatoria: cada grupo de elementos debe ser analizado de forma independiente a los otros y su grado de impermeabilidad no tiene transposición a otros elementos diferentes.

Muros en contacto con el terreno

En el caso de muros en contacto con el terreno, el grado de impermeabilidad se obtiene en función de la presencia de agua en el terreno (nivel freático) y la permeabilidad del terreno. El primer parámetro presenta una elevada indeterminación y estacionalidad, mientras que el segundo es extremadamente variable, de determinación aproximada y con una utilidad ligada a la duración de la presencia de agua en el terreno en contacto con el muro.

La presencia de agua se considera alta en todo caso cuando la cara inferior del suelo en contacto con el terreno se encuentra a dos o más metros por debajo del nivel freático. Una presencia media se asocia a una situación de menos de dos metros por debajo del nivel freático. Un suelo por encima del nivel freático se asocia a una presencia baja de humedad en el terreno.

Presencia de agua	Coeficiente de permeabilidad del terreno		
	$K_s \geq 10^{-2}$ cm/s	$10^{-5} < K_s < 10^{-2}$ cm/s	$K_s \leq 10^{-5}$ cm/s
Alta	5	5	4
Media	3	2	2
Baja	1	1	1

Figura III.6.- Grado de impermeabilidad mínimo exigido a los muros.

Suelos en contacto con el terreno

Para los suelos, el grado de impermeabilidad se obtiene en base a los mismos parámetros anteriores, estableciendo en este caso una relación cualitativa menos elaborada. Ambos parámetros, son aportados en la mayoría de las edificaciones por el propio Estudio Geotécnico realizado sobre la parcela de emplazamiento.

Presencia de agua	Coeficiente de permeabilidad del terreno	
	$K_s > 10^{-5}$ cm/s	$K_s \leq 10^{-5}$ cm/s
Alta	5	4
Media	4	3
Baja	2	1

Figura III.7.- Grado de impermeabilidad mínimo exigido a los suelos.

Cerramientos verticales sobre la rasante

En el caso de las fachadas, la determinación del grado de impermeabilidad exigido se torna más compleja, si bien no más objetivable. El índice pluviométrico anual del emplazamiento y la incidencia máxima de viento sobre la fachada, son en este caso los parámetros elegidos para la descripción de la exigencia, pero ambos se relacionan para definir una solicitud científica y objetivable.

De hecho, ambos son caracterizados en función a diferentes periodos, condiciones y duración de los eventos atmosféricos (viento y lluvia) y se describen en mapas sin un valor numérico preciso asociado.

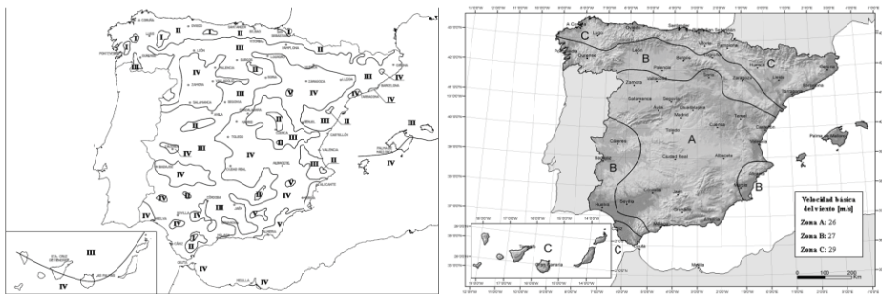


Figura III.8.- Zonas pluviométricas de promedios en función del índice pluviométrico anual (izq.) y zonas eólicas (der.). Fuente: España, 2006.

Para definir la influencia de la pluviometría, se encuadra la posición del edificio dentro de uno de los rangos siguientes de pluviometría media anual, representados de forma gráfica según su emplazamiento. Los datos han sido obtenidos a partir de una serie de datos estadísticos medios anual algo desfasada (serie entre 1971-2000):

- Zona I cuando $p > 2000$ mm/año.
- Zona II cuando $1000 < p \leq 2000$ mm/año.
- Zona III cuando $500 < p \leq 1000$ mm/año.
- Zona IV cuando $300 < p \leq 500$ mm/año.
- Zona V cuando $p < 300$ mm/año.

Si se analizan datos pluviométricos más recientes (véase capítulo IV y Anejos A.2 y A.2), se observa cómo algunos de los 80 emplazamientos analizados en esos capítulos y anejos verían cambiada su zona pluviométrica al analizar series más recientes y de mayor extensión que la utilizada por el CTE (1962-2011): Reus, San Sebastián,

Oviedo, Ávila, Navacerrada, Segovia, Cáceres, Jaén, Córdoba, Murcia, Alicante, Huesca, Mallorca, Lanzarote, Fuerteventura, Tenerife, Las Palmas...

Esta variación se debe al incremento de la serie anual utilizada en el estudio, que da como resultado pluviometrías medias estimadas con mayor precisión. Una variación en el valor de zona pluviométrica, cambia el grado de impermeabilidad necesario y con ello la solución aceptada válida, lo que demuestra la escasa practicidad del método utilizado por el CTE para estimar la exigencia.

Se deduce por lo tanto como la estimación de la sollicitación en este aspecto es claramente mejorable y puede llevar a errores apreciables en la caracterización del grado de impermeabilidad necesario.

Para la incidencia del viento en la fachada, el CTE estima como necesario caracterizar la exposición real del edificio al viento, parámetro condicionado por diferentes factores: zona eólica, entorno del edificio y altura. No obstante, la caracterización en un valor V1, V2 o V3, vuelve a carecer de cualquier relación cuantitativa o medible con la sollicitación física existente.

		Clase del entorno del edificio					
		E1			E0		
		Zona eólica			Zona eólica		
		A	B	C	A	B	C
Altura del edificio en m	≤15	V3	V3	V3	V2	V2	V2
	16 - 40	V3	V2	V2	V2	V2	V1
	41 - 100 ⁽¹⁾	V2	V2	V2	V1	V1	V1

⁽¹⁾ Para edificios de más de 100 m de altura y para aquellos que están próximos a un desnivel muy pronunciado, el grado de exposición al viento debe ser estudiada según lo dispuesto en el DB-SE-AE.

Figura III.9.- Grado de exposición al viento.

La zona eólica se estima encuadrando el emplazamiento del edificio en un rango, en base a su localización en la geografía española. Para ello, se parte de series de datos estadísticos que recogen la velocidad media del viento a lo largo de un periodo de 10 minutos, en una zona plana y desprotegida, a una altura de 10 m sobre el suelo, asumiendo un periodo de retorno para la serie de 50 años.

Consecuentemente, se estima una probabilidad anual del 2%, de que se registre una velocidad media de viento superior a la referida durante un intervalo continuado de 10 minutos. La zonificación realizada responde a los siguientes valores:

- Zona A cuando $v = 26$ m/s.
- Zona B cuando $v = 27$ m/s.
- Zona C cuando $v = 29$ m/s.

Tal y como se aprecia, la duración de la exigencia (10 minutos) y el periodo de retorno considerado (50 años), son muy diferentes a los datos que permiten caracterizar la sollicitación por precipitación. Por ello, la relación que se establece entre ambos parámetros a través de las tablas expuestas es meramente estimativa y subjetiva y por todo ello, carente de prestacionalidad y rigor científico.

Esta composición de tablas, aunque coherente, imposibilita por lo tanto caracterizar la sollicitación de forma medible, lo que impide establecer un método de verificación basado en datos reales.

La caracterización adoptada podría haber sido, dado lo presentado, cualquier otra (intensidad pluviométrica mediante curvas Intensidad-duración-frecuencia (IDF), número de días anuales de precipitación, precipitación máxima mensual, racha máxima de viento anual...) ya que la definición de la sollicitación es meramente subjetiva.

Tabla III.3.- Disparidad de criterios en la consideración de los parámetros que definen la exigencia de protección frente a la humedad.

Solicitación	Intervalo considerado	Duración de la sollicitación	Valor estimado	Fuente
Viento	TR= 50 años	10 minutos	Máximo	España, 2006
Precipitación	Serie de 30 años	Anual	Medio	AEMET, 2011

Siguiendo con la descripción de la caracterización, la influencia del entorno se cualifica agrupando las posibles localizaciones del cerramiento en dos grupos:

- E0, cuando el terreno esté en una zona rural accidentada, llana con o sin obstáculos aislados de importancia, al borde del mar o de un lago con una extensión despejada de 5 km en la dirección del viento.
- E1, cuando el terreno esté en una zona urbana, industrial o forestal.

Por su parte, la altura del edificio se cuantifica en rangos que van de los 15 m, hasta los 40 y 100 m. Para edificios con altura superior a 100 m, el DB emplaza a utilizar los procedimientos reglamentarios recogidos en el documento básico SE-AE, Seguridad Estructural - Acciones en la edificación.

Ese mismo DB-SE-AE, recoge a su vez una metodología más elaborada para estimar la presión estática del viento sobre la fachada del edificio, cuantificando con mayor precisión los mismos datos anteriores y añadiendo otros como la forma de la propia edificación, que sin embargo no se recogen en el DB-HS 1.

La presión estática del viento sobre el cerramiento, es un parámetro deducible a partir de los aspectos considerados para definir el grado de impermeabilidad. No obstante, tal y como se ha demostrado, la caracterización del grado de impermeabilidad no se realiza cuantitativamente, por lo que es imposible relacionar físicamente la presión eólica con la prestación frente a humedad exigida.

		<i>Zona pluviométrica de promedios</i>				
		I	II	III	IV	V
Grado de exposición al viento	V1	5	5	4	3	2
	V2	5	4	3	3	2
	V3	5	4	3	2	1

Figura III.10.- Grado de impermeabilidad mínimo exigido a las fachadas.

Tampoco se tienen en cuenta en esta caracterización del grado de impermeabilidad otros aspectos fundamentales, como el punto de la fachada analizado (no se recoge una cantidad de agua constante en todos ellos), la geometría de la misma, su orientación respecto a los vientos dominantes en el emplazamiento...

En cualquier caso, la mayor incertidumbre en esta caracterización no viene de su naturaleza cualitativa y poco científica, sino del error garrafal que se comete al considerar la presión eólica del viento sobre el cerramiento sin considerar su simultaneidad a la lluvia.

En efecto, al no tener en cuenta esta simultaneidad se están considerando presiones eólicas máximas que nunca se van a dar coincidentemente con una precipitación y que por lo tanto, ninguna influencia tienen sobre la estanqueidad del cerramiento vertical.

Del mismo modo, ese valor de presión eólica en ausencia de lluvia, tampoco sirve para caracterizar proporcionalmente la presión simultánea a la lluvia. La relación entre ambos parámetros climatológicos varía en cada emplazamiento, de tal modo que emplazamientos caracterizados por una presión eólica muy elevada, pueden estar también caracterizados por una muy baja presión eólica simultánea a la precipitación.

A lo largo del capítulo IV y los Anejos A.1 y A.2 se expone la información necesaria para desarrollar adecuadamente y de forma rigurosa y científica, esta estimación de la exposición simultánea por lluvia y viento sobre los cerramientos españoles.

Cerramientos horizontales sobre rasante

Paradójicamente, en el caso de las cubiertas, el grado de impermeabilidad se define como único e independiente de las condiciones externas, precisándose una solución aceptada unitaria a todos los casos, condicionada únicamente, por la lógica tipológica utilizada en cada caso.

Constituye por lo tanto, una simple recopilación de buenas prácticas constructivas para el diseño y la ejecución de cubiertas.

III.3.2.2.- Soluciones aceptables para la envolvente.

Definida para cada uno de los grupos la solicitud existente o grado de impermeabilidad requerido, queda por determinar qué solución permitiría cumplir adecuadamente con las exigencias marcadas por el requisito básico de protección frente a la humedad.

Como se ha adelantado, no existe método de verificación unívoca que permita comprobar las prestaciones del cerramiento en base a condiciones medibles de exigencia, entre otros motivos porque esta exigencia tal y como se ha visto, no se presenta en base a un método científico objetivable y medible.

Para soslayar estas carencias, en su lugar se realiza una asignación de soluciones constructivas aceptadas en función de la mayor o menor resistencia prevista a la humedad, a cada uno de los grados de impermeabilidad definidos.

Muros en contacto con el terreno

En el caso de los muros en contacto con el terreno, obtenido el grado de impermeabilidad exigido, la determinación de la solución aceptada se realiza según su tipología constructiva (muro de gravedad, flexorresistente, pantalla), según su metodología de impermeabilización (interior, exterior, con cámara) y según el número de plantas bajo rasante. No se recogen otras soluciones aceptables, ni método para justificar la validez de las mismas.

De este modo, un mismo grado de impermeabilidad o exigencia de la prestación, puede ser satisfecho mediante soluciones constructivas diferentes entre sí, que necesariamente, no comparten el mismo comportamiento objetivo frente a la penetración de humedad. Igualmente para una solución constructiva, solo una única configuración resulta válida para cumplir la prestación exigida, lo que limita las posibilidades de innovación y determinación de soluciones alternativas.

	Muro de gravedad			Muro flexorresistente			Muro pantalla			
	Imp. interior	Imp. exterior	Parcialmente estanco	Imp. interior	Imp. exterior	Parcialmente estanco	Imp. interior	Imp. exterior	Parcialmente estanco	
Grado de impermeabilidad	≤1	I2+D1+D5	I2+I3+D1+D5	V1	C1+I2+D1+D5	I2+I3+D1+D5	V1	C2+I2+D1+D5	C2+I2+D1+D5	
	≤2	C3+I1+D1+D3 ⁽³⁾	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C3+I1+D1+D3	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1
	≤3	C3+I1+D1+D3 ⁽³⁾	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C3+I1+D1+D3 ⁽²⁾	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1
	≤4		I1+I3+D1+D3	D4+V1		I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1
	≤5		I1+I3+D1+D2+D3	D4+V1 ⁽¹⁾		I1+I3+D1+D2+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1

- (1) Solución no aceptable para más de un sótano.
 (2) Solución no aceptable para más de dos sótanos.
 (3) Solución no aceptable para más de tres sótanos.

Figura III.11.- Condiciones de las soluciones de muro.

Las condiciones de la solución se caracterizan en base a una letra, indicativa del sistema constructivo y un número, indicativo de las posibles alternativas dentro del sistema constructivo, con una mayor o menor resistencia cualitativa al paso de humedad. Cada sistema constructivo y opción concreta, describe someramente su composición y disposición. Así tenemos:

- C, constitución del muro.
- I, sistema de impermeabilización.
- D, sistema de drenaje y evacuación.
- V, sistema de ventilación de la cámara del muro.

A modo de ejemplo, se muestran a continuación las soluciones relacionadas con las opciones posibles de impermeabilización:

“II.- La impermeabilización debe realizarse mediante la colocación en el muro de una lámina impermeabilizante, o la aplicación directa in situ de productos líquidos, tales

como polímeros acrílicos, caucho acrílico, resinas sintéticas o poliéster. En los muros pantalla construidos con excavación la impermeabilización se consigue mediante la utilización de lodos bentoníticos.

Si se impermeabiliza interiormente con lámina ésta debe ser adherida.

Si se impermeabiliza exteriormente con lámina, cuando ésta sea adherida debe colocarse una capa antipunzonamiento en su cara exterior y cuando sea no adherida debe colocarse una capa antipunzonamiento en cada una de sus caras. En ambos casos, si se dispone una lámina drenante puede suprimirse la capa antipunzonamiento exterior.

Si se impermeabiliza mediante aplicaciones líquidas debe colocarse una capa protectora en su cara exterior salvo que se coloque una lámina drenante en contacto directo con la impermeabilización. La capa protectora puede estar constituida por un geotextil o por mortero reforzado con una armadura.

I2.- *La impermeabilización debe realizarse mediante la aplicación de una pintura impermeabilizante o según lo establecido en I1. En muros pantalla construidos con excavación, la impermeabilización se consigue mediante la utilización de lodos bentoníticos.*

I3.- *Cuando el muro sea de fábrica debe recubrirse por su cara interior con un revestimiento hidrófugo, tal como una capa de mortero hidrófugo sin revestir, una hoja de cartón-yeso sin yeso higroscópico u otro material no higroscópico”.*

Como se aprecia, la opción I3, únicamente es utilizable en conjunto con una constitución del muro C3 (muro de fábrica), mientras que las otras opciones, escasamente diferenciadas, no aportan características técnicas mesurables en los productos a utilizar, limitándose a describir una disposición constructiva adecuada. Son aceptadas también soluciones correspondientes a una exigencia de grado de impermeabilidad (GI) superior al demandado.

Suelos en contacto con el terreno

Las soluciones aceptables para suelos en contacto con el terreno, responden a una elección similar, en la que la casuística se multiplica debido a la relación entre las soluciones constructivas de muros y de suelos en la edificación.

Así, los parámetros para la elección de la solución en esta ocasión son el tipo muro utilizado (no se contempla la inexistencia del mismo), el tipo de suelo construido (forjado sanitario, solera, losa) y las acciones realizadas previamente sobre el terreno (sub-base, inyecciones, sin intervención), que tampoco han sido consideradas en la definición del muro.

Como en muros, las condiciones de la solución se caracterizan con una letra y un número, indicativas de los mismos aspectos anteriores, si bien su contenido varía al variar el tipo de elemento constructivo. Tenemos:

- C, constitución del suelo.
- I, sistema de impermeabilización.
- D, sistema de drenaje y evacuación.
- V, sistema de ventilación del forjado sanitario.
- P, sistema de tratamiento perimétrico del muro.
- S, sistema de sellado de juntas entresuelo y muro.

		Muro flexorresistente o de gravedad								
		Suelo elevado			Solera			Placa		
		Sub-base	Inyecciones	Sin intervención	Sub-base	Inyecciones	Sin intervención	Sub-base	Inyecciones	Sin intervención
Grado de impermeabilidad	≤1		V1		D1	C2+C3+D1		D1	C2+C3+D1	
	≤2	C2	V1	C2+C3	C2+C3+D1	C2+C3+D1	C2+C3	C2+C3+D1	C2+C3+D1	
	≤3	I2+S1+S3+V1	I2+S1+S3+V1	I2+S1+S3+V1+D3+D4	C1+C2+C3+I2+D1+D2+S1+S2+S3	C1+C2+C3+I2+D1+D2+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+C1+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+C1+S1+S2+S3	C1+C2+C3+I2+D1+D2+S1+S2+S3	
	≤4	I2+S1+S3+V1	I2+S1+S3+V1+D4		C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C1+C2+C3+I1+I2+D1+D2+D3+D4+P1+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	
	≤5	I2+S1+S3+V1+D3	I2+P1+S1+S3+V1+D3		C2+C3+I2+D1+D2+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I1+I2+D1+D2+P1+P2+S1+S2+S3		C2+C3+D1+D2+I2+P2+S1+S2+S3	C2+C3+I1+I2+D1+D2+P1+P2+S1+S2+S3	
		Muro pantalla								
		Suelo elevado			Solera			Placa		
		Sub-base	Inyecciones	Sin intervención	Sub-base	Inyecciones	Sin intervención	Sub-base	Inyecciones	Sin intervención
Grado de impermeabilidad	≤1		V1		D1	C2+C3+D1			C2+C3+D1	
	≤2		V1	C2+C3	C2+C3+D1	C2+C3+D1	C2+C3	C2+C3+D1	C2+C3+D1	
	≤3	S3+V1	S3+V1	S3+V1	C1+C2+C3+D1+P2+S2+S3	C1+C2+C3+D1+P2+S2+S3	C1+C2+C3+D1+D2+D3+P2+S2+S3	C1+C2+C3+D1+D2+P2+S2+S3	C1+C2+C3+D1+D2+D3+P2+S2+S3	
	≤4	S3+V1	D4+S3+V1	D3+D4+S3+V1	C2+C3+D1+S2+S3	C2+C3+D1+S2+S3	C1+C3+I1+D2+D3+P1+S2+S3	C2+C3+D1+S3	C2+C3+D1+D3+D4+P1+S2+S3	
	≤5	S3+V1	D3+D4+S3+V1		C2+C3+D1+P2+S2+S3	C2+C3+D1+P2+S2+S3	C1+C2+C3+I1+D1+D2+D3+D4+P1+P2+S2+S3	C2+C3+P2+S2+S3	C2+C3+D1+D2+P2+S2+S3	

Figura III.12.- Condiciones de las soluciones de suelo.

De modo comparativo, se presentan las soluciones relacionadas con las opciones de impermeabilización aceptables en suelos:

“I1.- Debe impermeabilizarse el suelo externamente mediante la disposición de una lámina sobre la capa base de regulación del terreno.

Si la lámina es adherida debe disponerse una capa antipunzonamiento por encima de ella.

Si la lámina es no adherida ésta debe protegerse por ambas caras con sendas capas antipunzonamiento.

Cuando el suelo sea una placa, la lámina debe ser doble.

I2.- Debe impermeabilizarse, mediante la disposición sobre la capa de hormigón de limpieza de una lámina, la base de la zapata en el caso de muro flexorresistente y la base del muro en el caso de muro por gravedad.

Si la lámina es adherida debe disponerse una capa antipunzonamiento por encima de ella.

Si la lámina es no adherida ésta debe protegerse por ambas caras con sendas capas antipunzonamiento.

Deben sellarse los encuentros de la lámina de impermeabilización del suelo con la de la base del muro o zapata”.

De nuevo se aprecia una simple sucesión de disposiciones constructivas, en ocasiones de dudosa durabilidad, determinadas por la práctica habitual y experiencia previa. Su elección además no responde a una causalidad derivada de exigencias externas cuantificables y por lo tanto, su adecuación no es susceptible de comprobación técnica o científica.

Cerramientos horizontales sobre rasante

Para el caso de las cubiertas de los edificios, el DB establece únicamente que las mismas habrán de contar con los siguientes componentes, sin distinción alguna según la solicitud exterior:

- Sistema de formación de pendiente.
- Barrera de vapor bajo el aislante térmico cuando se prevean condensaciones.
- Aislante térmico.
- Capa de impermeabilización, cuando la pendiente de cubierta sea insuficiente.
- Capa de protección o tejado, según tipología plana o inclinada de cubierta, cuando la impermeabilización no sea autoprotegida.
- Sistema de evacuación de aguas.
- Capas separadoras entre las capas anteriores, cuando sea recomendable.

Cada uno de los componentes queda descrito en sus características fundamentales, pendientes exigibles o materiales utilizados, pero esta descripción se realiza en términos de recomendaciones generales para su adecuada puesta en obra. No constituye por lo tanto aporte alguno sobre la práctica constructiva habitual.

A modo de ejemplo, se presenta el apartado relativo a la impermeabilización realizada con etileno propileno dieno monómero (EPDM):

“1 Cuando la pendiente de la cubierta sea mayor que 15%, deben utilizarse sistemas fijados mecánicamente.

2 Cuando la cubierta no tenga protección, deben utilizarse sistemas adheridos o fijados mecánicamente.

3 Cuando se utilicen sistemas no adheridos, debe emplearse una capa de protección pesada.”

Se aprecia como las recomendaciones de solución se centran en aspectos de disposición en la obra, sin definir la prestación concreta obtenida con el sistema constructivo de una forma objetivable, ni incidir en especificaciones concretas de los productos.

De todo lo anterior se puede deducir, que si bien existe una cierta correlación solicitud-exigencia en las soluciones aceptadas referidas a los diferentes elementos de la envolvente edificatoria, ésta no es prestacional puesto que:

- No es cuantificable.
- No responde a un método técnico o científico evaluable.

- La solicitud se define de forma cualitativa y comparativa, no cuantitativa.
- La prestación de cada solución se realiza en base a la apreciación obtenida a través de la experiencia constructiva, no a través de una comparación con la exigencia.
- No existen caracterizaciones experimentales normalizadas que permitan cualificar nuevas soluciones en base a los parámetros de solicitud calculados, por lo que es imposible determinar su adecuación en condiciones reales.

III.3.2.3.- Soluciones aceptables en cerramientos verticales sobre rasante

Centrándonos de forma específica en las soluciones de fachada, incluidas las medianeras no cubiertas por la edificación adyacente, se describen dos casuísticas de elección diferenciadas: existencia de un revestimiento exterior o utilización de fachadas sin revestimiento exterior tales como fachadas caravista.

Las opciones presentadas, a diferencia de muros y suelos, pueden contener conjuntos optativos de soluciones a elección del técnico, que pueden utilizarse indistintamente para un mismo nivel de exigencia, en igualdad de condiciones (sobre el papel).

		Con revestimiento exterior			Sin revestimiento exterior			
Grado de impermeabilidad	≤1	R1+C1 ⁽¹⁾			C1 ⁽¹⁾ +J1+N1			
	≤2				B1+C1+J1+N1	C2+H1+J1+N1	C2+J2+N2	C1 ⁽¹⁾ +H1+J2+N2
	≤3	R1+B1+C1	R1+C2	B2+C1+J1+N1	B1+C2+H1+J1+N1	B1+C2+J2+N2	B1+C1+H1+J2+N2	
	≤4	R1+B2+C1	R1+B1+C2	R2+C1 ⁽¹⁾	B2+C2+H1+J1+N1	B2+C2+J2+N2	B2+C1+H1+J2+N2	
	≤5	R3+C1	B3+C1	R1+B2+C2	R2+B1+C1	B3+C1		

⁽¹⁾ Cuando la fachada sea de una sola hoja, debe utilizarse C2.

Figura III.13.- Condiciones de las soluciones de fachada.

La determinación conjunta de la solicitud y de la solución aceptada, sigue el esquema representado en la figura siguiente, donde la intensidad del viento, el tipo de exposición en el entorno, la pluviometría y la elección del tipo de revestimiento de fachada, son parámetros de entrada para el diseño del cerramiento:

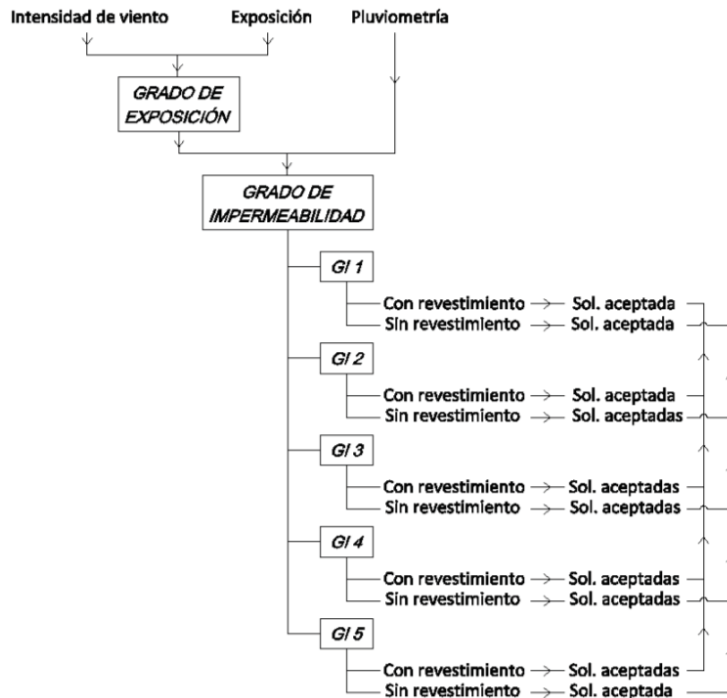


Figura III.14.- Organización del sistema de soluciones aceptadas DB-HS 1 para fachadas.

En la nomenclatura de las soluciones aceptadas presentada en la tabla anterior, el número mayor vuelve a indicar una prestación superior a la anterior.

Sin embargo, la letra no solo representa en esta ocasión el sistema constructivo empleado, sino también las propiedades resistentes del componente de la fachada, lo cual acerca su planteamiento al enfoque prestacional:

- R, resistencia a la filtración del revestimiento exterior.
- B, resistencia a la filtración de la barrera contra la penetración de agua.
- C, composición de la hoja principal de fachada.
- H, higroscopicidad del material de la hoja principal.
- J, resistencia a la filtración de las juntas en la hoja principal.
- N, resistencia a la filtración del revestimiento intermedio en la cara interior de la hoja principal.

Desgraciadamente, la definición en base a estas propiedades sigue sin permitir establecer un método de verificación prestacional válido, ya que cada una de ellas se reduce a una descripción concreta de los sistemas y materiales que deben utilizarse para la obtención de una mejor o peor propiedad en el componente (siempre según una práctica constructiva tradicional).

Cuatro de ellos se refieren a la constitución de la hoja principal de la fachada y otro más es aplicable únicamente en caso de existencia de un revestimiento exterior. El

último caracteriza la resistencia de la barrera interior a la filtración de agua. Para la hoja principal, se definen las siguientes propiedades:

- Composición (C):

“C1.- Debe utilizarse al menos una hoja principal de espesor medio. Se considera como tal una fábrica cogida con mortero de:

- ½ pie de ladrillo cerámico, que debe ser perforado o macizo cuando no exista revestimiento exterior o cuando exista un revestimiento exterior discontinuo o un aislante exterior fijados mecánicamente.

- 12 cm de bloque cerámico, bloque de hormigón o piedra natural.

C2.- Debe utilizarse una hoja principal de espesor alto. Se considera como tal una fábrica cogida con mortero de:

- 1 pie de ladrillo cerámico, que debe ser perforado o macizo cuando no exista revestimiento exterior o cuando exista un revestimiento exterior discontinuo o un aislante exterior fijados mecánicamente.

- 24 cm de bloque cerámico, bloque de hormigón o piedra natural”.

- Higroscopicidad (H):

“H1.- Debe utilizarse un material de higroscopicidad baja, que corresponde a una fábrica de:

- ladrillo cerámico de succión $\leq 4,5 \text{ kg/m}^2\cdot\text{min}$, según el ensayo descrito en UNE EN 772-11:2001 y UNE EN 772-11:2001/A1:2006.

- piedra natural de absorción $\leq 2\%$, según el ensayo descrito en UNE-EN 13755:2002”.

- Resistencia a la filtración en las juntas (J):

“J1.- Las juntas deben ser al menos de resistencia media a la filtración. Se consideran como tales las juntas de mortero sin interrupción excepto, en el caso de las juntas de los bloques de hormigón, que se interrumpen en la parte intermedia de la hoja.

J2.- Las juntas deben ser de resistencia alta a la filtración. Se consideran como tales las juntas de mortero con adición de un producto hidrófugo, de las siguientes características:

- sin interrupción excepto, en el caso de las juntas de los bloques de hormigón, que se interrumpen en la parte intermedia de la hoja.

- juntas horizontales llagueadas o de pico de flauta.

- cuando el sistema constructivo así lo permita, con un rejuntado de un mortero más rico”.

- Resistencia interior del revestimiento intermedio (N):

“N1.- Debe utilizarse al menos un revestimiento de resistencia media a la filtración. Se considera como tal un enfoscado de mortero con un espesor mínimo de 10 mm.

N2.- Debe utilizarse un revestimiento de resistencia alta a la filtración. Se considera como tal un enfoscado de mortero con aditivos hidrofugantes con un espesor mínimo de 15 mm o un material adherido, continuo, sin juntas e impermeable al agua del mismo espesor”.

La hoja principal, definida como aquella cuya función consiste en soportar la carga derivada del resto de las hojas y componentes de la fachada, tenga o no función estructural, responde a una constitución eminentemente tradicional y pesada basada en el albañilería. Se configura en base a materiales cerámicos, hormigonados o pétreos, con elevado espesor que oscila entre los 11,5 y 24 cm y ligazón con juntas de mortero, que puede llegar a ser hidrófugo.

Puede ser requerido cierto control sobre la higroscopicidad de las piezas constituyentes de la hoja principal (capacidad de un material para absorber o ceder agua en función de la humedad relativa del ambiente). Dicha propiedad exige la certificación en base a ensayo normalizado (AENOR 2001, 2008), de las características del material cerámico o pétreo, excluyendo la utilización de bloques de hormigón en el cerramiento.

Del mismo modo, puede ser requerida la presencia de un revestimiento de mortero en la cara interior de la hoja con espesor entre 1 y 1,5 cm. El mortero requiere la presencia de aditivos hidrofugantes y un espesor de 1,5 cm, en caso de ser necesaria una resistencia alta a la filtración.

Para la barrera contra la filtración de agua, pueden ser exigibles las siguientes propiedades:

- Resistencia de la barrera (B):

“B1.- Debe disponerse al menos una barrera de resistencia media a la filtración. Se consideran como tal los siguientes elementos:

- cámara de aire sin ventilar.

- aislante no hidrófilo colocado en la cara interior de la hoja principal.

B2.- Debe disponerse al menos una barrera de resistencia alta a la filtración. Se consideran como tal los siguientes elementos:

- cámara de aire sin ventilar y aislante no hidrófilo dispuestos por el interior de la hoja principal, estando la cámara por el lado exterior del aislante.

- aislante no hidrófilo dispuesto por el exterior de la hoja principal.

B3.- Debe disponerse una barrera de resistencia muy alta a la filtración. Se consideran como tal los siguientes:

- una cámara de aire ventilada y un aislante no hidrófilo de las siguientes características:

- la cámara debe disponerse por el lado exterior del aislante.

- debe disponerse en la parte inferior de la cámara y cuando ésta quede interrumpida, un sistema de recogida y evacuación del agua filtrada a la misma.

- el espesor de la cámara debe estar comprendido entre 3 y 10 cm.

- deben disponerse aberturas de ventilación cuya área efectiva total sea como mínimo igual a 120 cm² por cada 10 m² de paño de fachada entre forjados repartidas al 50% entre la parte superior y la inferior. Pueden utilizarse como aberturas rejillas, llagas desprovistas de mortero, juntas abiertas en los revestimientos discontinuos que tengan una anchura mayor que 5 mm u otra solución que produzca el mismo efecto.

- revestimiento continuo intermedio en la cara interior de la hoja principal, de las siguientes características:

- *estanqueidad al agua suficiente para que el agua de filtración no entre en contacto con la hoja del cerramiento dispuesta inmediatamente por el interior del mismo.*

- *adherencia al soporte suficiente para garantizar su estabilidad.*

- *permeabilidad suficiente al vapor para evitar su deterioro como consecuencia de una acumulación de vapor entre él y la hoja principal.*

- *adaptación a los movimientos del soporte y comportamiento muy bueno frente a la fisuración, de forma que no se fisure debido a los esfuerzos mecánicos producidos por el movimiento de la estructura, por los esfuerzos térmicos relacionados con el clima y con la alternancia día-noche, ni por la retracción propia del material constituyente del mismo.*

- *estabilidad frente a los ataques físicos, químicos y biológicos que evite la degradación de su masa”.*

Las exigencias se describen en base a su disposición constructiva, por lo que no se define ninguna relación entre el diseño y la prestación ofrecida. Esta causalidad se reduce a la mera consulta prescriptiva de la tabla representada en la figura III.13.

Respecto a la barrera contra la filtración de agua, ha de subrayarse la utilización de aislantes térmicos como elementos de contención de la humedad en estado líquido:

El DB-HE1 que se analizará más adelante, estima con buen criterio la prohibición absoluta de permitir condensaciones (presencia de agua líquida), sobre las superficies de los aislantes térmicos utilizados en la ejecución de los cerramientos. De esta manera se pretende garantizar la durabilidad de los materiales utilizados (sean cuales sean sus propiedades hidrófilas) y el mantenimiento de sus características térmicas, las cuales se ven moderadamente afectadas por la presencia de vapor de agua (como se ha analizado en el capítulo II.2 y se expondrá en el capítulo VI) y de forma muy acusada por la absorción de agua líquida por parte del material.

Por ello, considerar la utilización de aislantes térmicos como barreras frente a la penetración de agua (y por ende en contacto con agua en estado líquido para cumplir su función), se considera a todos los efectos un *dislate*.

Bajo ningún concepto ha de permitirse la presencia de agua líquida en contacto con estos elementos y por ello, su utilización como barreras frente a la penetración de agua debe quedar totalmente descartada salvo en el caso de cámaras de aire ventiladas, con el aislante justo detrás del revestimiento exterior, cuando la radiación solar y la constante renovación de aire propician la rápida evaporación del agua incidente.

La descripción relativa a las propiedades del revestimiento utilizado exteriormente, en caso de ser dispuesto, se circunscribe a las características de puesta en obra del sistema, como único parámetro determinante e influyente para la resistencia a la filtración (no se incide en porosidad, acabado, propiedades del mortero...):

- Resistencia del revestimiento (R):

“R1.- El revestimiento exterior debe tener al menos una resistencia media a la filtración. Se considera que proporcionan esta resistencia los siguientes:

- *revestimientos continuos de las siguientes características:*
 - *espesor comprendido entre 10 y 15 mm, salvo los acabados con una capa plástica delgada.*
 - *adherencia al soporte suficiente para garantizar su estabilidad.*
 - *permeabilidad al vapor suficiente para evitar su deterioro como consecuencia de una acumulación de vapor entre él y la hoja principal.*
 - *adaptación a los movimientos del soporte y comportamiento aceptable frente a la fisuración.*
 - *cuando se dispone en fachadas con el aislante por el exterior de la hoja principal, compatibilidad química con el aislante y disposición de una armadura constituida por una malla de fibra de vidrio o de poliéster.*
- *revestimientos discontinuos rígidos pegados de las siguientes características:*
 - *de piezas menores de 300 mm de lado;*
 - *fijación al soporte suficiente para garantizar su estabilidad;*
 - *disposición en la cara exterior de la hoja principal de un enfoscado de mortero;*
 - *adaptación a los movimientos del soporte.*

R2.- *El revestimiento exterior debe tener al menos una resistencia alta a la filtración. Se considera que proporcionan esta resistencia los revestimientos discontinuos rígidos fijados mecánicamente dispuestos de tal manera que tengan las mismas características establecidas para los discontinuos de R1, salvo la del tamaño de las piezas.*

R3.- *El revestimiento exterior debe tener una resistencia muy alta a la filtración. Se considera que proporcionan esta resistencia los siguientes:*

- *revestimientos continuos de las siguientes características:*
 - *estanquidad al agua suficiente para que el agua de filtración no entre en contacto con la hoja del cerramiento dispuesta inmediatamente por el interior del mismo.*
 - *adherencia al soporte suficiente para garantizar su estabilidad.*
 - *permeabilidad al vapor suficiente para evitar su deterioro como consecuencia de una acumulación de vapor entre él y la hoja principal.*
 - *adaptación a los movimientos del soporte y comportamiento muy bueno frente a la fisuración, de forma que no se fisure debido a los esfuerzos mecánicos producidos por el movimiento de la estructura, por los esfuerzos térmicos relacionados con el clima y con la alternancia día-noche, ni por la retracción propia del material constituyente del mismo.*
 - *estabilidad frente a los ataques físicos, químicos y biológicos que evite la degradación de su masa.*
- *revestimientos discontinuos fijados mecánicamente de alguno de los siguientes elementos dispuestos de tal manera que tengan las mismas características establecidas para los discontinuos de R1, salvo la del tamaño de las piezas:*
 - *escamas: elementos manufacturados de pequeñas dimensiones (pizarra, piezas de fibrocemento, madera, productos de barro).*
 - *lamas: elementos que tienen una dimensión pequeña y la otra grande (lamas de madera, metal).*
 - *placas: elementos de grandes dimensiones (fibrocemento, metal).*

- *sistemas derivados: sistemas formados por cualquiera de los elementos discontinuos anteriores y un aislamiento térmico*".

La anterior descripción de componentes, además es incompleta, dejando hueco a interpretaciones interesadas de la misma para la obtención de un grado de impermeabilidad deseado.

Así, por ejemplo, un revestimiento exterior metálico en celosía (no opaco y por lo tanto, totalmente permeable), puede ser justificado en proyecto de acuerdo a CTE, como R3 (muy alta resistencia a la filtración), dado que las únicas condiciones que se le exigen, es que sean placas metálicas de grandes dimensiones, establemente fijadas al soporte y adaptables a los movimientos del mismo.

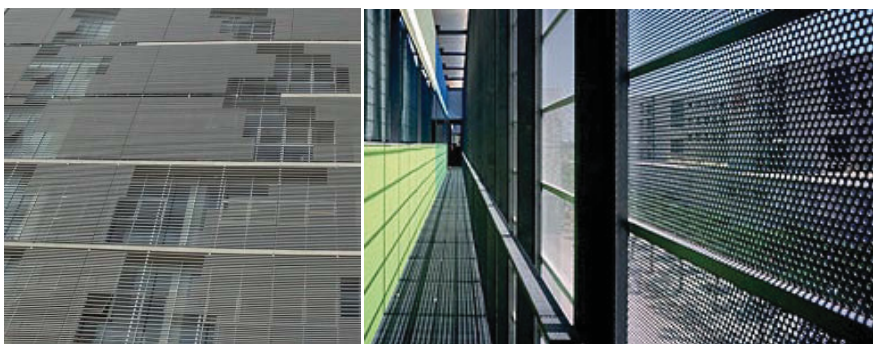


Figura III.15.- Ejemplos de fachada no opacas, que pueden ser en virtud de la norma, clasificadas como muy resistentes a la filtración de agua. (R3).

En cualquier caso, no puede afirmarse que la asignación de un determinado grado de impermeabilidad a las diferentes soluciones planteadas, haya sido realizada de forma enteramente aleatoria.

La investigación prenORMATIVA realizada por diferentes institutos de reconocido prestigio fue amplia y diversa: un amplio elenco de soluciones derivadas de la experiencia acumulada por la práctica constructiva, fueron sometidas a una profusa validación experimental, con objeto de cualificar comparativamente su comportamiento.

El Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) fue el encargado de realizar los trabajos de investigación prenORMATIVA orientados a establecer una metodología para la validación experimental, mediante el ensayo de las soluciones aceptadas para cubiertas y fachadas. La información recopilada en la extensa campaña de ensayos, permitió la clasificación cualitativa de las distintas soluciones en función de su mayor o menor resistencia a la filtración.

No obstante y tal y como se analizará en mayor detalle en el capítulo V de este trabajo, los propios parámetros utilizados para ensayar estas soluciones, no obedecen a una caracterización exacta de las condiciones de exposición. Ello conlleva que la campaña de ensayos realizada, aunque aporte una información aproximada de la resistencia a la humedad, no caracterice el grado de prestación ofrecido por el cerramiento en cada situación de servicio.

Así pues, esta caracterización mediante los ensayos vigentes en la actualidad, plantea serias dudas acerca de su coherencia respecto a las soluciones reales.

La influencia de estas deficiencias se amplía con la política de expansión de las soluciones aceptadas impulsada por el CTE: consciente del limitado número de soluciones aceptadas, el IETcc ha venido ampliando su número mediante la incorporación en el Catálogo de Elementos Constructivos de nuevas soluciones aceptadas.

Estas se han caracterizado siguiendo los siguientes criterios emitidos por el equipo de la Unidad de Calidad en la Construcción del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), encargado de la investigación para la redacción del Código Técnico de la Edificación (Linares y Tenorio, 2009). Estos criterios se homologan a todos los efectos, con las validaciones experimentales realizadas por el IVE:

“1.- Se ha considerado que una fachada tiene un GI 5 si, para la presión de diseño en función de la altura del edificio, exposición y zona eólica, es estanca al agua según los ensayos descritos o referenciados en las siguientes normas:

a) Con carácter general, procedimiento A de UNE-EN 12865:2002. Comportamiento higrotérmico de componentes y elementos de edificación. Determinación de la resistencia al agua de lluvia de muros exteriores bajo impulsos de presión de aire.

b) En caso de fachadas ligeras, UNE-EN 12154:2000. Fachadas ligeras. Estanqueidad al agua. Requisitos y clasificación, o análogamente UNE-EN 13051:2001 Fachadas ligeras. Estanqueidad al agua. Ensayo in situ.

2.- Puede considerarse que una fachada tiene GI 4 si no se producen fugas, según los ensayos descritos en las normas anteriores, para presiones inferiores, pero no menores a 0,25 veces la de diseño y a 300 Pa. En este caso el sistema o las hojas interiores no deben presentar daños ante las posibles pérdidas de estanqueidad puntuales para presiones mayores a éstas”.

Como se profundizará más adelante, de lo anterior se desprende la relación directa planteada entre la presión superada durante el ensayo (equivalente a la presión eólica en condiciones reales) y el grado de impermeabilidad prescrito.

Sin embargo, la influencia de la pluviometría no queda cuantificada, puesto que el aporte de agua es constante en las metodologías de ensayo, mientras que en el ambiente exterior, la lluvia batiente recogida sobre la fachada depende de la pluviometría, de la presión eólica simultánea, del periodo de retorno considerado y de la duración del chubasco.

De todo ello se deduce, que la correlación solicitud-exigencia establecida a través de estos ensayos:

- No es actualmente cuantificable.
- No responde a un método científico evaluable y comparable, sino a una correlación experimental aproximada.
- Las caracterizaciones experimentales realizadas, no se ajustan a las exigencias de solicitud reales de cada cerramiento concreto.
- Cada nueva solución alternativa precisa de una validación experimental en condiciones controladas, que no se ajusta a las exigencias de solicitud y que por lo tanto solo la compara en relación a otras.

- Se establece una correlación experimental entre prestación y condiciones de ensayo, no entre prestación y exigencia.

III.3.3.- VALIDACIÓN DE LA SOLICITACIÓN SOBRE FACHADAS

Centrando el estudio en los cerramientos verticales sobre rasante, dos han sido los parámetros utilizados para caracterizar el grado de impermeabilidad: grado de exposición al viento e índice pluviométrico.

Tal y como se ha comprobado anteriormente, el grado de exposición al viento se define por la velocidad máxima de viento asociada a un intervalo de 10 minutos, para un periodo de retorno de 50 años en el emplazamiento.

Esta velocidad asociada a cada una de las tres zonas de exposición al viento A, B y C definidas en el DB-HS1, se refiere a la velocidad esperada sobre un cerramiento de 10 m de altura en un terreno llano y libre de obstáculos:

- Zona A cuando $v = 26$ m/s.
- Zona B cuando $v = 27$ m/s.
- Zona C cuando $v = 29$ m/s.

Utilizando estas velocidades básicas marcadas por el DB-HS1 y adoptando la metodología de cálculo recogida en el DB-SE-AE, Acciones en la edificación, se van a determinar las presiones eólicas (exposición al viento), presentes en la caracterización de la exigencia básica de protección frente a la humedad.

Según el DB-SE-AE, la acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto o presión estática, puede expresarse como:

$$q_e = q_b c_e c_p \quad [\text{ec. III.1}]$$

Siendo q_e [kN/m²], la presión estática generada por el viento sobre un punto de la superficie del edificio, q_b [kN/m²] la presión dinámica del viento, c_e [-] el coeficiente de exposición al viento y c_p [-], el coeficiente de presión relativo a la forma y orientación del cerramiento respecto al viento.

El valor de la presión dinámica del viento q_b , puede obtenerse mediante la siguiente expresión, relacionando la velocidad media básica del viento v_b [m/s], a lo largo de un periodo de 10 minutos en una zona plana y desprotegida (tipo II), a una altura de 10 m sobre el suelo y para un periodo de retorno de 50 años.

Como se aprecia, la definición corresponde con el valor utilizado para la definición del grado de impermeabilidad en fachadas (la expresión no ha sido adaptada para su aplicación en el DB-HS 1).

$$q_b = 0,5 \rho_a v_b^2 \quad [\text{ec. III.2}]$$

Tomando una densidad para el aire ρ_a aproximadamente igual a 1,25 kg/m³, si bien esta es ligeramente variable en función de la altitud, temperatura y humedad

relativa, es posible obtener la presión dinámica asociada a cada zona eólica utilizada para determinar la exigencia en fachadas:

$$\text{Zona A: } q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 26^2 = 422,5 \text{ Pa} \approx 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Zona B: } q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27^2 = 455,6 \text{ Pa} \approx 0,46 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Zona C: } q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 29^2 = 525,6 \text{ Pa} \approx 0,53 \text{ kN/m}^2$$

Adoptando la expresión aprobada por el Comité Internacional de Pesos y Medidas para el cálculo de la densidad del aire (Picard et al., 2008), puede estimarse la influencia de las condiciones atmosféricas sobre la densidad, permitiendo establecer los rangos de variabilidad posibles en el cálculo anterior.

La variación en la densidad del aire en función de la altura del emplazamiento puede llegar hasta el 30% para alturas de 3000 m, si bien dadas las condiciones topográficas de nuestro país, la altura de los emplazamientos rara vez permite variaciones superiores al 20% respecto al nivel del mar. La determinación de dicho factor es fácilmente aplicable, dada la accesibilidad a los datos de altura de los emplazamientos.

La temperatura es menos significativa para la densidad del aire, encontrando para variaciones de 10°C, cambios en torno a un 3,5% de la densidad inicial. Todavía resulta menos significativa la humedad relativa del aire, con variaciones cercanas al 0,3% para fluctuaciones del 40% en la humedad relativa ambiente.

También el dato de velocidad media del viento puede variar si se asumen otros periodos de retorno y por lo tanto, variando las posibilidades anuales de que se registren velocidades de viento superiores a las consignadas.

En el entorno de la vida útil estimada para un edificio, la variación de la presión eólica adoptada según el periodo de retorno, supone una incertidumbre de $\pm 5\%$ (CTE DB-SE AE).

Periodo de retorno (años)	1	2	5	10	20	50	200
Coefficiente corrector	0,41	0,78	0,85	0,90	0,95	1,00	1,08

Figura III.16.- Corrección de la velocidad en función del periodo de servicio.

El coeficiente de exposición al viento c_e tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno. Aunque hay varias expresiones para caracterizar la variación de la velocidad de viento en relación a la altura de exposición, para altura sobre el terreno no superior a 200 m, puede utilizarse la siguiente expresión:

$$c_e = F (F + 7k)$$

$$F = k \ln(\text{máx}(z, Z) / L)$$

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Figura III.17.- Coeficientes para el tipo de entorno.

Ajustando el cálculo para un edificio con una altura de 10 m (z) sobre el terreno, situado en un terreno rural llano (tipo II), sin obstáculos ni arbolado de importancia, el coeficiente de exposición al viento adquiere un valor de 2,776, valor que coincide de forma precisa con la tabulación expresada por el DB-SE-AE para una resolución más inmediata del valor:

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Figura III.18.- Valores tabulados del coeficiente de exposición c_e .

Por último, el coeficiente de presión relativo a la forma y orientación del cerramiento respecto al viento c_p , depende de la dirección del viento, de la forma del edificio, de la posición de cerramiento considerado y de su área de influencia. Su resolución resulta más compleja, por la dependencia a la definición exacta del edificio. No obstante su valor oscila habitualmente en un abanico cerrado en torno a 0,7-0,8.

De lo anterior se desprende que para cada zona eólica definida en la geografía nacional, una altura de 10 m y un entorno de tipo II (E0), la presión estática definida por el viento, según la ec. III.1, es igual a:

$$\text{Zona A: } q_e = 0,42 \cdot 2,78 \cdot 0,75 = 0,876 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Zona B: } q_e = 0,46 \cdot 2,78 \cdot 0,75 = 0,959 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Zona C: } q_e = 0,53 \cdot 2,78 \cdot 0,75 = 1,105 \text{ kN/m}^2$$

Dichas condiciones, propiciarían en el DB-HS 1 un grado de exposición al viento V2 en todo cualquier, de acuerdo a la tabla 2.6 del CTE DB-HS1 (Figura III.9).

Se deduce por lo tanto que variaciones en la magnitud de la presión ejercida por el viento de más una cuarta parte de su valor (0,876 frente a 1,105 kN/m²), se identifican en el CTE con un mismo nivel de exposición al viento (V2), lo que no se corresponde con una caracterización precisa de la exposición.

Además, en función de la pluviometría del lugar, el grado de impermeabilidad requerido para una exposición V2, puede oscilar entre 2 y 5 (figura III.10), sin ser precisado ningún criterio técnico que justifique esa asignación.

Queda acreditado por lo tanto que la graduación cualitativa realizada al determinar la exigencia sobre el cerramiento, impide relacionar la solicitud existente con un comportamiento o prestación medible y coherente.

Si la presión estática definida por el viento a través de la ecuación III.1 se calcula para valores extremos de altura del edificio (<15 m hasta 100 m) y para diferentes tipos de entorno del cerramiento (I, II, III, IV y V), pueden obtenerse los rangos de presión que se pueden llegar a obtener para cada uno de los grados de exposición al viento definidos en el Documento Básico HS1 (V1, V2 o V3):

Tabla III.4.- Rango de presión estática de viento asociado a la exposición.

Grado de exposición al viento	Rango máximo de presión estática [kN/m ²]	Grado de impermeabilidad asociado en función de la pluviometría (figura III.10)
V1	0,816 a 1,871 ^(*)	2 a 5
V2	0,515 a 1,527	2 a 5
V3	0,353 ^(**) a 0,946	1 a 5

(*) Estimada para un edificio en zona eólica A, de altura menor a 10 m en un centro urbano y esbeltez menor a 0,5.

(**) Estimada para un edificio en zona eólica C, altura 100 m al borde de una superficie abierta y esbeltez superior a 0,75.

Se desprende de lo anterior que una solicitud de presión estática del viento sobre el cerramiento de 0,9 kN/m², podría ser asignada indiferentemente a cualquier calificación del grado de exposición al viento V1, V2 o V3.

Sin embargo y como se observa en la figura III.9, la clasificación arbitraria realizada del grado de exposición al viento (V1, V2 o V3), sí influye en el grado de impermeabilidad exigido para una misma pluviometría y por lo tanto, influye en la solución aceptable.

Partiendo de la arbitrariedad de esta asignación de grados de exposición al viento, otras conclusiones similares pueden obtenerse analizando en profundidad la determinación de las solicitudes presentada en la figura III.10. Así por ejemplo, la exigencia es constante en un grado de exposición V2, sea para pluviometría III (500-1000 mm/año), como para IV (300-500 mm/año). No es la misma sin embargo para otros grados de exposición al viento, con idéntica pluviometría.

Respecto a la pluviometría, la cuantificación de la exigencia en base a la precipitación anual total, es claramente discutible, dado que los episodios de tormenta

más intensos (Ministerio de Fomento, 1999), se producen en zonas del Levante español (caracterizadas por escasa precipitación anual) con episodios de lluvia muy intensa que en consecuencia, deberían ser también tenidos en cuenta para la caracterización de la sollicitación.

Al adoptar un valor promedio anual, se consideran más desfavorable lluvias menos intensas como las producidas en Galicia pero continuadas, que las más intensas mediterráneas, pero menores en un cómputo anual, siendo ambos fenómenos relevantes para la caracterizar la sollicitación por humedad.

Recordando que la caracterización de ambos parámetros (viento y precipitación), se realiza en base a una duración diferente de ambos fenómenos (racha de viento durante 10 minutos, precipitación anual), que los periodos utilizados son diferentes (periodo de retorno de 50 años para el viento, promedio de 30 años para la precipitación) y que la valoración realizada no es uniforme (racha máxima para el viento, precipitación media para la lluvia)... la asignación realizada, parece a todas luces más aproximada y arbitraria que prestacional y fundada.

Ha quedado de manifiesto la ausencia de rigor inherente a la caracterización actual de la exposición a la humedad en los cerramientos verticales españoles. Se abre por lo tanto un ámbito de estudio orientado a la mejora de la objetividad y rigor científicos de esta caracterización, que será abordada con un alto grado de detalle a lo largo del capítulo IV de este trabajo doctoral.

III.3.2.4.- VALIDACIÓN DE LAS SOLUCIONES ACEPTADAS PARA FACHADAS

Se van a analizar comparativamente en este apartado, las soluciones aceptadas marcadas por el DB-HS1 para los cerramientos verticales sobre el terreno.

Como ya se ha indicado, su comparación directa no es factible, dado que las mismas no responden a un cálculo científico repetible y objetivo. Al contrario, estas soluciones parten de la experiencia constructiva previa y se han validado mediante ensayo ante diferentes condiciones, para caracterizar de forma aproximada, su mayor o menor resistencia frente a la penetración de agua.

Dado que estos ensayos estandarizados simulan condiciones de exposición poco realistas y además establecidas de una forma aproximada y poco rigurosa (el capítulo V se dedica íntegramente a este aspecto), la caracterización resultante de la estanqueidad de cada cerramiento es también subjetiva y no lleva aparejada ningún parámetro matemático que pueda ser analizado o comparado.

Tampoco es posible la comparación estricta de los materiales y configuración de cada una de las soluciones aceptadas, dado que sus elementos y composición tampoco son uniformes en todas ellas.

No obstante y a pesar de todo, va a ser posible establecer una comparación crítica, utilizando para ello, los mismos criterios utilizados por el DB-HS1 para describir la adecuación de dichas soluciones.

Así, el DB-HS1 caracteriza cada solución por las propiedades resistentes del componente de la fachada y por un número que indica el grado de capacidad de dichas propiedades resistentes:

- R, resistencia a la filtración del revestimiento exterior.
- B, resistencia a la filtración de la barrera contra la penetración de agua.
- C, composición de la hoja principal de fachada.
- H, higroscopicidad del material de la hoja principal.
- J, resistencia a la filtración de las juntas en la hoja principal.
- N, resistencia a la filtración del revestimiento intermedio en la cara interior de la hoja principal.

		Con revestimiento exterior				Sin revestimiento exterior			
Grado de impermeabilidad	≤1	R1+C1 ⁽¹⁾				C1 ⁽¹⁾ +J1+N1			
	≤2					B1+C1+J1+N1	C2+H1+J1+N1	C2+J2+N2	C1 ⁽¹⁾ +H1+J2+N2
	≤3	R1+B1+C1	R1+C2	B2+C1+J1+N1	B1+C2+H1+J1+N1	B1+C2+J2+N2	B1+C1+H1+J2+N2		
	≤4	R1+B2+C1	R1+B1+C2	R2+C1 ⁽¹⁾	B2+C2+H1+J1+N1	B2+C2+J2+N2	B2+C1+H1+J2+N2		
	≤5	R3+C1	B3+C1	R1+B2+C2	R2+B1+C1	B3+C1			

⁽¹⁾ Cuando la fachada sea de una sólo hoja, debe utilizarse C2.

Figura III.19.- Condiciones de las soluciones de fachada.

Tomando como referencia las soluciones aceptadas recogidas en la figura III.19, pueden obtenerse interesantes conclusiones del análisis de su contenido. Dado que todas las soluciones contenidas en una misma fila se consideran con un comportamiento equivalente frente a la penetración de agua, es posible establecer relaciones de equivalencia entre las mismas, llegando a interesantes y descorazonadoras conclusiones:

Mediante una simple asociación algebraica para las soluciones con revestimiento exterior, puede operarse de la siguiente manera entre soluciones igualmente aceptadas por el DB y a todas luces equivalentes entre sí:

$$\text{Para } GI \leq 3: \quad C1 + \cancel{R1} + B1 = C2 + \cancel{R1}$$

De lo anterior se desprende a todos los efectos que la configuración C2 para el componente, aporta similares prestaciones de estanqueidad al cerramiento que la generada por la configuración C1+B1.

Si desarrollamos similares relaciones para el resto de grados de impermeabilidad, pueden identificarse las siguientes ecuaciones, jerarquizadas para una creciente prestación del componente:

$$GI \leq 3: \quad C2 = C1 + B1 \quad \text{[ec. III.3]}$$

$$GI \leq 4: \quad \cancel{C1} + R2 = R1 + B2 + \cancel{C1}$$

$$GI \leq 4: \quad R2 = R1 + B2 \quad \text{[ec. III.4]}$$

$$GI \leq 4: \quad \cancel{R1} + B2 + C1 = \cancel{R1} + B1 + C2 \quad \text{Sustituyendo la ec. III.3:}$$

$$GI \leq 4: \quad B2 + \cancel{C1} = B1 + \cancel{C1} + B1$$

$$GI \leq 4: \quad B2 = B1 + B1 \quad \text{[ec. III.5]}$$

$$GI \leq 5: \quad B3 + \cancel{C1} = R2 + B1 + \cancel{C1}$$

$$GI \leq 5: \quad B3 = R2 + B1 = R1 + B1 + B2$$

$$GI \leq 5: \quad R3 + \cancel{C1} = R2 + B1 + \cancel{C1} = B3 + \cancel{C1}$$

$$GI \leq 5: \quad R3 = R2 + B1 = B3$$

Añadiendo a estas equivalencias las correspondientes a soluciones sin revestimiento exterior (véase figura III.19), pueden obtenerse expresiones similares para cada grado de impermeabilidad, operando algebraicamente en cada nivel de exigencia. Así para el grado 2 se tiene:

$$GI \leq 2: \quad B1 + \cancel{C1} + J1 + N1 = \cancel{C1} + H1 + J2 + N2$$

$$GI \leq 2: \quad B1 + J1 + N1 = H1 + J2 + N2$$

$$GI \leq 2: \quad \cancel{C2} + H1 + J1 + N1 = \cancel{C2} + J2 + N2$$

$$GI \leq 2: \quad H1 + J1 + N1 = J2 + N2 \quad \text{Igualando:}$$

$$GI \leq 2: \quad B1 + \cancel{J1} + \cancel{N1} = H1 + H1 + \cancel{J1} + \cancel{N1}$$

$$GI \leq 2: \quad B1 = H1 + H1$$

Para las relaciones correspondientes al grado de impermeabilidad 3, se pueden despejar las siguientes expresiones, si se utiliza para ello la relación obtenida en la ecuación III.3, también referida a este grado de impermeabilidad:

$$GI \leq 3: \quad B2 + C1 + \cancel{J1} + \cancel{N1} = B1 + C2 + H1 + \cancel{J1} + \cancel{N1}$$

$$GI \leq 3: \quad B2 + \cancel{C1} = B1 + (\cancel{C1} + B1) + H1$$

$$GI \leq 3: \quad B2 = B1 + B1 + H1 \quad \text{[ec. III.6]}$$

$$GI \leq 3: \quad B2 + \cancel{C1} + J1 + N1 = B1 + \cancel{C1} + H1 + J2 + N2$$

$$GI \leq 3: \quad B2 + J1 + N1 = B1 + H1 + J2 + N2$$

$$GI \leq 3: \quad (\cancel{B1} + B1 + \cancel{H1}) + J1 + N1 = \cancel{B1} + \cancel{H1} + J2 + N2$$

$$GI \leq 3: \quad B1 + J1 + N1 = J2 + N2 \quad \text{[ec. III.7]}$$

$$GI \leq 3: \quad B2 + C1 + J1 + N1 = B1 + C2 + J2 + N2$$

$$GI \leq 3: \quad (\cancel{B1} + \cancel{B1}) + \cancel{C1} + J1 + N1 = \cancel{B1} + (\cancel{C1} + \cancel{B1}) + J2 + N2$$

$$GI \leq 3: \quad \text{ii } \boxed{J1 + N1 = J2 + N2} !!$$

Si seguimos adelante analizando el grado de impermeabilidad 4, utilizando la ec. III-4 referida al mismo grado de impermeabilidad, podemos deducir las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \text{GI} \leq 4: \quad & \cancel{B2} + \cancel{C2} + H1 + J1 + N1 = \cancel{B2} + \cancel{C2} + J2 + N2 \\ \text{GI} \leq 4: \quad & H1 + J1 + N1 = J2 + N2 \quad \text{[ec. III.8]} \\ \text{GI} \leq 4: \quad & \cancel{B2} + C2 + \cancel{H1} + J1 + N1 = \cancel{B2} + C1 + \cancel{H1} + J2 + N2 \\ \text{GI} \leq 4: \quad & C2 + J1 + N1 = C1 + J2 + N2 \quad \text{[ec. III.9]} \end{aligned}$$

Igualando las ecuaciones III.8 y III.9:

$$\begin{aligned} \text{GI} \leq 4: \quad & C2 + \cancel{J1} + \cancel{N1} = C1 + H1 + \cancel{J1} + \cancel{N1} \\ \text{GI} \leq 4: \quad & C2 = C1 + H1 \quad \text{[ec. III.10]} \end{aligned}$$

Aunque en este grado de impermeabilidad las expresiones parecen consistentes entre sí, dejan de serlo al pensar, como la lógica indica, que las características resistentes de los componentes son constantes y que por lo tanto no varían según el grado de impermeabilidad que deben resistir (por ejemplo, la resistencia de un revestimiento a la penetración de agua es la misma, sea cual sea la cantidad de agua aplicada, ya que es una propiedad dependiente del material, no de la exposición).

Se indica además en el DB-HS 1, que cualquier solución aceptada, puede sustituir a aquellas que tengan un número de denominación más pequeño. No obstante, aplicando la ec. III.10, propia del grado de impermeabilidad ≤ 4 , a otro grado de impermeabilidad ($\text{GI} \leq 3$), para las que lógicamente también debería ser adecuada, se obtienen las siguientes paradojas:

$$\begin{aligned} \cancel{C1} + H1 &= \cancel{C1} + B1 \\ H1 &= B1 \end{aligned}$$

Aplicando esta condición sobre la ecuación III.6, se obtiene:

$$B2 = B1 + \cancel{B1} + B1 = H1 + H1 + H1 \quad \text{[ec. III.11]}$$

Simplemente sustituyendo la ecuación III.5 en la ecuación III.11 que se acaba de obtener, se obtiene la primera incongruencia asociada a estas soluciones aceptadas:

$$B2 = B1 + \cancel{B1} + \cancel{B1} = \cancel{B1} + \cancel{B1}$$

$$\text{¡¡ } \boxed{B2 = B1 = 0} \text{ !!}$$

Igualmente se podría deducir que:

$$\text{¡¡ } \boxed{H1 = 0} \text{ !!}$$

Mientras que para un grado de impermeabilidad 4, la condición B2 es equivalente a B1 + B1 (ec. III.5), para un grado de impermeabilidad 3, la misma condición B2 resulta equivalente a B1 + B1 + H1 o bien a B1 + B1 + B1 (ecuación III.6). Se deduce de todo lo anterior, que la condición resistente B2 intrínseca del componente, no es constante, sino que varía con la sollicitación reduciéndose conforme aumenta la sollicitación, lo cual carece de sentido físico.

Valiéndonos únicamente de la notación algebraica utilizada por la propia norma, se ha demostrado de su simple operación que:

- Las prestaciones asignadas a una misma configuración (H1, J1, N1, J2, N2), contra toda lógica, no son constantes y propias del elemento físico del cerramiento, sino que a tenor de la normativa actual, se les supone una mayor o menor resistencia, en función del grado de exigencia.
- Soluciones con prestaciones diferentes están siendo utilizadas en las mismas condiciones para enfrentarse a una misma exigencia, resultando en un riesgo variable e indeterminado de presencia inadecuada de agua y humedad en la edificación, según la solución que se adopte.
- Las soluciones aceptadas recogidas por el DB-HS 1, no responden a un patrón definido ni equivalente entre ellas, respondiendo únicamente a composiciones y percepciones cualitativas extraídas de la práctica habitual y de la realización de ensayos que no representan adecuadamente la exposición real existente sobre los cerramientos.
- En definitiva, las soluciones aceptadas no se ajustan a la correlación sollicitación-exigencia, no resultando por tanto, prestacionales.

III.3.5.- MÉTODOS DE VERIFICACIÓN EN DB-HE 1

Respecto al riesgo de aparición de humedades de condensación, tratado en el DB-HE 1, la comprobación de prestacionalidad se realiza mediante un método de verificación basado en una adaptación de la norma UNE-EN ISO 13788:2002 - Características de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial.

Este método, recogido décadas antes por la norma DIN 4108 y planteado ya en 1959 (Glaser), se fundamenta en la asunción de hipótesis con fuertes limitaciones e incertidumbres, acordes al estado del conocimiento en la fecha de su desarrollo. A su planteamiento marcadamente simplista y orientado a una resolución rápida y analítica, se añade el hecho de que las soluciones aceptadas por el DB-HS 1 corresponden fundamentalmente a tipologías constructivas pesadas y de gran masa, en las que los resultados de este método presentan si cabe, una menor fiabilidad.

El documento básico se aplica a todos los elementos que configuran la envolvente del edificio, excepto a cerramientos en contacto con el terreno.

Dentro de la exigencia básica de limitación de la demanda energética, por su estrecha relación con los niveles de aislamiento térmico existentes, se incluye la necesidad de reducir el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e

intersticiales que puedan perjudicar las características de la envolvente, así como de tratar adecuadamente los puentes térmicos evitando problemas higrotérmicos en los mismos.

Para reducir dicho riesgo, se define este método de verificación basado en unos simples principios que se aplicarán de forma independiente para la comprobación de dos efectos diferenciados: condensación superficial en la hoja interior del cerramiento y condensación intersticial en el cerramiento.

Ambos métodos de verificación se desarrollan a continuación, completando la metodología marcada en la norma, con otras partes no recogidas en la misma y que únicamente aparecen mostradas en la citada norma UNE.

III.3.5.1.- Método de verificación frente a la condensación superficial

La comprobación frente a condensaciones superficiales, no es necesaria en particiones interiores que linden con espacios no habitables con escasa producción de vapor de agua.

El cumplimiento de la exigencia de prestación frente a la condensación superficial se acredita mediante la comparación del factor de temperatura de la superficie interior existente f_{Rsi} y el factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$. La verificación se realiza mediante el uso de datos climáticos interiores y exteriores referidos al mes de enero (condiciones más desfavorables), para la localidad de ubicación del edificio.

Localidad		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Madrid	T _{med}	6,2	7,4	9,9	12,2	16,0	20,7	24,4	23,9	20,5	14,7	9,4	6,4
	HR _{med}	71	66	56	55	51	46	37	39	50	63	70	73
Málaga	T _{med}	12,2	12,8	14,0	15,8	18,7	22,1	24,7	25,3	23,1	19,1	15,1	12,6
	HR _{med}	71	70	66	65	61	59	60	63	65	70	72	72
Melilla	T _{med}	13,2	13,8	14,6	15,9	18,3	21,5	24,4	25,3	23,5	20,0	16,6	14,1
	HR _{med}	72	72	71	70	69	68	67	68	72	75	74	73
Murcia	T _{med}	10,6	11,4	12,6	14,5	17,4	21,0	23,9	24,6	22,5	18,7	14,3	11,3
	HR _{med}	72	69	69	68	70	71	72	74	73	73	73	73
Ourense	T _{med}	7,4	9,3	10,7	12,4	15,3	19,3	21,9	21,7	19,8	15,0	10,6	8,2
	HR _{med}	83	75	69	70	67	64	61	62	64	73	83	84
Oviedo	T _{med}	7,5	8,5	9,5	10,3	12,8	15,8	18,0	18,3	17,4	14,0	10,4	8,7
	HR _{med}	77	75	74	77	79	80	80	80	78	78	78	76
Palencia	T _{med}	4,1	5,6	7,5	9,5	13,0	17,2	20,7	20,3	17,9	13,0	7,6	4,4
	HR _{med}	84	77	71	70	67	64	58	59	63	73	80	85
Palma de Mallorca	T _{med}	11,6	11,8	12,9	14,7	17,6	21,8	24,6	25,3	23,5	20,0	15,6	13,0
	HR _{med}	71	69	68	67	69	69	67	71	73	72	72	71
Palmas, Las	T _{med}	17,5	17,6	18,3	18,7	19,9	21,4	23,2	24,0	23,9	22,5	20,4	18,3
	HR _{med}	68	67	65	66	65	67	66	67	69	70	70	68
Pamplona	T _{med}	4,5	6,5	8,0	9,9	13,3	17,3	20,5	20,3	18,2	13,7	8,3	5,7
	HR _{med}	80	73	68	66	66	62	58	61	61	68	76	79
Pontevedra	T _{med}	9,9	10,7	11,9	13,6	15,4	18,8	20,7	20,5	19,1	16,1	12,6	10,3
	HR _{med}	74	73	69	67	68	66	65	65	69	72	73	74

Figura III.20.- Datos climáticos mensuales de capitales de provincia, que también serán utilizados a lo largo del capítulo VI.

Los datos climáticos relativos a las condiciones exteriores, han sido tabulados en el DB-HE 1 para las capitales de provincia españolas, en base a valores medios mensuales. Para aquellos edificios fuera de las capitales, en zonas con datos estadísticos no registrados, las condiciones se aproximan del siguiente modo:

- Para altura topográfica del municipio inferior a la de su capital de provincia, se adoptarán los valores tabulados para la capital de provincia.
- Para altura topográfica del municipio superior a la de su capital de provincia:
 - Se reducirá 1 °C en la temperatura media por cada 100 m de desnivel.
 - Se calculará la P_{sat} en la capital de provincia, para la temperatura relativa al mes de enero, mediante la expresión:

$$P_{sat} \approx 610,5 e^{\frac{17,269 \theta}{237,3+\theta}} \quad [\text{ec. III.12}]$$

- Se obtendrá la P_v en la capital de provincia, partiendo del dato de la humedad relativa tabulada:

$$P_v = P_{sat} \cdot \phi \quad [\text{ec. III.13}]$$

- Se calculará la P_{sat} en el municipio, conocida su temperatura en base al desnivel existente con la capital, mediante la ec. III.12. En caso de que la temperatura sea menor a 0 °C, se utilizará la siguiente expresión:

$$P_{sat} \approx 610,5 e^{\frac{21,875 \theta}{265,5+\theta}} \quad [\text{ec. III.14}]$$

- Finalmente se estima la humedad relativa exterior de cálculo para el municipio, dividiendo:

$$\phi_{municipio} = \frac{P_{v, capital}}{P_{sat, municipio}} \quad [\text{ec. III.15}]$$

Para las condiciones interiores, se utiliza una temperatura ambiental fijada en 20 °C y una humedad relativa obtenida mediante alguno de los siguientes sistemas:

- Mediante dato concreto conocido, cuando la humedad relativa se mantenga constante por el empleo de un sistema de climatización, sumando 0,05 en tanto por uno como margen de seguridad.
- Conocida la tasa de producción de humedad G [kg/h] y la renovación de aire existente n [h⁻¹], utilizando las siguientes expresiones:
 - Cálculo del exceso de humedad interior generada Δv [kg/m³], en función de la producción y renovación de aire en un local de volumen V [m³], mediante:

$$\Delta v = \frac{G}{n V} \quad [\text{ec. III.16}]$$

- Cálculo del exceso de presión de vapor en el local Δp [Pa], calculado mediante la siguiente expresión en función de la temperatura interior [K] y exterior [K] y la constante del gas para el agua R_v (462 Pa m³/ kg K):

$$\Delta p = 0,5 \Delta v R_v (T_{int} + T_{ext}) \quad [\text{III.17}]$$

- Cálculo de la humedad relativa interior, en función de la presión de vapor en el interior ($P_{ext} + \Delta p$), calculada P_{ext} mediante la ec. III.13; y la P_{sat} en el interior obtenida mediante la ecuación III.12, conocida la temperatura:

$$\phi_{interior} = \frac{P_{int}}{P_{sat}} \quad [\text{ec. III.18}]$$

El factor mínimo $f_{Rsi,min}$, que debe ser superado en el cerramiento, se obtiene en base a la clase de higrometría asignada al local (clase 3 a 5) y la severidad de la zona climática de invierno, identificada por las letras A, B, C, D y E y presentado en la siguiente figura:

Categoría del espacio	ZONAS	ZONAS	ZONAS	ZONAS	ZONAS
	A	B	C	D	E
Clase de higrometría 5	0.80	0.80	0.80	0.90	0.90
Clase de higrometría 4	0.66	0.66	0.69	0.75	0.78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0.50	0.52	0.56	0.61	0.64

Figura III.21.- Factor de temperatura de la superficie interior mínimo.

La higrometría del local se basa en la clasificación efectuada por la norma EN ISO 13788:2001. En cuanto a la clase de higrometría asignada al local, se define:

- Clase 5: espacios en los que se prevea una gran producción de humedad, tales como lavanderías y piscinas.
- Clase 4: espacios en los que se prevea una alta producción de humedad, tales como cocinas industriales, restaurantes, pabellones deportivos, duchas colectivas u otros de uso similar.
- Clase 3 o inferior: espacios en los que no se prevea una alta producción de humedad. Se incluyen en esta categoría todos los espacios de edificios residenciales y el resto de los espacios no indicados anteriormente.

La zona climática de invierno viene caracterizada en el CTE DB-HE 1, en función de la tabulada para la capital de provincia y el desnivel topográfico existente con el municipio de aplicación.

La determinación del factor $f_{Rsi,min}$, también puede realizarse de forma analítica, partiendo de la presión de vapor máxima admisible en el interior del local para una determinada temperatura interior.

Esta limitación establece que la humedad relativa en el interior del local nunca deber alcanzar 0,8 (la condensación efectiva se produciría con $\phi_{int} = 1$). Esta condición conservadora se establece con objeto de que no se den las condiciones de humedad adecuadas para el desarrollo de mohos en la superficie interior del cerramiento, aun cuando no se produzca condensación. De tal modo, conocida la presión de saturación a 20 °C (2337 Pa) y la presión de vapor de agua [Pa] en el interior a partir de la humedad relativa, se obtiene la presión de saturación máxima admisible en la superficie interior:

$$P_{v,int} = 2337 \phi_{int} \quad [\text{ec. III.19}]$$

$$P_{sat,adm} = \frac{P_{v,int}}{0,8} \quad [\text{ec. III.20}]$$

Operando desde la ecuación III.12, es posible obtener la expresión empírica que relaciona la temperatura mínima en la superficie interior, para la presión de saturación de exigencia.

$$\theta_{si,min} = \frac{237,3 \log_e \frac{P_{sat}}{610,5}}{17,269 - \log_e \frac{P_{sat}}{610,5}} \quad [\text{ec. III.21}]$$

Tomada la temperatura interior en 20 °C y la temperatura exterior conocida, el factor de temperatura de la superficie interior mínimo, se determina resolviendo:

$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{20 - \theta_e} \quad [\text{ec. III.22}]$$

El cálculo del factor f_{Rsi} que acredita el cumplimiento de la prestación por comparación con el valor anterior, se obtiene mediante la transmitancia térmica U [W/m² K], del cerramiento, partición interior o puente térmico:

$$f_{Rsi} = 1 - 0,25 U \quad [\text{ec. III.23}]$$

Esta ecuación responde a la estimación del comportamiento isotrópico y homogéneo de las hojas del cerramiento, de tal manera que sus características térmicas pueden ser definidas mediante un único parámetro R [m² K/W] de resistencia térmica, constante para cada una de las capas del mismo. Operando bajo esta hipótesis, se tiene que:

$$R_T = R_{s,e} + \sum_{j=1}^n R_j + R_{s,i} \quad [\text{ec. III.24}]$$

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [\text{ec. III.25}]$$

$$\theta_{si} = \theta_{ext} + (\theta_{int} - \theta_{ext}) \frac{R_{s,e} + \sum_{j=1}^n R_j}{R_T} \quad [\text{ec. III.26}]$$

Partiendo de la ecuación III.26 y dado que el factor de temperatura de la superficie interior puede definirse según la ec. III.22, resulta inmediato deducir la expresión III.23:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{int} - \theta_e} = \frac{R_{s,e} + \sum_{j=1}^n R_j}{R_T} = \frac{R_{s,e} + \sum_{j=1}^n R_j}{R_{s,e} + \sum_{j=1}^n R_j + R_{s,i}} = 1 - \frac{R_{s,i}}{R_T} = 1 - R_{s,i} U$$

El valor asignado para la resistencia térmica superficial interior R_{si} corresponde a 0,25 m² K/W, representando los casos más desfavorables de riesgo de condensación en las esquinas del cerramiento. De lo anterior se deduce que la prestación frente a condensaciones superficiales, se articula estableciendo los valores de aislamiento necesarios para garantizar que la temperatura en la superficie interior del cerramiento nunca provoque una humedad relativa inadecuada sobre la misma.

En general, para clases de higrometría 4 o inferior, el cumplimiento de la transmitancia térmica máxima en cerramientos (véase figura III.22), fijada por el DB-HE 1 para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios, se considera suficiente para controlar el riesgo de condensaciones superficiales.

No obstante, los puentes térmicos siguen precisando de una verificación adicional al respecto, por su mayor transmitancia térmica respecto a los valores que caracterizan al cerramiento.

Cerramientos y particiones interiores	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos ⁽²⁾	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas ⁽³⁾	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m

⁽²⁾ Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de cámaras sanitarias, se consideran como suelos

⁽³⁾ Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de desvanes no habitables, se consideran como cubiertas

Figura III.22.- Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica para evitar descompensaciones en la calidad térmica.

III.3.5.2.- Método de verificación frente a la condensación intersticial

La comprobación frente a condensaciones intersticiales, no es necesaria en cerramientos con barreras contra el paso de vapor de agua en la parte caliente del cerramiento. Para particiones interiores en contacto con espacios no habitables en los que se prevea gran producción de humedad, es obligatorio colocar la barrera de vapor en el lado del espacio no habitable.

Para esta exigencia, el ámbito de estudio se extiende a todas las superficies interiores que configuran las hojas del cerramiento, si bien la mecánica de verificación es similar en cuanto a sus fundamentos, según norma EN ISO 13788:2001.

Así, la verificación de la formación de condensaciones intersticiales se obtiene por comparación entre la presión de vapor y la presión de saturación que existe en cada punto intermedio del cerramiento, para las mismas condiciones ambientales correspondientes al mes de enero analizadas en el punto anterior.

Conocidas las condiciones interiores y exteriores de cálculo, será necesario determinar el rango de temperaturas a lo largo de las diferentes hojas del cerramiento, la distribución de presiones de saturación asociadas a dichas temperaturas y por último, la distribución de presiones de vapor.

En caso de producirse condensaciones en algún punto ($P_v > P_{SAT}$), debe repetirse el procedimiento anterior para cada mes del año, comprobando en el balance anual, que la cantidad de humedad evaporada, es superior a la condensada. **Si la condensación se produce en la superficie de los materiales aislantes, ésta no será admisible sea cual sea el resultado de este balance anual.**

Con muy buen criterio el DB referido a ahorro de energía, impide la presencia de agua líquida en contacto con los materiales aislantes presentes en las envolventes, dado que su presencia incrementa en gran medida la conductividad térmica del material

(como ya se presentó en el Capítulo II.2 y de forma mucho más acusada a como se analiza en el Capítulo VI, que solo se refiere a la humedad en los materiales en forma de vapor).

Únicamente en el caso de la disposición constructiva de cámaras ventiladas exteriores, con el aislante inmediatamente posterior al revestimiento exterior fijado mecánicamente esta condición no podría cumplirse, dado que la precipitación sobre el cerramiento suele mojar la superficie del aislante posterior. Afortunadamente, la constante renovación de aire en la cámara y la radiación solar que suele producirse contribuyen al rápido secado de su superficie.

En cualquier otro caso, la presencia de agua en contacto con el aislante provocará una disminución prolongada de sus propiedades térmicas o la imposibilidad de conocer de forma eficaz si se dan las condiciones adecuadas para la rápida evaporación del agua líquida. Es por ello que el documento prefiere impedir que se produzcan contactos de agua líquida con los materiales aislantes.

Por todo ello, resulta absolutamente inverosímil que el DB-HS1 adopte como posible barrera frente a la penetración de agua a estos mismos materiales aislantes térmicos, colocándolos para cumplir su función, en condiciones de contacto con agua líquida.

Si bien su estructura interna permite efectivamente que puedan participar en la prevención de la penetración de agua líquida, al mismo tiempo se están reduciendo drásticamente las prestaciones térmicas del cerramiento (aun siendo un aislante no hidrófilo), por lo que esta utilización no resulta aceptable.

En todo caso, los elementos utilizados como barrera frente a la penetración de agua, han de impedir la penetración de agua líquida hasta la superficie del aislante térmico, salvo en el caso de cámaras ventiladas exteriores con aislante, donde dicha posibilidad sería difícil aunque sí muy recomendable.

Para el cálculo de la verificación se utilizan los mismos parámetros ambientales empleados para condensaciones superficiales, admitiendo la siguiente aproximación para la humedad relativa interior:

- Clase 5: Humedad relativa del 70%.
- Clase 4: Humedad relativa del 62%.
- Clase 3 o inferior: Humedad relativa del 55%.

Asumiendo que la distribución de temperaturas a lo largo del cerramiento depende de las temperaturas del aire a ambos lados de la misma, de las resistencias térmicas superficiales R_{si} y R_{se} y de la resistencia propia de cada capa R_j , el procedimiento para obtener la distribución lineal de temperatura en cada una de las hojas del cerramiento se basa en las expresiones III.24 y III.26:

$$\theta_{se} = \theta_{ext} + (\theta_{int} - \theta_{ext}) \frac{R_{s,e}}{R_T} \quad [\text{ec. III.27}]$$

$$\theta_k = \theta_{ext} + (\theta_{int} - \theta_{ext}) \frac{R_{s,e} + \sum_{j=1}^k R_j}{R_T} \quad [\text{ec. III.28}]$$

$$\theta_{si} = \theta_{ext} + (\theta_{int} - \theta_{ext}) \frac{R_{s,e} + \sum_{j=1}^n R_j}{R_T} \quad [\text{ec. III.29}]$$

Aunque el valor adoptado en la ecuación III.23 para la resistencia térmica superficial interior es constante e igual a 0,25 m²K/w, este valor representa el caso más desfavorable, para condensaciones superficiales en esquinas del paramento. Valores más generales para las resistencias térmicas superficiales, son aportados por el propio Documento Básico HE 1:

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	R _{se}	R _{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente	0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente	0,04	0,17

Posición de la <i>partición interior</i> y sentido del flujo de calor	R _{se}	R _{si}
Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal	0,13	0,13
Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente	0,10	0,10
Particiones interiores horizontales y flujo descendente	0,17	0,17

Figura III.23.- Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire. Arriba: Cerramientos exteriores / Abajo: Particiones interiores.

La distribución de temperaturas en cada punto del cerramiento, permite utilizando las expresiones III.12 y III.14, establecer de forma paralela la distribución lineal de presiones de saturación a lo largo del espesor del cerramiento.

Idéntica metodología puede utilizarse, conocida la presión de vapor de agua en el ambiente interior y exterior (ec. III.13), para determinar la presión de vapor existente a lo largo del espesor del cerramiento, para compararla con las P_{sat} obtenidas.

$$P_{v,k} = P_{v,ext} + (P_{v,int} - P_{v,ext}) \frac{S_{d,k}}{S_{d,T}} \quad [\text{ec. III.30}]$$

Será necesario conocer el espesor de aire equivalente de cada hoja frente a la difusión de vapor de agua, donde e [m], indica el espesor de la hoja considerada y μ [-], el factor de resistencia a la difusión del vapor de agua de dicha hoja:

$$Sd = e \cdot \mu \quad [\text{ec. III.31}]$$

La representación gráfica de los resultados se hace de forma gráfica mediante líneas rectas sobre la sección del cerramiento, utilizando los espesores de capa equivalentes a la difusión de vapor de agua.

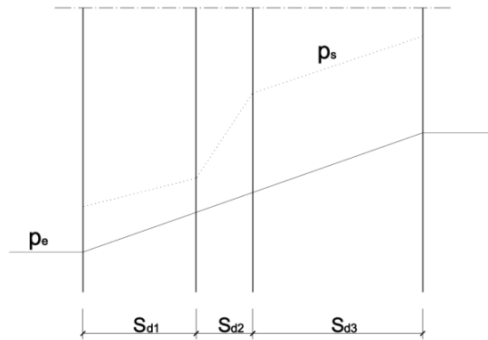


Figura III.24.- Distribución de P_v y P_{SAT} en un cerramiento multicapa, sin existencia de condensaciones para las condiciones ambientales del mes considerado.

Si bien se indica en el DB HE 1 que en caso de condensación deberá realizarse un balance anual condensación – evaporación, para la verificación de la solución, no se incluye en su articulado referencia alguna a cómo desarrollar este balance. En su lugar, se hace referencia al método recogido por la norma EN ISO 13788:2002, en la que se funda todo el procedimiento.

Para realizar este balance, el flujo de transferencia de humedad g [$\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s}$], se asimila a una difusión pura de vapor de agua, unidireccional y descrita por la reducción analítica de la ley de Fick, cuyo potencial de movimiento es la presión de vapor existente a un lado y otro del cerramiento P [Pa]. Esta aproximación, como se ha presentado en el Capítulo II, no resulta enteramente satisfactoria para caracterizar los procesos de movimiento de humedad en medios porosos:

$$g = \frac{D_p \Delta P}{\mu \Delta x} = D_p \frac{\Delta P}{Sd} \quad [\text{ec. III.32}]$$

El valor de D_p , coeficiente de difusión del vapor de agua en un volumen de aire, puede tomarse como constante e igual a $2 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/\text{m s Pa}$, si bien es variable con la temperatura y la presión barométrica ambiente.

Partiendo del cálculo del flujo de humedad a través del cerramiento mediante la ecuación III.33, es posible determinar la cantidad de agua condensada en un determinado punto c , mediante la diferencia de los flujos de humedad que llegan y salen del punto c de condensación. Para ello, en el punto de condensación debe igualarse la presión de vapor, con la presión de saturación admisible en el punto c .

$$g = D_p \frac{(P_{v,int} - P_{v,ext})}{S_{d_T}} \quad [\text{ec. III.33}]$$

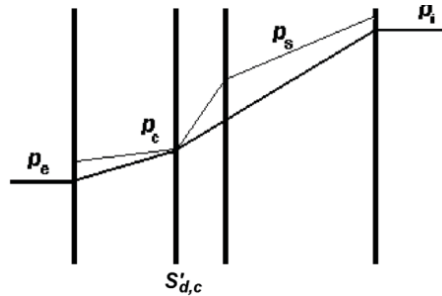


Figura III.25.- Gráficamente, en el punto de condensación la línea de P_v se modifica condicionada por la P_{sat} en el punto de condensación.

$$g_{condensada} = D_p \left[\frac{(P_{v,int} - P_{v,c})}{S_{d_T} - S_{d_c}} - \frac{(P_{v,c} - P_{v,ext})}{S_{d_c}} \right] \quad [\text{ec. III.34}]$$

En caso de existir varios puntos de condensación en el mismo cerramiento (c1 y c2), la cantidad condensada se calcula de forma análoga:

$$g_{condensada\ 1} = D_p \left[\frac{(P_{v,c2} - P_{v,c1})}{S_{d_{c2}} - S_{d_{c1}}} - \frac{(P_{v,c1} - P_{v,ext})}{S_{d_{c1}}} \right] \quad [\text{ec. III.35}]$$

$$g_{condensada\ 2} = D_p \left[\frac{(P_{v,int} - P_{v,c2})}{S_{d_T} - S_{d_{c2}}} - \frac{(P_{v,c2} - P_{v,c1})}{S_{d_{c2}} - S_{d_{c1}}} \right] \quad [\text{ec. III.36}]$$

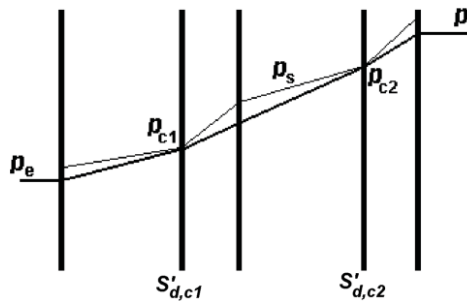


Figura III.26.- Gráficamente, en los puntos de condensación la línea de P_v se modifica condicionada por la P_{SAT} en dichos puntos.

Para realizar un balance anual de condensaciones, es necesario desde el mes de partida elegido, avanzar mes a mes en el cálculo hasta encontrar el primer mes con ocurrencia de condensación intersticial. Dicho mes será tomado como punto de inicio del balance anual. En caso de que el primer mes analizado presente condensación, es necesario retroceder mes a mes en el cálculo hasta encontrar el primer mes sin ocurrencia

de condensación intersticial. En ese caso, dicho mes será tomado como punto de inicio del cálculo.

Tras un mes en el que ha existido condensación en una interfase (figura III.25), el mes siguiente se contabiliza en dicho punto una presión de vapor igual a la de saturación (figura III.27). La diferencia en el flujo de humedad que llega a dicho punto, se identifica como la cantidad de evaporación correspondiente al mes de cálculo:

$$g_{evaporada} = D_p \left[\frac{(P_{v,int} - P_{v,c})}{S_{d,T} - S_{d,c}} - \frac{(P_{v,c} - P_{v,ext})}{S_{d,c}} \right] \quad [\text{ec. III.37}]$$

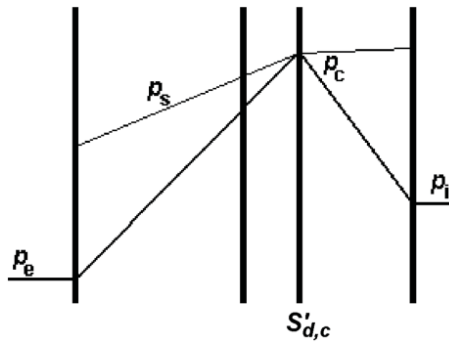


Figura III.27.- Gráficamente en el punto de evaporación, la línea de P_v se modifica hasta alcanzar de partida, la P_{SAT} en el punto.

Como se aprecia, las expresiones III.34 y II.37, son iguales, identificando por convención, que la condensación ocurre si la expresión es positiva y la evaporación si el resultado es negativo. El mismo tratamiento reciben las ecuaciones III.35 y 36 en el caso de evaporación en múltiples interfasas del cerramiento. Una vez la cantidad de condensación acumulada en un punto al final del mes, tiene un valor negativo, se considera totalmente evaporada y el balance se iguala a 0.

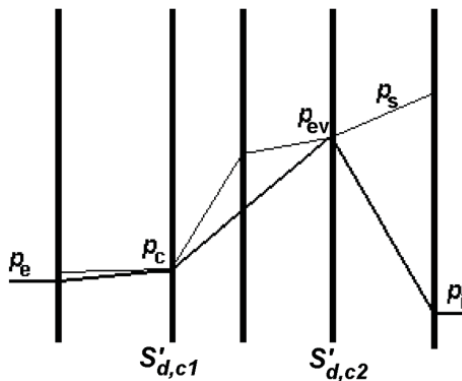


Figura III.28.- Los efectos de condensación evaporación, pueden combinarse en diferentes puntos de un mismo cerramiento, resolviendo según los criterios expuestos.

III.3.5.3.- Limitaciones a los métodos de verificación de la condensación

El método de verificación recogido en el DB-HE 1, aunque permite un tratamiento prestacional del diseño de la envolvente frente a la aparición de condensaciones, se fundamenta en amplias simplificaciones y limitaciones que implican una elevada incertidumbre en el resultado.

Algunas de ellas, han sido debidamente recogidas en la propia norma EN ISO 13788:2001 y se resumen a continuación:

- Las condiciones de diseño, no son constantes en un periodo mensual, sino variables en intervalos más cortos.
- La humedad tiene relevancia en el comportamiento térmico de la envolvente:
 - La conductividad térmica de los materiales del cerramiento, varía en función de su contenido en humedad, como ya se adelantó en el capítulo II y se analizará en el Capítulo VI.
 - La cantidad de humedad condensada y evaporada propicia la liberación y absorción de calor latente en el cerramiento.
 - La variación en la temperatura de los materiales del cerramiento, varía la resistencia térmica del mismo.
 - Los puntos anteriores, generan cambios en la distribución de temperaturas y presiones de saturación en las interfases, alterando la fiabilidad del cálculo realizado.
- Los materiales de construcción no son homogéneos ni isotrópicos.
- Se desprecia la capacidad de los materiales para absorber y retener vapor de agua.
- La transferencia de vapor de agua no se realiza de forma unidimensional, ni depende enteramente del mecanismo de difusión.
- La radiación solar sobre el cerramiento, interviene decisivamente en los efectos de evaporación intersticial.
- La distribución de humedad prevista, obvia los procesos de transporte por convección en el cerramiento.
- La existencia de movimientos de aire en las cámaras de los cerramientos, altera la distribución de humedad en los mismos.
- La presencia de precipitación o nieve exterior resulta relevante en el transporte de humedad por capilaridad.
- Otros parámetros del material, además de su conductividad térmica y resistencia al vapor de agua, son relevantes en los mecanismos de transferencia de humedad.
- No se estudia la existencia de condensaciones en suelos y cerramientos en contacto la humedad del terreno.

De lo anterior se deduce, tal y como recuerda la propia norma UNE, que:

“Debido a los diversos orígenes de error, éste método de cálculo es menos conveniente para ciertos componentes de edificación y climas”.

El método será tanto más fiable, cuanto mayor sea la ligereza y homogeneidad del cerramiento y menor la higroscopicidad de los materiales que lo componen. Por el

contrario, el método de verificación será tanto más arbitrario, cuanto mayor influencia tengan en la transferencia de humedad los aspectos simplificados u obviados.

Así, cerramientos pesados y de elevada inercia térmica como los recogidos entre las soluciones aceptadas por el DB-HS 1, son especialmente tendentes a presentar variaciones considerables respecto al comportamiento inicialmente previsto.

La higroscopicidad de los materiales cerámicos, pétreos y hormigonados definidos para la constitución de la hoja principal del cerramiento, provoca efectos de absorción y retención de humedad que influyen en la aparición de condensaciones. El uso de revestimientos constructivos no homogéneos o de aplicación artesanal, potencia este efecto.

Para la correcta aplicabilidad del método, los materiales deben presentar una escasa inercia térmica e higroscópica, de tal forma que su estado interno pueda identificarse con el provocado por las condiciones ambientales medias consideradas. Del mismo modo, un diseño adecuado de los elementos de protección frente al agua de lluvia, que impida la presencia de humedad en estado líquido en la fachada y minimice la transmisión de humedad por capilaridad, potenciará la exactitud de los resultados obtenidos.

El sistema constructivo es igualmente relevante, al ser necesario para la correcta prestación del método que los materiales situados en las interfases con condensación, sean durables ante la presencia de humedad, impidiendo el desplazamiento de la condensación hacia zonas de la envolvente donde puedan generar síndromes por humedad (generalmente dinteles y frentes de forjado). La residual existencia de movimiento de aire en cámaras no ventiladas, incide igualmente en la inexactitud de los resultados obtenidos.

De todo ello se desprende el alto grado de incertidumbre proporcionado por la metodología recogida en el DB-HE 1, que no obstante se mantiene vigente por la sencillez de su resolución analítica e intuitiva interpretación física. En cualquier caso, la naturaleza de las soluciones aceptadas por el DB-HS 1, tienden a proporcionar datos no excesivamente fiables.

Más allá de las debilidades identificadas en el método, la obtención de los datos precisados por el método de verificación, también presentan ciertas indefiniciones:

- La aproximación a la temperatura media fuera de capitales de provincia es poco realista.
- La aproximación a la humedad relativa fuera de capitales de provincia, presupone la misma cantidad de humedad en el ambiente que en la capital, situación está escasamente justificada.
- No se utilizan para el cálculo valores extremos, sino medios, obviando situaciones más desfavorables.
- Las condiciones de temperatura y humedad relativa interior solo son adecuadas en caso de ocupación y climatización permanente de la vivienda. En la actualidad el parque edificatorio español está constituido por más de un 30% de segundas residencias sin ocupación habitual (Aranda et al, 2010), con unas condiciones de temperatura interior habitualmente inferiores a las utilizadas por el cálculo, dando lugar a condiciones más favorables a la condensación superficial e intersticial.

Por otra parte respecto al método presentado, la inclusión en el CTE del Documento Básico HS3 Calidad de Aire interior, ha supuesto una alteración en las condiciones del ambiente interior, al exigir una renovación controlada mecánicamente del aire interior a la vivienda, modificando por lo tanto sus condiciones de humedad y temperatura (Rodríguez, 2011).

Adoptando como referencia una vivienda de 85 m² útiles, superficie media ésta demandada en España en 2010, con una altura libre media de 2,3 m, podemos suponer una renovación de aire controlada y continua en el interior de la vivienda de 50 l/s, como consecuencia de la aplicación de la reglamentación actual (Rodríguez et al., 2012).

Si sobre la misma vivienda se estima un ritmo conservador de producción de humedad típico de 0,36 kg/h para una vivienda de similares condiciones (Gavira y Linares, 2005), los cálculos de humedad relativa interior relativos a las condiciones anteriores, responden a lo desglosado a continuación:

$$\Delta v = \frac{G}{nV} = \frac{0,36}{180} = 0,002 \quad [\text{kg/m}^3]$$

La ventilación presentada, se encuentra muy por debajo del valor típico estimado para Δv por el Código Técnico de la Edificación y la norma UNE-EN ISO 13788:2001, que estima para clase de higrometría 3 (viviendas con baja ocupación), un valor de exceso de humedad interior Δv de 0,004 a 0,006 kg/m³, para temperaturas exteriores bajas como las que se producen en los meses más desfavorables del año.

La humedad relativa interior resultante, puede calcularse de forma simple, supuesta una temperatura interior constante de 20°C, tal y como estima la norma y una temperatura exterior tipo de 5°C (supuesto Albacete como localización):

$$\Delta P = \frac{\Delta v \cdot R_v \cdot (T_{int} + T_{ext})}{2} = \frac{0,002 \cdot 462 \cdot 499,3}{2} = 230,67 \quad [\text{Pa}]$$

$$\phi = \frac{100 P_{int}}{P_{sat}(T_{int})} = \frac{100 \cdot (871,86 + 230,67)}{2336,96} = 47,17 \quad [\%]$$

En las mismas condiciones, la norma actual establece, en base a sus tabulaciones, una humedad relativa interior del 55%, muy superior a la realmente presente, por lo que el cálculo Glaser para la determinación de condensaciones intersticiales y superficiales, está realizándose de forma más conservadora de lo necesario y previsto (lo que tiende a compensar las indeterminaciones previas).

No obstante, a pesar de todas estas limitaciones, la exigencia de limitar el riesgo de aparición de condensaciones se articula en torno a un método de verificación, en lugar de a soluciones aceptadas, lo que da lugar a la mejora de las soluciones y al desarrollo de soluciones innovadoras.

Adicionalmente, el cálculo descrito, aunque aproximado, permite igualmente valorar el grado de cumplimiento de la exigencia de una forma objetiva y matemática. Por ello, la evaluación del riesgo de condensaciones en los cerramientos aporta un enfoque más prestacional que la limitación del riesgo de penetración e agua líquida, que como se ha demostrado se basa en estimaciones subjetivas de la sollicitación y una determinación incoherente de las soluciones aceptadas.

III.3.6.- NORMAS DE CARACTERIZACIÓN COMPLEMENTARIAS

Se incluyen en este apartado algunas normas relevantes por su relación con la caracterización de la exposición de los cerramientos a la humedad o de la resistencia a la penetración de agua por parte de los cerramientos.

A tal efecto se analiza una norma capaz de determinar de forma rigurosa la exposición frente a la humedad en cerramientos verticales (UNE-EN ISO 15927-3:2011), la norma de ensayo utilizada para la caracterización de la resistencia a la penetración de agua de las soluciones aceptadas de fachadas (UNE-EN 12865:2002) y otras tres normas adicionales de ensayo, destinadas a la evaluación de la estanqueidad de soluciones de muro cortina.

El análisis comparativo de las mismas con lo ya presentado para el Código Técnico de la Edificación, permitirá a su vez identificar las principales diferencias y deficiencias respecto a este último, para a partir de ellas, establecer las medidas correctoras y de mejora necesarias en el siguiente capítulo.

A este respecto, el Catálogo de Elementos Constructivos (CEC), representa un importante compendio y desglose de soluciones adicionales a las aceptadas por el Código, cuya caracterización se realiza en base a este tipo de ensayos.

A lo largo del apartado y como complemento a la descripción de los ensayos y sus implicaciones comparativas con el CTE, se presentarán los aspectos novedosos aportados por el CEC y no recogidos por el CTE, para caracterizar la sollicitación y resistencia de las fachadas ante la acción de la humedad.

III.3.6.1.- UNE-EN ISO 15927-3:2011

La norma de reciente aparición “Comportamiento higrotérmico de edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 3: Cálculo de un índice de lluvia para superficies verticales a partir de datos horarios de viento y lluvia”, permite definir los parámetros que definen la exposición a la lluvia batiente en cerramientos verticales ya avanzada en el capítulo II.3, de común aplicación en Europa.

Para ello, la norma realiza una transposición exacta de lo contenido en el estándar ISO 15927-3:2009, que a su vez se basa en la norma británica BS 8104:1992. Para la transposición española de esta normativa, no se ha realizado ninguna adaptación a la climatología española, particularmente más cálida y menos lluviosa que la británica para la cual se define el estándar ISO.

Esta transposición literal se produce a pesar de que la propia norma recoge en su articulado la necesidad de confirmar su aplicabilidad mediante mediciones in situ de la lluvia batiente sobre edificios representativos, en aquellas regiones con climas diferentes a los del Reino Unido, como es el caso de España.

A día de hoy, tal recomendación no ha sido adoptada previamente a su trasposición como norma UNE.

La norma especifica varios procedimientos diferentes para estimar la solicitación por lluvia batiente sobre cerramientos, analizando diferentes situaciones de exigencia (en términos de media anual a largo plazo y en términos de periodos concretos a corto plazo). Para ello se sirve de observaciones horarias de viento y lluvia, así como de registros sinópticos, todos ellos recopilados según los métodos especificados por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2010).

En todos los casos, la estimación de la exposición se asocia a una orientación dada del cerramiento, por lo que permiten diferenciar la exposición concreta a la lluvia batiente de cada posible orientación de la fachada en el emplazamiento estudiado.

Para ello, en base a datos horarios de viento y lluvia, la norma define dos procedimientos de cálculo cuantitativo, que determinan el índice medio anual de exposición I_A (que caracteriza el contenido de humedad de una superficie exterior absorbente) y el índice por periodo de humedecimiento I_S (que caracteriza la probabilidad de penetración de la lluvia a través del cerramiento, durante un periodo de tiempo concreto).

Por otro lado, en base a datos medios de viento y registros sinópticos de la presencia e intensidad de lluvia según el código meteorológico, se define un procedimiento de cálculo cualitativo que determina el periodo de tiempo durante el cual se humedece una superficie exterior absorbente, estimando un periodo de retorno de 10 años.

La medida de este periodo en cierta forma cualitativa, resulta una medida igualmente válida para caracterizar comparativamente la exposición anual del cerramiento.

Los índices de exposición cuantitativos calculados se asocian a condiciones de referencia, propias de las estaciones meteorológicas donde se recopilan los datos empleados (terreno despejado, altura sobre la rasante de 10 m...). Para que estos valores de exposición puedan ser corregidos en su aplicación sobre cerramientos verticales en condiciones concretas de altura, exposición al viento, obstáculos en su entorno... la norma define una serie de coeficientes de ajuste que permiten la obtención de índices de exposición locales (véase el capítulo II).

Dado que los datos empleados se basan en mediciones realizadas en estaciones meteorológicas controladas, las conclusiones obtenidas de los mismos, son solo válidas en el entorno cercano de las mismas.

Así, es necesario realizar mediciones directas en los cerramientos de zonas montañosas, acantilados abruptos, zonas con fuertes precipitaciones convectivas (más del 25%) y zonas de pluviometría mayoritaria en forma de nieve o granizo, donde las condiciones difieren en gran medida de las registradas en las estaciones meteorológicas más próximas.

Igualmente se proponen ciertos límites a la validez de los índices calculados aplicando los procedimientos descritos en la norma: se expone que los índices calculados a partir de datos de estaciones situadas en emplazamientos de interior, no son representativos de edificios situados a menos de 8 km del mar. No obstante, en regiones predominantemente planas, los resultados obtenidos serían validos para una distancia de hasta 100 km desde la estación de medición. En regiones con colinas, esta validez puede considerarse algo inferior.

Cálculo cuantitativo

En primer lugar se establece un índice medio anual de exposición a la lluvia batiente (I_A), calculado a partir de datos horarios de lluvia y viento, que trata de caracterizar el humedecimiento a largo plazo que se produce en cerramientos verticales con superficies absorbentes, tales como fábricas de albañilería, en unas condiciones de referencia asociadas al emplazamiento (no al cerramiento concreto).

El punto 3.2 de la norma define el cálculo de la lluvia batiente anual I_A como:

$$I_A = \frac{2}{9} \frac{\sum v \text{ prep}^{0,888} \cos(D-\theta)}{N}$$

Siendo:

- v Velocidad media horaria del viento en m/s.
- prep Lluvia total horaria expresada en mm.
- N Número de años total que integran la serie de datos (siempre mayor a 10).
- D- θ Diferencia entre la orientación del viento D en la hora considerada y la orientación del cerramiento θ , ambas referidas respecto al norte geográfico.

Tal y como la norma define, el valor I_A habría de calcularse para cada orientación posible de muro θ . A cada posible orientación del cerramiento, le corresponde por lo tanto una intensidad de lluvia batiente anual I_A , ajustando para cada posible orientación la cantidad de lluvia esperada.

El sumatorio se realiza únicamente para todas las horas en las que el viento simultáneo a la precipitación, sopla sobre el muro, es decir, siempre que se cumpla que:

$$v \text{ prep}^{0,888} \cos(D - \theta) \geq 0$$

A este respecto es necesario mencionar la incorrección de la fórmula recogida por la norma. Si bien su sentido e interpretación es intuitiva, matemáticamente la misma es incorrecta:

Así, D se define como la dirección media horaria del viento respecto al norte, mientras que θ se asocia a la orientación del muro con respecto al norte (entendiéndose esta, si no se añade nada más, como la normal del muro hacia el exterior de la edificación. Un muro orientado al norte, tiene su normal apuntando a dicha dirección).

Aplicando estrictamente las definiciones propuestas por la norma, el resultado obtenido sería muy diferente al esperado. En el caso mostrado a continuación (izquierda), el viento incidente daría como resultado un valor negativo en el sumatorio, a pesar de que el viento incide sobre la superficie exterior del cerramiento y por lo tanto contribuye a la exposición por lluvia batiente ($\cos(D - \theta) < 0$).

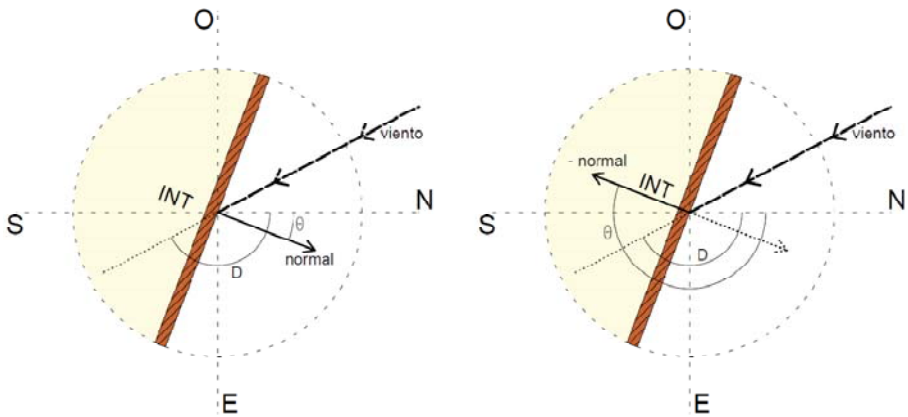


Figura III.29.- Errónea definición de ángulos utilizada por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 (izq.) y variación necesaria de la definición del ángulo θ para dotar de coherencia matemática a la expresión.

En la figura de la derecha, considerando la dirección θ , como la opuesta a la definida por la normal al cerramiento, el resultado de la acción del viento sí genera un sumatorio positivo, contribuyendo a incrementar la exposición por lluvia batiente sobre la fachada ($\cos(D - \theta) > 0$).

Se plantea por lo tanto la necesidad de modificar la definición de los ángulos considerados existente en la norma, por los siguientes términos:

- D Dirección media horaria del viento respecto al norte.
- θ Orientación **opuesta a la normal** del muro respecto al norte.

Tras la caracterización anual planteada, en segundo lugar, se estima un índice de humedecimiento (I_s), que caracteriza la exposición a lluvia batiente durante periodos cortos de tiempo, caracterizando el riesgo de penetración de agua a través de irregularidades y defectos de la fachada, como consecuencia de la acción conjunta de lluvia y viento. Para ello se parte igualmente de datos horarios de lluvia y viento. Se define como la lluvia batiente máxima, para una orientación de muro dada, totalizada para el peor periodo de humedecimiento que se pudiese producir en cualquier periodo de tres años.

El punto 3.3 de la norma define el cálculo de la lluvia batiente en un periodo de humedecimiento I'_s como:

$$I'_s = \frac{2}{9} \sum v \text{ prep}^{0,888} \cos(D - \theta)$$

Como en el caso anterior, el sumatorio se realiza únicamente para todas las horas del periodo de humedecimiento en las que el viento simultáneo a la precipitación, sopla sobre el muro, es decir, siempre que se cumpla que:

$$v \text{ prep}^{0,888} \cos(D - \theta) \geq 0$$

A este respecto, la duración del periodo de humedecimiento durante el cual debe establecerse el sumatorio anterior, se define por la norma en su Anexo B, como el espacio de tiempo con precipitación, limitado por periodos de al menos 96 h carentes de lluvia batiente sobre el cerramiento, es decir, en los que se cumple que:

$$v \text{ prep}^{0,888} \cos(D - \theta) \leq 0$$

También como en el caso anterior, la fórmula no es matemáticamente coherente con el sentido físico que intenta representar, por lo que es necesario considerar el ángulo θ , como el opuesto a la normal al cerramiento.

Así, se define como periodo de humedecimiento, todo aquel periodo de lluvia sobre un cerramiento de orientación dada, que se mantiene hasta que no se ve interrumpido por al menos 96 horas carentes de lluvia batiente sobre dicha orientación. En la figura siguiente, el periodo "1" se mantiene en el tiempo, aun a pesar de haber sufrido un intervalo de 91 h sin precipitación batiente sobre el cerramiento.

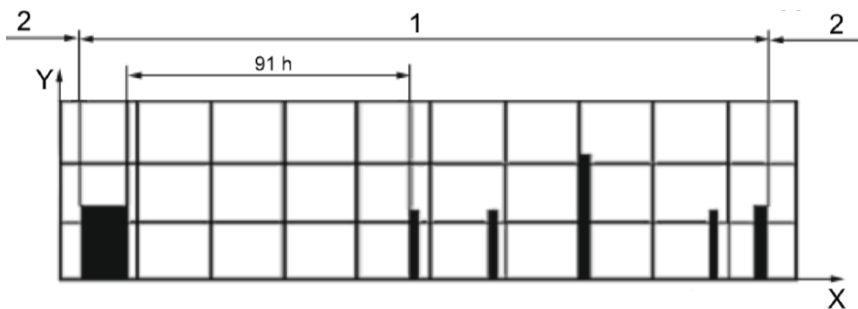


Figura III.30.- Muestra de periodo de humedecimiento tipo. Fuente: AENOR, 2011.

La norma considera que durante dicho intervalo, existe riesgo de penetración de agua a través de la fábrica de albañilería, puesto que la aportación de lluvia batiente es superior a la pérdida debida a la evaporación. Un periodo de 96 horas carentes de precipitación sobre el cerramiento, es estimado como límite máximo a partir del cual las pérdidas por evaporación inician el secado del cerramiento.

Como se deduce, esta consideración es únicamente adecuada para cerramientos pesados de fábrica de albañilería, donde el material poroso tiende a retener y almacenar agua líquida y a cederla al ambiente exterior de forma diferida en el tiempo. La propia norma, corrobora esta afirmación al hacer referencia específica a este tipo de fachadas cerámicas.

Por otro lado, la definición del periodo de humedecimiento va asociado también a la orientación del cerramiento, como corresponde al procedimiento direccional establecido por la norma. Así, el valor I'_s ha de calcularse independientemente para cada orientación del muro θ , para los periodos de humedecimiento que generan lluvia batiente sobre dicha orientación.

A partir de este punto, la norma adolece de un claro error de transcripción o de concepto respecto del estándar ISO, al no establecer adecuadamente la diferencia existente entre el valor calculado para cada periodo (I'_S) y el valor de lluvia batiente máxima de referencia (I_S):

Sólo recopilando el valor I'_S máximo correspondiente a cada año y cada dirección, es posible establecer estimaciones basadas en periodos de retorno determinados, que para el caso de un periodo de retorno de 3 años, nos dará el valor I_S .

Para realizar este cálculo asociado a un periodo de retorno, los valores I'_S máximos anuales han de ser sometidos a una distribución matemática de máximos, como la distribución Gumbel (1958), (la más frecuente y de más amplia aplicación en todo tipo de estimaciones de periodos de retorno en nuestro país).

Como se ha mencionado, la norma no especifica la distribución matemática a utilizar y confunde ambos conceptos (I'_S e I_S) y con ello el sentido del valor calculado, tal y como se aprecia en el siguiente extracto:

El percentil del 67% (es decir, el valor para el cual el 33% de los valores I'_S son más elevados) se obtiene a partir de los valores de I'_S para todos los periodos de humedecimiento incluidos en el periodo en que los datos están disponibles.

El percentil del 67% define el índice del periodo de humedecimiento, I_S (es decir, el valor máximo de I'_S que se puede producir una vez cada tres años).

Figura III.31.- Extracto de la norma UNE-EN 15927-3:2011

Obviamente, el percentil del 67% de los valores de I'_S , no define el valor máximo de I'_S que se puede producir cada tres años, sino el valor máximo de I'_S que se puede producir uno de cada tres periodos de humedecimiento (existiendo un gran número de ellos solo en un año). No se está cumpliendo por lo tanto el sentido del valor I_S definido por la norma (lluvia batiente máxima de referencia, repetible cada 3 años).

Para obtener el valor requerido por la norma (valor de I'_S que solo se repite una vez cada 3 años), es necesario calcular el valor I_S asociado a un periodo de retorno de 3 años, para lo cual, el cálculo del percentil del 67% no tiene cabida alguna.

Solo una vez obtenido el valor I'_S máximo correspondiente a cada uno de los años analizados, para cada orientación posible del cerramiento (de entre todos los I'_S que se dan cada año), es posible aplicar una distribución matemática (distribución Gumbel habitualmente), que proporcionará el valor asociado a un periodo de retorno de 3 años.

Se recomienda por lo tanto modificar el apartado 3.3 de la norma, puesto que en su concepto y redacción actual, resulta totalmente inservible para caracterizar la sollicitación referida a periodos de tiempo concretos.

Una adaptación de estas metodologías de cálculo cuantitativas y direccionales, se presentará en el Capítulo IV, con objeto de adaptar su procedimiento a la disponibilidad de datos diarios carentes de información sobre la dirección del viento.

Para ello se definirán dos índices escalares, uno análogo a al indicador anual ($I_{A\text{ ESCALAR}}$) y otro análogo al indicador a corto plazo (I_{AS}). Los mismos se elaborarán a partir de datos diarios, no horarios, para condiciones de referencia (no locales) y sin una

asociación direccional de sus resultados, por lo que no son comparables con los establecidos por la norma UNE. No obstante ambos indicadores escalares son convergentes con los indicadores direccionales máximos y por lo tanto igualmente válidos para caracterizar comparativamente la magnitud de la sollicitación entre diferentes emplazamientos.

En cualquier caso, la representación de estos resultados direccionales en mapas de zonificación, resulta poco funcional, como demuestra su utilización a nivel normativo en Reino Unido.

Así, los mapas de sollicitación se asocian con un único valor direccional de I_s (el máximo considerado para todas las orientaciones posibles del cerramiento), en lugar de presentar una estimación concreta del valor para cada orientación posible. Este valor es además modificado por coeficientes locales, dando como resultado un indicador no realmente asociado únicamente con el emplazamiento.

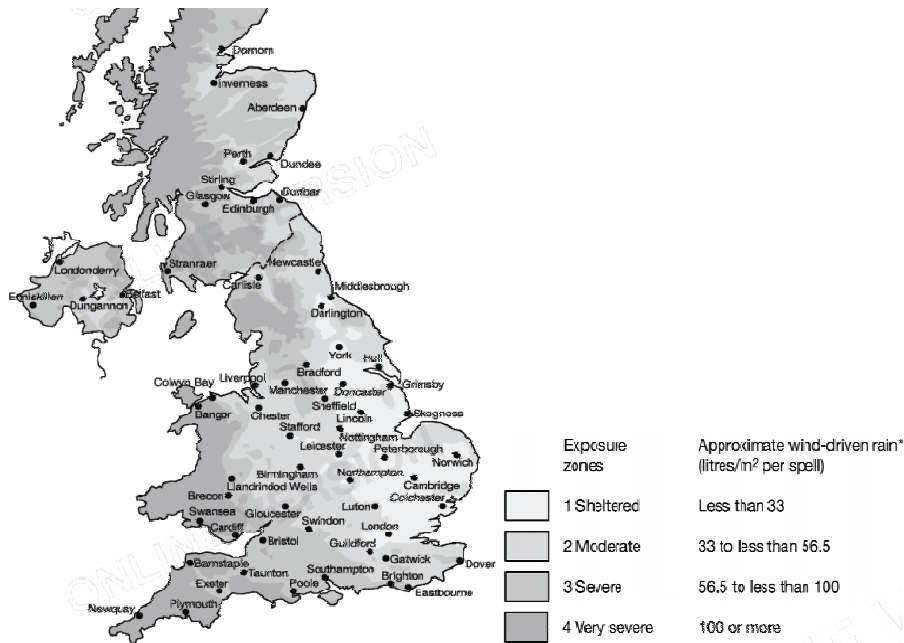


Figura III.32.- Mapa de zonificación correspondiente al R.U. para la magnitud de lluvia batiente máxima, incluyendo coeficiente locales (mm/periodo). No se incluye distinción direccional. Fuente: England and Wales, 2004.

A este respecto, la norma plantea en su Anexo C un procedimiento para generar mapas de lluvia batiente, extraído de la propia norma británica BS 8104:1992.

Dicha norma utilizó los datos obtenidos durante 22 años en 52 estaciones británicas, analizando únicamente la lluvia batiente recogida sobre 12 orientaciones posibles (cada 30°). Los resultados, aunque de gran precisión son escasamente funcionales para su rápida utilización a efectos normativos y de uso intuitivo.

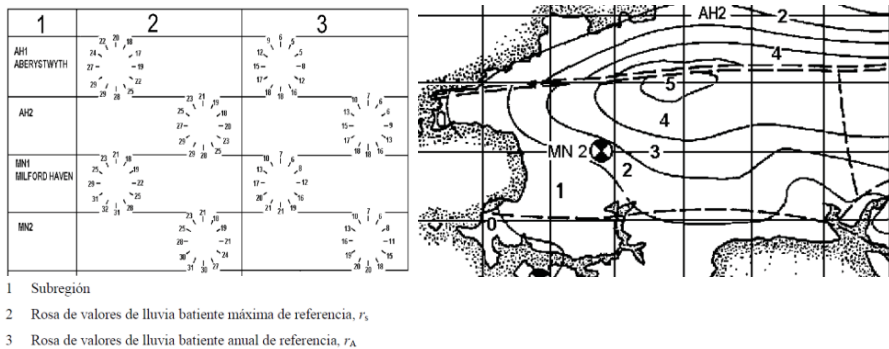


Figura III.33.- Mapa de rosa de valores de lluvia batiente. Fuente: AENOR, 2011.

Cálculo cualitativo

Para aquellas regiones y países en los que los datos disponibles no posibiliten una estimación adecuada de la sollicitación por humedad sobre el cerramiento (indisponibilidad de datos horarios), la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 prevé también un método alternativo. Este método utiliza registros sinópticos procedentes de estaciones meteorológicas, recopilados cada 3 horas.

Partiendo de datos medios de viento y en un registro cualitativo de la presencia e intensidad de lluvia (basado en el código meteorológico mundial utilizado por las estaciones meteorológicas), se estima el periodo de tiempo de humedecimiento durante el cual se humedece la fachada a lo largo de un año, estableciendo una caracterización anual “convergente” con el anterior indicador I_A .

Dicho método, incluido para dar cobertura similar a la forma de trabajo previamente existente en países como Francia, estima la sollicitación por humedad en base a la caracterización de periodos de 12 horas a lo largo de todo el año, como “húmedos”, “secos” o “neutros”. Una mayor acumulación anual de medias jornadas “húmedas”, se identifica como una mayor sollicitación por humedad sobre el cerramiento, mientras que un menor número de medias jornadas “húmedas” es indicativo de condiciones más favorables sobre la fachada.

Un periodo de 12 horas o media jornada, se califica como “húmedo”, siempre y cuando se den las siguientes circunstancias:

- Se registra una precipitación pluviométrica de más de 4 mm.
- La velocidad media del viento es superior a 2 m/s.
- La dirección del viento esta dentro del rango de 60° respecto a la perpendicular al cerramiento analizado.
- Se produce algún tipo de precipitación, para al menos tres de los 5 registros realizados cada tres horas en la media jornada analizada (6:00; 9:00; 12:00; 15:00; 18:00; 21:00; 00:00; 3:00 y 6:00).

Bajo estas condiciones, se entiende que la superficie del muro se humedecerá a causa de la lluvia batiente, propiciando la penetración de agua y almacenamiento de humedad en su interior.

Por su parte, un periodo de 12 horas o media jornada, se califica como “seco”, siempre y cuando se den las siguientes circunstancias:

- La humedad relativa media ambiental registrada es inferior al 70%.
- La velocidad media del viento es superior a 2 m/s.
- La dirección del viento esta dentro del rango de 60° respecto a la perpendicular al cerramiento analizado.

En estas condiciones, el viento presente y la humedad atmosférica baja propician la evaporación de parte de la humedad almacenada en el cerramiento, reduciendo su nivel de humedecimiento.

En caso de no satisfacerse las condiciones anteriores, el día es considerado como “neutro”, no produciéndose ni el humedecimiento ni la evaporación de agua en el muro (supuesto éste de fábrica pesada de albañilería, en consonancia con la definición anterior del periodo de humedecimiento).

Tal y como puede observarse, la cualificación de estas medias jornadas y por lo tanto de la solicitud, se realiza de forma aproximadamente independiente de la cuantía de lluvia o viento incidente, siempre que se superen ciertos umbrales, por lo que no es una caracterización cuantitativa sino cualitativa.

A cada media jornada “húmeda” se le asigna un valor “+1”, a cada media jornada “seca” un valor -1 y a cada jornada “neutra”, un valor de 0. La progresión de la humedad en el cerramiento se representa anualmente, considerando como única restricción la imposibilidad de alcanzar valores menores a 0.

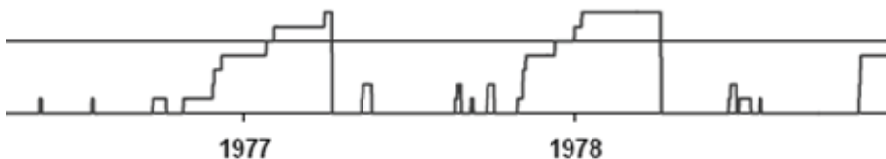


Figura III.34.- Elaboración de la progresión de la solicitud por el método cualitativo. Fuente: Sanders, 2004.

Como en casos anteriores, el cálculo habría de realizarse para cada posible orientación del cerramiento, asociando a cada una de ellas un valor o número de medias jornadas máximo anual. Posteriormente, el valor máximo que se llega a acumular cada año para cada orientación es registrado en una serie histórica de máximos.

Mediante la aplicación de la distribución de Gumbel (esta vez sí específicamente señalada en la norma UNE), puede estimarse el periodo de humedecimiento de referencia por lluvia batiente (medias jornadas húmedas máximas) para un periodo de retorno de 10 años y con él de forma cualitativa, la solicitud por humedad sobre el cerramiento, que se espera se iguale o supere una vez cada 10 años.

El método, aunque carece de la precisión de la estimación cuantitativa, es sugerido como posible caracterización alternativa ante la ausencia de datos diarios. No obstante, existen actualmente aproximaciones de mayor fiabilidad a la exposición

cuantitativa, obtenidas también a partir de datos sinópticos, como las elaboradas por Rydock et al, (2005) o por el propio autor (Pérez et al, 2012).

En cualquier caso, la norma también verifica la convergencia existente entre el valor cualitativo del anterior criterio para la exposición anual y la aproximación cuantitativa de I_A . Para ello los valores calculados en cuatro ciudades del Reino Unido se representan conjuntamente.

Como se aprecia, si bien se aprecia una ligera correlación entre ambos índices, ésta no es especialmente fuerte. Aun así, la norma concluye la existencia de convergencia entre ambos métodos y de ahí la validez de la estimación cualitativa establecida por el segundo método:

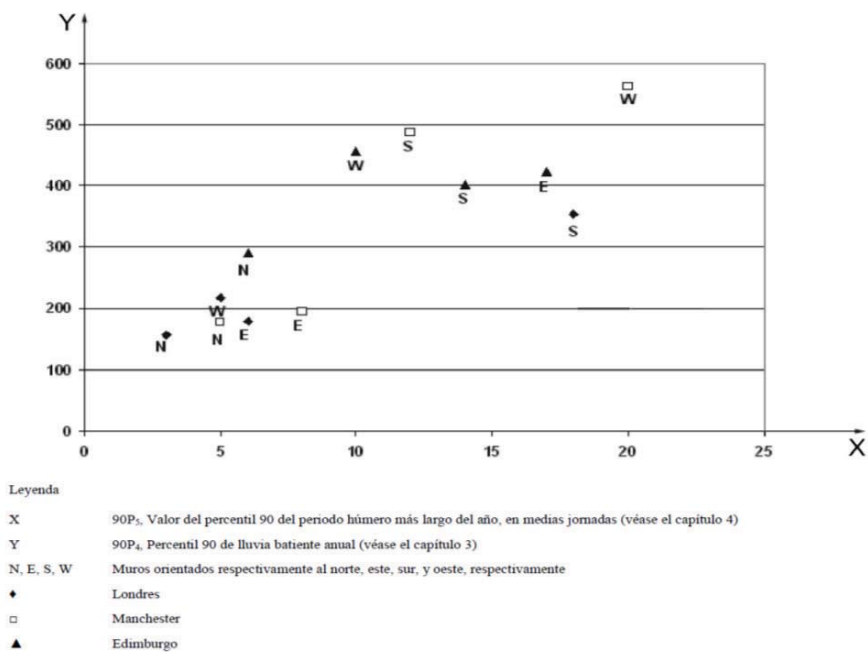


Figura III.35.- Comparación entre los valores de ambos métodos de caracterización de la solicitación, para tres ciudades de Reino Unido. Fuente: AENOR, 2011.

Del mismo modo que con cálculo cuantitativo, en el capítulo IV se presenta también una aproximación cualitativa, estimando la aproximación escalar al periodo de tiempo de humedecimiento máximo, para un periodo de retorno de 10 años, partiendo de datos diarios carentes de información sobre la direccionalidad del viento. Los resultados obtenidos, aunque no comparables a los obtenidos mediante el procedimiento UNE, son igualmente representativos de la solicitación anual existente de cada emplazamiento.

En resumen, la norma ha establecido por lo tanto 2 caracterizaciones temporales:

- En un periodo anual (mediante dos métodos alternativos basados en datos de partida diferentes).
- En un periodo temporal corto.

Mientras la primera caracterización contabiliza el humedecimiento del cerramiento a largo plazo, tanto de forma cuantitativa como cualitativa, el segundo caracteriza cuantitativamente la sollicitación intensa a corto plazo y que puede derivar en la penetración puntual de agua a través de la fachada.

En cualquier caso, la definición de estos métodos se orienta a una climatología similar a la británica y en todo caso para cerramientos verticales conformados por fábrica pesada de albañilería.

No se analizan otros casos o configuraciones de cerramiento en la definición tanto de los periodos de humedecimiento como de las magnitudes definidas, limitación ésta ya identificada por múltiples autores (Rydock et al., 2005), como un aspecto claramente mejorable en la norma.

Ponderación local

Complementariamente, en la norma se aportan los coeficientes de ajuste necesarios para ponderar los cálculos anteriores, referidos a zonas despejadas y a una altura de 10 m sobre la rasante, hasta el cálculo preciso de la lluvia batiente en cerramientos verticales concretos, donde la influencia de la altura, topografía y obstáculos cercanos, modifican la magnitud de la lluvia batiente registrada.

De esta forma y siguiendo los aspectos ya introducidos en el Capítulo II.2 Se presentan los coeficientes concretos para introducir la rugosidad del terreno, topografía cercana, presencia de obstáculos en el entorno y punto concreto de la fachada sobre la que se quiere obtener el resultado, en el cálculo en condiciones de referencia anteriormente presentado.

Su simple multiplicación por los índices I_A e I_S calculados en la norma UNE, permite la obtención de índices locales, únicamente válidos para el punto concreto del cerramiento analizado:

$$I_{wA} = I_A C_R C_T O W$$

$$I_{wS} = I_S C_R C_T O W$$

El coeficiente de rugosidad del terreno C_R , contempla la variabilidad de la velocidad media del viento condicionada por la altura del cerramiento por encima del nivel de la rasante y la rugosidad del terreno en la dirección en que sopla el viento.

El coeficiente topográfico C_T tiene en cuenta el aumento de la velocidad media del viento en colinas y taludes aislados y está relacionado con la velocidad del viento soplando de cara en la colina o talud.

El factor de obstrucción O evalúa la distancia horizontal del obstáculo más cercano al cerramiento, con una altura similar a la del punto de la fachada analizado. El factor de captación W contempla el tipo de cerramiento analizado, la altura del punto

analizado, la existencia de salientes, la orientación de los ladrillos, su posición cerca de esquinas, por encima del tejado...

La norma recoge una serie de valores tabulados para todos estos coeficientes.

III.3.6.2.- UNE-EN 12865:2001

La norma “comportamiento higrotérmico de componentes y elementos de edificación. Determinación de la resistencia al agua de lluvia de muros exteriores bajo impulsos de presión de aire”, responde al enfoque anglosajón (wind driving rain) de la sollicitación por humedad (estimación de una carga de lluvia sobre el cerramiento vertical y una presión de viento simultánea).

Bajo tal enfoque, la norma define una metodología de ensayo para fachadas (generalmente tradicionales, para fachadas ligeras y muros cortina se aplica otra norma específica similar que se expone más adelante), basada en el sometimiento de una probeta normalizada del cerramiento (1,2 x 2,4 m), a unas condiciones de sollicitación por humedad pre-establecidas.

Para ello, se aplica una cantidad de agua constante sobre la superficie vertical del cerramiento $I_{v \text{ ensayo}}$, la cual es impulsada mediante una determinada presión creciente, que simula la acción del viento sobre la fachada en condiciones reales (ΔP). La cantidad de agua aplicada consta de dos partes: agua de escorrentía con una cuantía de 1,2 l/min m, aplicada sobre la parte superior de la probeta y agua de lluvia con una cuantía de 1,5 l/min m², uniformemente distribuida sobre la probeta.

Consecuentemente, la cantidad total de agua aplicada sobre la muestra puede calcularse como:

$$I_v = \frac{1,2 \cdot 1,2}{1,2 \cdot 2,4} + 1,5 = 2 \quad [\text{l/m}^2 \text{ min}]; [\text{mm/min}]$$

Esta cantidad de agua constante incidente sobre el cerramiento vertical de la probeta, corresponde a la estimación de un valor típico de diseño de “wind driving rain” establecido para el ámbito europeo, que incluye valores habituales correspondientes a parámetros eólicos del entorno y del propio edificio.

Así, es habitualmente estimada una precipitación sobre la vertical del cerramiento, de 2 l/m² min, para una duración del chubasco de 5 minutos (considerada como mínima duración para la intensidad máxima), en un periodo de retorno de 30 años (Sahal y Lacasse, 2008).

Este mismo valor, es de aplicación en otros ensayos de ámbito europeo, como las normas UNE-EN 1027:2000 o UNE-EN 12155:2000, para el ensayo de ventanas o fachadas ligeras, siendo por lo tanto un parámetro estandarizado utilizado por las normativas para toda Europa.

No obstante y de forma obvia, según la localización específica, existirán valores de precipitación sobre la vertical diferentes de este valor estandarizado para el ensayo y su cuantificación, nacional, regional o local, sería recomendable. En consecuencia, el ensayo actual no se puede considerar del todo prestacional.

Además, estos valores de lluvia batiente varían en función del periodo de retorno considerado, de tal forma que solicitaciones que se repitieran con un mayor periodo de retorno, conllevarían un mayor aporte de agua que aquellas que se repiten más frecuentemente.

La utilización de un valor constante de aporte de agua, ni tiene en cuenta la prestación necesaria definida para el cerramiento (periodo de retorno de las solicitaciones que debe superar), ni tiene en cuenta la climatología, altura o entorno del cerramiento ensayado, por lo que la caracterización de su estanqueidad no es en ni precisa ni estrictamente rigurosa en la actualidad.

A lo largo del capítulo V, se expone una metodología que permite adaptar este ensayo para obtener de forma precisa las exposiciones que es necesario simular en el ensayo para evaluar las condiciones de exposición que se dan sobre cualquier cerramiento concreto con un periodo de retorno. Del mismo modo, se permite evaluar el periodo de retorno con el que se producirían para cualquier cerramiento concreto, las condiciones de exposición estandarizadas simuladas en el ensayo.

Este capítulo por lo tanto constituye un relevante avance al estado del conocimiento, al permitir una evaluación plenamente prestacional de la estanqueidad de los cerramientos, sea cual sea su futura localización, entorno, altura o prestación requerida.

En el ensayo, la presión de viento se simula sometiendo a la muestra de ensayo a una diferencia de presión, en intervalos progresivamente crecientes, hasta que se produce la filtración a través de la probeta. Cada intervalo de presión se aplica mediante cuatro impulsos que se repiten periódicamente:

- Un paso de presión creciente de 3 ± 1 s.
- Un paso de presión máxima del intervalo, de 5 ± 1 s.
- Un paso de presión decreciente de 2 ± 1 s.
- Un paso de presión nula de 5 ± 1 s.

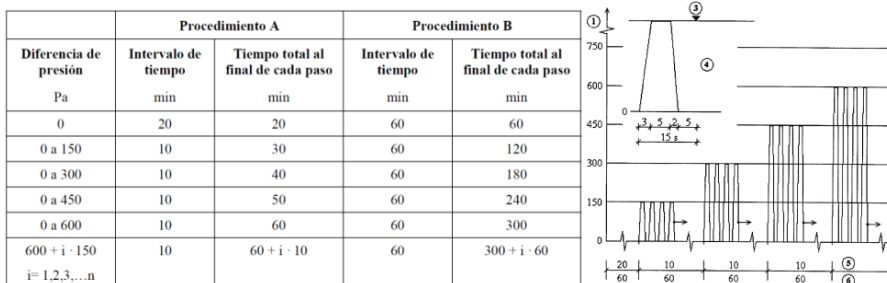


Figura III.36.- Procedimiento de ensayo recogido por UNE-EN 12865:2001, indicando los intervalos de presión a aplicar durante el desarrollo del ensayo, que puede prolongarse varias horas y los impulsos de presión establecidos en cada intervalo.

Siguiendo la anterior repetición de impulsos, los diferentes intervalos de presión son aplicados mediante dos procedimientos a elegir, el primero de ellos (A), para comprobación en un corto espacio de tiempo de ensayo y el segundo (B), para una

comprobación más lenta, en la que es posible determinar el agua absorbida por el cerramiento o capaz de penetrar a través del mismo.

El ensayo termina en el momento en el que se detecta la presencia de agua en el lado del cerramiento opuesto a la solicitación, anotándose la presión de dicho momento, como la máxima resistida por el cerramiento.

Si se ha seguido el procedimiento B, en ese momento es posible pesar igualmente la probeta, determinando de ese modo la masa de agua absorbida por el cerramiento, respecto del estado inicial seco, como:

$$w_{agua} = \frac{(m_1 - m_0)}{A} \quad [\text{kg/m}^2]$$



Figura III.37.- Probetas de ensayo desarrolladas por el Instituto Valenciano de la Edificación en el marco de la investigación prenormativa previa a la publicación del CTE, mediante UNE-EN 12865:2001 (www.five.es).

La caracterización establecida por este mecanismo de ensayo, ha sido utilizada, con las pertinentes adaptaciones, para establecer y validar la resistencia a la filtración de las diferentes soluciones aceptadas recogidas por el CTE y por el Catálogo de Elementos Constructivos (CEC) en sustitución de un método de verificación del que carece actualmente la norma.

Así, en el propio Catálogo de Elementos Constructivos, puede encontrarse para fachadas, la siguiente estimación:

“Puede considerarse que una fachada tiene GI 5 si, para la presión de diseño en función de la altura del edificio, exposición y zona eólica, es estanca al agua según los ensayos descritos o referenciados en las siguientes normas:

a) Con carácter general, procedimiento A de UNE-EN 12865:2002 "Comportamiento higrotérmico de componentes y elementos de edificación. Determinación de la resistencia al agua de lluvia de muros exteriores bajo impulsos de presión de aire"

b) En caso de fachadas ligeras, UNE-EN 12154:2000 "Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Requisitos y clasificación", o análogamente UNE-EN 13051:2001 "Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo in situ".

También puede considerarse que una fachada tiene GI 5 si dispone, cerrando la cámara por el interior, de una barrera resistente a la penetración al agua clase W1 y permeable al vapor de agua, que cumpla con UNE-EN 13859-2: 2006 + A1:2009 "Láminas

flexibles para impermeabilización. Definiciones y características de las láminas auxiliares. Parte 2: Láminas auxiliares para muros”.

Puede considerarse que una fachada tiene GI 4 si no se producen fugas, según los ensayos descritos en las normas anteriores, para presiones inferiores pero no menores a 0,25 veces la de diseño y a 300 Pa. En este caso, el sistema o las hojas interiores no deben presentar danos ante las posibles pérdidas de estanqueidad puntuales para presiones mayores a estas”. (IETcc, 2010)

No obstante, esta utilización de este ensayo, choca frontalmente con la caracterización del grado de impermeabilidad hecho por el CTE y con el propio contexto en el cual el ensayo fue definido.

El ensayo se orienta a simular sobre el cerramiento condiciones de solicitación tipo, tal y como se describe en su propio texto introductorio:

“La cantidad de agua de lluvia que actúa en una parte determinada de la superficie del elemento exterior depende de la cantidad de agua que cae y de la velocidad del viento que existe simultáneamente, de la exposición del edificio y de los detalles arquitectónico/estructurales de la superficie”

Se aprecia como el mismo se enmarca dentro del enfoque “wind driving rain”, que fue avanzado en el capítulo II.3. Por ello, las solicitaciones que han de utilizarse en el ensayo, han de corresponder a las condiciones simultáneas de lluvia y viento que se producen durante un evento suficientemente desfavorable de precipitación (solicitación por humedad sobre la fachada).

El ensayo pretende ser un estándar armonizado europeo, por lo que se caracterizan las fachadas sometidas a un aporte de agua estándar ($2 \text{ l/m}^2 \text{ min}$), según la presión de viento que resisten sin ocurrencia de filtración.

La elección de una u otra fachada en una localización concreta, dependerá de la presión de viento más desfavorable que se haya medido en la localización de forma simultánea a una precipitación y de su comparación con el resultado del ensayo.

No obstante en la actualidad esta elección se basa en la presión eólica máxima medida en el emplazamiento, sin tener en cuenta la simultaneidad de ese viento con la precipitación, tal y como se sí se simula en el ensayo. En consecuencia la elección no se basa en un criterio técnico riguroso.

En cualquier caso, este enfoque permite un diseño prestacional respecto al viento medido, pero descarta totalmente la influencia respecto de la cuantía de la lluvia batiente, ya que la misma es constante en el ensayo.

Esta caracterización se alinea con la estimación de una probeta de ensayo carente de fisuras, aberturas o grietas apreciables (menores a 0,5 mm), de tal modo que la superficie del cerramiento puede saturarse rápidamente, mostrando la filtración una mayor sensibilidad a la presión exterior, que a la cantidad de agua superficial (Cornick y Lacasse, 2005).

En esta línea, suele estimarse por los investigadores (Sahal y Lacasse, 2008), que la estanqueidad del muro únicamente se hace más sensitiva a las variaciones de agua superficial, si existen aberturas de tamaño apreciable (más de 1 mm), que permitan la penetración libre del agua.

Si la ejecución es adecuada y los cerramientos no presentan aberturas o fisuras de tal magnitud, la utilización de un valor contante de $2 \text{ l/m}^2 \text{ min}$, no ha de dar resultados de filtración muy diferentes a los que se obtendrían con caudales algo mayores o menores, ajustados a la precipitación real de la localización concreta (el fenómeno resulta poco sensible a la variación de este caudal).

En cualquier caso, resultaría de interés ajustar los parámetros de ensayo a las condiciones de precipitación reales del entorno local, regional o nacional para el cual se utiliza el ensayo. Así, la utilización del valor de $2 \text{ l/m}^2 \text{ min}$ (considerado como un estándar europeo) en la norma española, incurre en una significativa mayoración de las cargas de lluvia respecto a las realmente existentes.

Dado que cada emplazamiento, altura, climatología, entorno, periodo de retorno considerado... determinan unas condiciones de aporte de agua y presión sobre el cerramiento, sería de interés poder caracterizar estas condiciones de alguna forma en el ensayo, para pasar de una homologación aproximada, generalista y por lo tanto imprecisa, a una homologación moderna, prestacional y precisa. La particularización de estas características particulares a un diseño concreto definido por el usuario, es un reto que previamente a la realización de este trabajo, no había sido todavía abordado. El capítulo V, permite resolver esta problemática, representando un avance de gran importancia para el sector.

En cualquier caso el grado de impermeabilidad definido por el CTE, se aleja en gran medida de este contexto de solicitud concreta.

Éste se establece mediante una precipitación medial anual registrada no sobre el cerramiento sino sobre la horizontal y mediante una presión de viento puntual, máxima histórica, que no es simultánea con precipitación alguna. El grado de impermeabilidad definido en base a esta caracterización y el que se puede homologar en base a la realización del ensayo, no pueden ser por lo tanto comparables y coherentes entre sí.

Así pues, aunque la solución aceptada se evalúe mediante dicho ensayo, su resultado no puede ser en ningún caso relacionado con el Grado de impermeabilidad definido por el CTE. No puede encontrarse una relación directa entre solicitud del CTE y la prestación de las soluciones aceptadas del CTE a través del ensayo que se describe. Extrapolar un grado de impermeabilidad definido en base a condiciones anuales de lluvia y viento máximo, a partir de solicitudes puntuales, resulta inviable.

Aun así y a tenor de lo anterior, dada la ausencia de método de verificación, este ensayo se está utilizando por el CEC para caracterizar el grado de impermeabilidad en soluciones diferentes a las aceptadas por la norma.

En consecuencia, la caracterización de los grados de impermeabilidad 4 y 5 mediante estos ensayos, tal y como indica el extracto anterior del CEC, no es equiparable a los grados de impermeabilidad 4 y 5 definidos por el CTE, ya que responden a parámetros diferentes. Lo que debería ser un viento simultáneo a la precipitación, se asocia a una racha de viento máximo histórico y lo que debería ser una precipitación puntual sobre la vertical (wind driving rain), se asocia a una precipitación media anual sobre el terreno horizontal.

La confusión de conceptos físicos en todos los ámbitos de esta exigencia básica del CTE, es total:

Según ese criterio anterior, si el cerramiento ensayado no presenta infiltraciones a la presión del diseño durante el ensayo, el mismo puede caracterizarse mediante GI 5.

De lo anterior se deduciría, que la condición de pluviometría media anual sobre la horizontal I (ver Figura III.38), es equivalente a la cantidad de agua vertida sobre el cerramiento vertical durante el ensayo (2 mm/min), lo cual no tiene ningún sentido:

		<i>Zona pluviométrica de promedios</i>				
		I	II	III	IV	V
Grado de exposición al viento	V1	5	5	4	3	2
	V2	5	4	3	3	2
	V3	5	4	3	2	1

Grado de exposición al viento (CEC)	Grado de impermeabilidad asociado, para un aporte de agua constante durante el ensayo (2 l/m ² min)
P _{diseño}	5
0,75 P _{diseño} o 300 Pa	4
No definido	3
No definido	2
No definido	1

Figura III.38.- Comparación de la determinación del grado de impermeabilidad de las soluciones, establecida para las soluciones aceptadas por CTE y la caracterización sustitutiva al método de verificación propuesta mediante ensayo normalizado.

Dado que el ensayo mantiene una cantidad de lluvia constante sobre la probeta, menores grados de impermeabilidad no pueden caracterizarse en base a la reducción de la cantidad de agua. El ensayo por lo tanto, no es válido para definir los GI en base a una tabla como la del CTE, en la que la pluviometría tiene una marcada influencia.

Mientras que en el ensayo, la cantidad de agua sobre el cerramiento no es excesivamente relevante si se mantiene una capa superficial de agua de escorrentía sobre la muestra, en la tabla del CTE el grado de impermeabilidad se haya fuertemente condicionado por la precipitación media anual, oscilando en función de la misma desde GI 1 a 5. Ambas aproximaciones por lo tanto no son coherentes entre sí.

La incoherencia del CTE a al utilizar valores medios anuales, como representativos de valores puntuales de exposición, puede demostrarse mediante un simple análisis estadístico realizado sobre datos de precipitación:

Tomando como referencia la publicación ministerial “Máximas lluvias diarias en la España peninsular” (Ministerio de Fomento, 1999) para el cálculo de la intensidad de precipitación diaria y el apéndice B del DB-HS 5 para la intensidad máxima horaria, se ha realizado la siguiente tabla. En ella, se analiza en diferentes poblaciones españolas, encuadradas en las zonas pluviométricas de promedios del CTE, la precipitación puntual esperada en un periodo diario y horario:

- San Sebastián y cercanías de Santiago de Compostela, para pluviometría I.
- Oviedo y Santander, para pluviometría II.
- Burgos y Teruel, para pluviometría III.
- Toledo y Badajoz, para pluviometría IV.

- Almería y alicante, para pluviometría V.

Tabla III.5.- Como se aprecia, cuanto menor es el intervalo de duración considerado para la exposición (año – día – hora), menores son las diferencias de intensidad pluviométrica que se dan y por lo tanto menores las diferencias de sollicitación puntual sobre la fachada.

Zona pluviométrica de promedios (CTE)	I	II	III	IV	V
Precipitación anual [mm]	>2000	1000 - 2000	500 - 1000	300 - 500	<300
Precipitación diaria TR = 25 años [mm/día]					
San Sebastián/Oviedo/Burgos/Toledo/Almería	133,4	86,6	59	59	82,1
Santiago/Santander/Teruel/Badajoz/Alicante	121,2	116,5	71,1	66,8	113,7
Precipitación horaria TR = 10 años [mm/h]					
San Sebastián/Oviedo/Burgos/Toledo/Almería	125	125	90	65	90
Santiago/Santander/Teruel/Badajoz/Alicante	125	125	125	70	90

Como se aprecia en la tabla anterior, en algunos casos (caso del levante español), a pesar de tener una pluviometría V, las condiciones de la fachada durante un día u hora de chubasco, son más desfavorables que zonas pluviométricas más severas o su diferencia no es demasiado acusada.

Se aprecia como la trasposición de la sollicitación pluviométrica anual (CTE), a condiciones puntuales (ensayo), da como resultado diferencias mucho menos acusadas, en algunos caso inexistentes o incluso inversas respecto a lo esperado. Del mismo modo, localizaciones encuadradas en la misma zona pluviométrica de promedios (por ejemplo Burgos y Teruel), dan resultados de precipitación puntual diaria u horarias (y por lo tanto de sollicitación sobre la fachada), totalmente dispares.

Se deduce por lo tanto, que la pluviometría anual utilizada por el CTE, no puede tener una trasposición directa al ensayo de resistencia al agua de lluvia de muros exteriores bajo impulsos de presión de aire y que por lo tanto, la estimación reflejada por el CEC para la caracterización de soluciones no obedece a un enfoque prestacional, sino simplemente aproximativo y subjetivo.

Del mismo modo la caracterización pluviométrica media anual realizada en el CTE, no puede considerarse válida para definir la exposición de un cerramiento a la humedad, tal y como ya se había apuntado anteriormente.

El grado de impermeabilidad 4 se define en el CTE, como una sollicitación de exposición al viento similar al grado 5, con una menor pluviometría anual (véase la figura III.38).

No obstante, en el Catálogo de Elementos Constructivos, se pretende definir mediante ensayo el grado de impermeabilidad 4 como una sollicitación de menor exposición al viento ($0,75 \cdot P_{\text{diseño}}$), con la misma pluviometría de 2 mm/min (valor constante en el ensayo).

Se podría deducir que la relación propuesta, pretende establecer una equivalencia entre una diferencia de presión de $0,25 \cdot P_{\text{diseño}}$ y una diferencia de pluviometría anual de 1000 mm, en la caracterización de la magnitud de la sollicitación.

Dicha relación, simplemente, no puede establecerse:

Una variación anual significativa de la pluviometría de la localización, tal y como se aprecia en la tabla anterior, no tiene porque traducirse en una variación significativa de la precipitación que puede registrarse en un momento puntual dado (que es el parámetro que se utiliza en el ensayo), tal y como se muestra en la tabla comparativa anterior.

Por lo tanto, queda demostrado como la asociación establecida entre ensayo y caracterización CTE, obedece más a una apreciación subjetiva e intuitiva, errónea según la localización, que a un parámetro prestacional. El principal motivo de este error está en la inadecuada estimación de la sollicitación establecida por el CTE, en ningún caso asimilable a las condiciones del ensayo.

No puede garantizarse que un cerramiento que no presenta infiltración de agua a una presión $0,75 P_{\text{diseño}}$ con la pluviometría de ensayo (se le supone G.I. 4), tenga un comportamiento igualmente satisfactorio ante la $P_{\text{diseño}}$ y una pluviometría anual algo menor, por ejemplo tipo II (condición G.I. 4 de la tabla del CTE).

La situación de incompatibilidad entre las caracterizaciones del grado de impermeabilidad mediante CTE y ensayo, se comprueba de forma inmediata recurriendo al ensayo realizado sobre algunas soluciones aceptadas recogidas por el CTE:

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL AGUA DE LLUVIA DE MUROS EXTERIORES BAJO IMPULSOS DE PRESION DE AIRE (UNE EN 12865:2002)							
Probeta	Revestim	Esp. bloque (cm)	Espesor revest. Exterior (mm)	Tiempo ensayo	Presión / Caudal (Pa) / (l/m ² -min)	Penetración agua (mm)	Resultado
Pb1	Monocapa con base cemento + enyesado	24	14,50	90 min	0 Pa-1050 Pa Sup= 1,2 l/mxmin Inf.= 1,5 l/mxmin	No se aprecia	1050 Pa Satisfactorio
Pb2	Enfoscado con pintura elástica + enyesado	24	15,21	90 min	Ciclos 0 Pa – 1050 Pa Sup= 1,2 l/mxmin Inf.= 1,5 l/mxmin	No se aprecia	1050 Pa Satisfactorio

Figura III.39.- Resultados de ensayo para cerramientos de bloque cerámico de 24 cm (C2) y revestimiento exterior de resistencia media la filtración (R1). Mientras que esta solución alcanza por CTE, un grado de impermeabilidad 3, por el criterio referido antes alcanzaría un valor de 5, dado que la presión de 1050 Pa, corresponde a una presión de diseño elevadísima. Fuente: Maiztegui y Astudillo, 2006.

Por otra parte, la utilización del ensayo por parte del Catálogo de Elementos Constructivos, como sustitutivo de un método de verificación para las soluciones, queda también incompleto al no establecer condiciones y criterios para alcanzar grados de impermeabilidad menores a 4. No se ha definido por lo tanto cual es la “equivalencia” en términos de ensayo a los grados de impermeabilidad 1, 2 y 3.

Relación de la norma de ensayo con el Catálogo de Elementos Constructivos

A pesar de lo anterior, el CEC recoge entre sus soluciones de fachadas no aceptadas inicialmente por el CTE, caracterizaciones de gran interés.

En primer lugar, se establecen equivalencias adicionales entre los componentes recogidos por el CTE, con otros elementos, tal y como se muestra a continuación. Las propiedades definidas en el CEC se han identificado mediante una “ ’ ”, para diferenciarlos de las propiedades ya recogidas en el CTE DB-HS1:

- Resistencia del revestimiento (R):
“R3’.- También puede considerarse equivalente a R3 un sistema de paneles prefabricados con juntas estancas.
- Composición (C):
“C1’.- También puede considerarse equivalente a C1 una fachada formada por paneles prefabricados de hormigón o un muro de hormigón in situ. También puede considerarse equivalente a C1 un elemento ligero de cerramiento con las siguientes características:
 - *Compatibilidad de sus movimientos, debidos a las acciones e influencias previsibles, con el resto de los componentes de la solución;*
 - *Permeabilidad al agua y al aire que proporcione una suficiente estanquidad.*
- Resistencia de la barrera (B):
“B3’.- También puede considerarse equivalente a B3 una cámara de aire ventilada análoga a la anterior en la que el elemento interior de cierre de la cámara no se degrade por la humedad.
- Resistencia a la filtración en las juntas (J):
“J1’.- También puede considerarse equivalente a J1 las juntas selladas entre paneles prefabricados de hormigón o del hormigón in situ.

En base a estas nuevas equivalencias, podría definirse, tal y como así hace el Catálogo de Elementos Constructivos, el grado de impermeabilidad de una solución no recogida en el Código Técnico. Para ello, sería necesario simplemente consultar el grado de impermeabilidad asignado a la solución en el CTE. Por ejemplo:

$$GI \leq 5: \quad B3' + C1' = B3 + C1$$

$$GI \leq 5: \quad R3' + C1' = R3 + C1$$

No obstante, el CEC no utiliza dicha tabla de soluciones aceptadas, sino que asigna valores de grado de impermeabilidad que no se corresponden a lo recogido por el CTE.

Aportando algún ejemplo representativo, a continuación, se muestran las características para dos soluciones de fachada (ligera F.10.1, panel sándwich con alma aislante F 11.1):

FACHADA LIGERA CON CÁMARA DE AIRE VENTILADA				
RE revestimiento exterior discontinuo fijado mecánicamente C cámara de aire ventilada ⁽⁶⁾ AT aislante HI hoja interior T tablero o panel impermeable, por ejemplo, tablero con base Ci cámara interior no ventilada YL placa de yeso laminado				
Código	Sección	Datos entrada		HS
		RE	HI	Gi ⁽⁴⁾
F.10.1 ⁽⁷⁾		B3'	C1'	3
Panel sándwich con alma aislante				
PS panel sandwich de chapa de acero con alma aislante de: LM núcleo de lana mineral PU núcleo de poliuretano C cámara no ventilada ⁽⁵⁾ AT aislante H hoja interior T tablero o panel impermeable, por ejemplo, tablero con base de cemento YL placa de yeso laminado LH fábrica de ladrillo cerámico hueco LP fábrica de ladrillo cerámico perforado Ri revestimiento interior. (guarnecido, entucido, alicatado...etc.)				
Código	Sección	Datos entrada		HS
		PS	HI	Gi ⁽¹⁾
F.11.1		R3'+C1'	-	2
F.11.2 ⁽⁷⁾		R3'+C1'	-	3 ⁽⁴⁾
		R3'	C1'	

Figura III.40.- A ambas soluciones se les asigna un G.I. (3 y 2 respectivamente), que no se corresponde con la caracterización por CTE de sus soluciones B3+C1 y R3+C1 (5 y 5 respectivamente). Fuente: IETcc, 2010.

Así pues o bien la equivalencia anterior descrita entre C1', C1, B3', B3, R3' y R3 no es unívoca, o bien el grado de impermeabilidad definido por el CTE para sus soluciones, tampoco es unívoco.

Del mismo modo, la solución de fachada F.11.2, también representada en la figura, asigna a la misma solución precedente (R3'+C1'), un grado de impermeabilidad mayor (3), reforzando la tesis de que la asignación se realiza de forma intuitiva, no objetivable.

Es obvio que la solución F.11.2 tendrá mayor resistencia a la humedad que la precedente, al contar con una cámara de aire y fábrica de ladrillo adicional. Sin embargo, la cuantificación de esta mayor resistencia, se hace en base a criterios arbitrarios y subjetivos, de tal forma que a F.11.2, bien se le podría haber asignado también un grado de impermeabilidad 4 ó 5 si se hubiera querido.

De hecho, el propio catálogo recoge como este grado puede aumentar en dicha solución a 4, si se dispone “*un sistema de recogida de agua en la parte inferior de la cámara*”, elemento éste, que ni existe en toda la superficie de la fachada, ni puede incluirse en un ensayo normalizado...

La presencia de esta recogida de aguas, responde a un aspecto relativo a las condiciones de los puntos singulares del CTE (DB-HS1.2.3.3.5) y por lo tanto, su ejecución se sobrentiende en cumplimiento de la norma. Desde luego, la existencia o no de un sistema de recogida de aguas, poco o nada tiene que ver con la estanqueidad del paño de cerramiento.

Para mayor abundamiento en esta falta de prestacionalidad y ausencia de criterio al definir el grado de impermeabilidad y las soluciones, el catálogo permite otorgar a las anteriores soluciones un Grado de impermeabilidad 5, siempre que supere las condiciones impuestas en el ensayo que se viene tratando para la presión de diseño. O un grado de impermeabilidad 4, si solo se alcanza 0,75 veces la presión de diseño.

Por lo tanto, una misma solución de fachada F.11.2, que indudablemente presenta una resistencia a la humedad definida, unívoca y concreta, permite su caracterización en base a 3 grados de impermeabilidad diferentes, dependiendo de los “accesorios” con los que cuente. Solo resta plantearse una pregunta:

¿Qué grado de impermeabilidad habría que asignar, si la fachada supera el ensayo a $0,75 \cdot P_{\text{diseño}}$ y además se la dota de un sistema de recogida de agua? ¿4 ó 5?

Se demuestra con ello, que el conjunto de caracterizaciones establecidas por el marco normativo actual, relativo a las solicitudes sobre el cerramiento y la capacidad resistente a la humedad de las soluciones, se fundamentan en un enfoque no prestacional, meramente aproximativo, intuitivo y subjetivo, que condiciona inevitablemente, las múltiples incongruencias detectadas.

La falta de prestacionalidad del código ha quedado sobradamente demostrada y permite albergar serias dudas, acerca de la adecuación y resistencia real de las soluciones y del grado de sobre o infradimensionado que se está introduciendo en nuestras fachadas desde el año 2006.

Por desgracia, los efectos del diseño actual de fachadas tardarán en manifestarse y únicamente debemos albergar la esperanza de que los síndromes por humedad no se vean aumentados en los próximos años.

A favor juega el hecho de que la mayoría de las soluciones recogidas por CTE y CEC, son soluciones previamente utilizadas en la práctica constructiva habitual, por lo que no ha supuesto un cambio sustancial en la forma de construir en nuestro país. Además, la mera regulación de la materia previene de prácticas indebidas en la construcción y el actual frenazo en la actividad constructora nacional, ha supuesto una reducción drástica del número de edificaciones realizadas en base a esta normativa, por lo que su efecto todavía no ha sido muy acusado.

No obstante, deben a la mayor brevedad posible establecerse los mecanismos necesarios para cuantificar adecuadamente (de forma prestacional), la solicitud de humedad en los cerramientos españoles, así como establecer las metodologías para caracterizar adecuadamente las propiedades de estanqueidad ante esas solicitudes, de

forma objetivable. Dicha tarea ha sido abordada en este trabajo en los capítulos IV y V respectivamente.

III.3.6.3.- UNE-EN 12154:1999, UNE-EN 12155:2000 y UNE-EN 13051:2001

La norma UNE-EN 12155:2000 “fachadas ligeras. Estanqueidad al agua. Ensayo de laboratorio bajo presión estática”, configura una prueba de ensayo análoga a la anterior, orientada esta vez a determinar la estanqueidad al agua de fachadas ligeras o muros cortina, tanto de las partes fijas como móviles. Los resultados de la misma son utilizados por la norma “fachadas ligeras. Estanqueidad al agua. Requisitos y clasificación”, para establecer una homologación de la estanqueidad de estos sistemas.

Como la norma anterior, somete a una probeta del cerramiento con una dimensiones suficientes para contener todos sus elementos, a unas condiciones de aporte de humedad establecidas por una cantidad de agua constante sobre la superficie vertical del cerramiento $I_{v \text{ ensayo}}$, y a una determinada diferencia de presión creciente (ΔP), que simula la acción del viento sobre la fachada en condiciones reales.

La cantidad de agua aplicada es de 2 l/min m², suministrada de forma que ésta quede dispuesta como una película constante y uniforme sobre la cara exterior de la probeta. Tal y como se aprecia, la cantidad de agua aportada, es idéntica a la utilizada en el anterior ensayo, adoptándose esta magnitud como un estándar para I_v .

A diferencia del caso anterior, la presión de viento se simula impulsando el agua de ensayo a presión, de forma constante, hasta que se produce la filtración a través de la probeta. El ensayo termina una vez alcanzada la presión máxima necesaria para la clasificación esperada, sin que se haya producido filtración a través de la fachada.

Siguiendo la anterior distribución de impulsos, será la clasificación que se pretende ensayar para el cerramiento (R3, R4, R5...), la que determine la intensidad del ensayo, marcando la norma UNE-EN 12154:1999 los escalones de presión y la duración de la solicitación, para determinar la validez o nulidad de dicha calificación esperada:

Clases	Escalones de presión en Pa y duración del ensayo en minutos Pa/T	Proporción de rociado de agua l/min · m ²
R4	0/15; 50/5; 100/5; 150/5	2
R5	0/15; 50/5; 100/5; 150/5; 200/5; 300/5	2
R6	0/15; 50/5; 100/5; 150/5; 200/5; 300/5; 450/5	2
R7	0/15; 50/5; 100/5; 150/5; 200/5; 300/5; 450/5; 600/5	2
RE xxx	0/15; 50/5; 100/5; 150/5; 200/5; 300/5; 450/5; 600/5; por encima de 600/5 en escalones de 150 Pa y de 5 minutos de duración	2

Figura III.41.- Escalones de presión y duración de los mismos para alcanzar la clasificación requerida, para una lámina de agua constante en la superficie del cerramiento. La presión máxima alcanzada 150, 300, 450, 600 Pa, determina la clasificación de la estanqueidad de la fachada ligera.

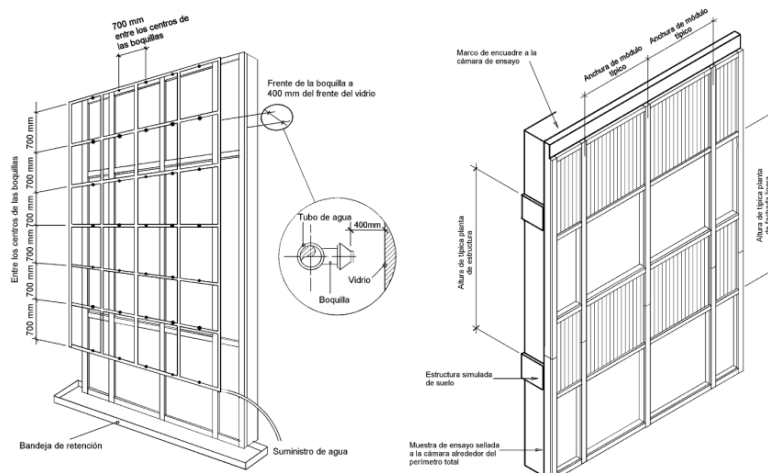


Figura III.42.- Disposición recomendada de la parrilla de boquillas para la impulsión de agua sobre el cerramiento (izq.) y ejemplo de sección representativa de fachada para la determinación del tamaño de la probeta de ensayo.

Del mismo modo la norma UNE-EN 13051:2001, establece la posibilidad de detectar puntos de infiltración “in situ”, sobre fachadas ya ejecutadas, mediante el aporte “in situ” sobre la misma de una cantidad de agua constante y continuada, hasta que se aprecie la localización de la fuga. Este ensayo por lo tanto, no pretende caracterizar la resistencia del cerramiento ante las solicitaciones, sino identificar los puntos de penetración en fachadas aquejadas previamente de defectos en su estanqueidad.

III.4.- CONTEXTO NORMATIVO INTERNACIONAL

La exposición de diferentes normativas que se contiene en este apartado, no pretende establecer un desglose pormenorizado de los aspectos técnicos recogidos en las mismas, trabajo este de una amplitud que superaría los objetivos de este estudio.

Además dicho esfuerzo sería inabordable, dado que el enfoque quedaría necesariamente carente de rigor y sentido en la situación actual: no es posible comparar diferentes soluciones frente a la estanqueidad al no disponer de un criterio de comparación válido.

Tal y como se ha identificado ya para la norma española, la ausencia de métodos de verificación cuantitativos, rigurosos y comparables, es tónica general en la aproximación de las normativas internacionales a la exigencia de protección frente a la humedad.

Las limitaciones en el estado del conocimiento hacen que la prestación se cumpla mediante la aplicación de soluciones constructivas sancionadas por la práctica y la cotidianeidad constructiva y en las que dichas soluciones, presentan un cierto grado de adecuación a las exigencias previsibles.

En cualquier caso como ya se ha visto para el caso del CTE, esta adecuación a la exigencia no se realiza de forma rigurosa, sino en base a criterios aproximados, cualitativos o estimados, que imposibilitan establecer cualquier correlación o comparación rigurosa entre las soluciones de diferentes normativas. Bajo estas premisas, la comparación técnica entre normas se torna inasumible.

Únicamente para aquellos puntos como el referente al cálculo de condensaciones intersticiales y superficiales, en el que existe un método de verificación basado en parámetros objetivos, puede establecerse cierta comparación entre normativas. Es por ello, que la exigencia de protección frente a condensaciones en la envolvente, sí será uno de los puntos analizados en los siguientes apartados.

Desafortunadamente, para las restantes exigencias relacionadas con la protección frente a la penetración de humedad en estado líquido, no se han definido bases técnicas comunes que permitan en igualdad de condiciones, comparar las exigencias y soluciones propuestas por las diferentes normas. Al contrario, cada exigencia y solución aportada se guía por comparaciones cualitativas basadas en aproximaciones diferenciadas y singulares y todas ellas se ven condicionadas por las condiciones particulares de su ámbito de aplicación y de la tradición constructiva local. Cualquier correlación realizada, carecería por lo tanto de fundamento alguno.

En su lugar, se procede a analizar de forma general los aspectos formales comunes a todas estas normas y que en normas generales son idénticos entre sí en la mayoría de los aspectos. Se incide también en aquellos aspectos de relevancia por su curiosidad o por la potencialidad de su utilidad.

Con este fin, para cada normativa son desglosados los siguientes aspectos, que se desarrollarán en la medida de las posibilidades de análisis comparativo:

- Descripción general del marco normativo.
- Identificación de la exigencia de protección frente a la humedad.
- Ámbito de aplicación de la exigencia.

- Cumplimiento del enfoque prestacional. Estimación de la solicitación y verificación del cumplimiento de la exigencia.
- Ejemplo de solución aportada para cerramientos verticales.

Tres han sido las normativas analizadas, representativas de códigos de construcción prestacionales correspondientes a países desarrollados en climatologías caracterizadas por exposiciones elevadas a la humedad atmosférica. El análisis de las tres normativas permite establecer una idea general de la situación del tratamiento de la protección frente a la humedad en cualquier otro país del mundo, que como se verá, en esencia coincide a grandes rasgos con el recogido por el CTE español:

- Normativa británica (inglesa, galesa y escocesa).
- Normativa estadounidense
- Normativa canadiense

El primero, relativo a las diferentes regiones de Reino Unido, corresponde a marcos normativos caracterizados por la aproximación científica a la estimación de la solicitación marcada por el “wind driving rain” y la norma UNE-EN ISO 15927-3. Representa por lo tanto el punto de partida del método más desarrollado para evaluar la exposición a la lluvia batiente en las fachadas de los edificios y el único ámbito normativo donde el mismo se aplica de forma integral.

El marco normativo estadounidense se analiza con el objetivo de conocer la configuración normativa existente en la primera potencia mundial, habitualmente caracterizada por códigos pioneros a nivel prestacional. Se observará no obstante como a pesar de ello, no se recogen innovaciones o caracterizaciones destacables en esta materia.

Por último, el marco normativo canadiense se analiza por las singularidades y metodologías alternativas incluidas en la estimación de la solicitación, a raíz de la extensa campaña de investigaciones realizadas en el National Research Council Canada y por la elevada exposición a la humedad que debe ser gestionada en los cerramientos de los edificios de este país. Junto con el Reino Unido, Canadá representa actualmente el segundo foco de investigación más activo en la materia, por medio del organismo indicado, llevando parte de sus innovaciones al ámbito normativo del país.

Otras normativas de indudable relevancia en el ámbito europeo, como la francesa y alemana, no presentan sin embargo singularidades normativas destacables y ninguna de ellas, procedimientos de estimación de la exposición a la humedad o de verificación de las soluciones aceptadas que aporten aspectos novedosos sobre las tres anteriores, referenciadas en numerosas ocasiones en artículos de investigación publicados en la materia.

Así por ejemplo, dentro del ámbito francés se utiliza la caracterización cualitativa anteriormente descrita y contenida en la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, para definir la exposición a la humedad, que es claramente inferior a la cuantificación cualitativa recogida en la norma británica (Sanders, 2004). En vista de lo anterior, este trabajo se centra en el análisis de las anteriores normas mencionadas, descartando el análisis de estas dos últimas (alemana y francesa).

III.4.1.- MARCO NORMATIVO BRITÁNICO

El ámbito normativo británico se distribuye en varias normas de ámbito nacional, resultando de aplicación para Inglaterra y País de Gales las regulaciones prescritas por “The Building Regulations” (England and Wales, 2010) y sus documentos aprobados (England and Wales, 2004).

Para Escocia son de aplicación, las regulaciones establecidas por “The Building Regulations” (Scotland, 2010). Con el objetivo de establecer la caracterización de las prestaciones elegidas y los procedimientos para la acreditación del cumplimiento de las mismas, también son de aplicación sendos “Technical Handbooks” (Scotland, 2010), cuyo ámbito se centra en edificaciones residenciales o no residenciales, respectivamente.

Las regulaciones en la edificación, establecen las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad, mediante una exposición de las condiciones técnicas, administrativas y documentales mínimas del proyecto de edificación.

Por otro lado, los documentos aprobados desarrollan la caracterización de las prestaciones exigidas y los procedimientos para la acreditación del cumplimiento de dichas exigencias. Concretamente para la normativa inglesa, en el documento aprobado C se describen las condiciones necesarias para la preparación del emplazamiento y resistencia de la edificación a los contaminantes (C1) y resistencia a la humedad (C2). En el caso escocés, dentro del “Technical Handbook” dedicado al ámbito de aplicación de la edificación residencial, su sección 3 “Environment” se refiere íntegramente al requisito básico de higiene, salud y medio ambiente.

El marco normativo se orienta al enfoque prestacional propio de los códigos de construcción modernos, si bien como en el caso español, la efectividad de este enfoque queda limitada el desarrollo del estado del conocimiento en cada campo de trabajo. Coherentemente a este espíritu, son aceptadas y puestas a disposición del técnico, alternativas al cumplimiento literal de los documentos aprobados, mediante códigos de práctica, certificaciones emitidas por organismos reconocidos o normas estandarizadas de uso nacional.

Tabla III.6.- Cuadro resumen comparativo de parámetros generales del marco normativo escocés y español.

Concepto	Escocia	España
Exigencias técnicas, administrativas y documentales	The Building Regulations	CTE Parte 1
Disposiciones Técnicas	Technical Handbooks	CTE DB
Naturaleza formal de la norma	Prestacional	Prestacional
Alternativas al cumplimiento	European & British Standard Code of practice Certificación acreditada	Soluciones alternativas bajo responsabilidad técnica Documentos reconocidos (*)
Exigencia básica de protección frente a la humedad	Technical Handbook 3.4 Moisture from the ground 3.10 Precipitation 3.15 Condensation	CTE DB-HS 1. Protección frente a la humedad CTE DB-HE 1. Ahorro de energía

(*) Actualmente, no consta un desarrollo efectivo en la materia

Tabla III.7.- Cuadro resumen comparativo de parámetros generales del marco normativo inglés y español.

Concepto	Inglaterra y País de Gales	España
Exigencias técnicas, administrativas y documentales	The Building Regulations	CTE Parte 1
Disposiciones Técnicas	Approved Document	CTE DB
Naturaleza formal de la norma	Prestacional	Prestacional
Alternativas al cumplimiento	European & British Standard Code of practice Certificación acreditada Bajo responsabilidad técnica	Soluciones alternativas bajo responsabilidad técnica Documentos reconocidos (**)
Exigencia básica de protección frente a la humedad	Approved Document C2.Resistance to moisture(*)	CTE DB-HS 1. Protección frente a la humedad

(*) El apartado C1 se dedica a medidas contra la acción de contaminantes presentes en el suelo de emplazamiento.

(**) Actualmente, no consta un desarrollo efectivo en la materia

III.4.1.1.- Definición y ámbito de la exigencia.

Centrándonos en los aspectos que ocupan este trabajo, la exigencia básica de resistencia a la humedad (C2) de la normativa inglesa, es definida de acuerdo a los siguientes criterios:

“Resistance to moisture

C2. The floors, walls and roof of the building shall adequately protect the building and people who use the building from harmful effects caused by:

- (a) ground moisture;*
- (b) precipitation and wind-driven spray;*
- (c) interstitial and surface condensation; and*
- (d) spillage of water from or associated with sanitary fittings or fixed appliances”.*

En el marco normativo escocés no se define, una exigencia común de protección frente a la humedad, sino que la misma se diferencia en base al fenómeno que origina la amenaza de humedad, siguiendo la jerarquización de la norma: prevención de penetración de humedad desde el terreno (3.4), de penetración de humedad por precipitación (3.10) y de aparición de condensaciones superficiales o intersticiales (3.15). Así, las exigencias se estructuran en base a los siguientes criterios y definiciones:

“Standard 3.4 Mandatory

Every building must be designed and constructed in such a way that there will not be a threat to the building or the health of the occupants as a result of moisture penetration from the ground”.

“Standard 3.10 Mandatory

Every building must be designed and constructed in such a way that there will not be a threat to the building or the health of the occupants as a result of moisture from precipitation penetrating to the inner face of the building”.

“Standard 3.15 Mandatory

Every building must be designed and constructed in such a way that there will not be a threat to the building or the health of the occupants from moisture caused by surface or interstitial condensation”.

En ambas normativas son advertidos los efectos patológicos que se derivan de la presencia de humedad en el terreno, sobre suelos y arranques de cerramientos verticales. Igualmente, los referidos a la acción de lluvia y partículas de humedad en suspensión que inciden sobre los cerramientos (lluvia batiente), dañando la estructura y equipamientos y reduciendo la funcionalidad del edificio al penetrar el agua por grietas, juntas o directamente a través de los cerramientos.

Las condensaciones superficiales en cerramientos son fuente de crecimiento de mohos que afectan a la salud de las personas, mientras que las condensaciones intersticiales afectan las prestaciones y durabilidad de los materiales que componen los cerramientos. Por último, derrames y fugas de agua en cuartos húmedos, son fuente frecuente de síndromes en suelos de los edificios. De forma independiente, se incluyen también en la norma recomendaciones generales para mitigar las consecuencias producidas por inundaciones en aquellas edificaciones susceptibles de sufrir dichos eventos.

De forma general se realiza también una valoración somera de las consecuencias de una deficiente protección frente a la humedad y una previsión de la situación futura generada por el cambio climático reciente.

Frente a ellas se indica la necesidad de que los elementos de la envolvente cumplan las prestaciones necesarias para proteger adecuadamente el edificio y las personas que de él hacen uso. Todos los edificios de carácter residencial, deben responder adecuadamente a las exigencias enunciadas por la norma, proyectando y ejecutando en obra elementos de la envolvente del edificio con suficientes prestaciones para garantizar el cumplimiento del / de los requisitos básicos, según la norma.

Centrándonos en la normativa inglesa, el ámbito de aplicación para las prestaciones queda también definido, haciéndose referencia a suelos, muros y cubiertas de edificios. Con respecto a los sistemas y soluciones constructivas que deben ser analizados, se ordenan en base a la siguiente jerarquía, para su tratamiento independiente:

- Suelos (Section 4: Floors).
 - Apoyados en el terreno (Ground supported floors).
 - Forjados sanitarios de madera (Suspended timber ground floors).
 - Forjados sanitarios de hormigón (Suspended concrete ground floors).
- Muros (Section 5: Walls).
 - En contacto con el terreno.
 - Cerramiento vertical de una hoja (Solid external walls).
 - Cerramiento vertical con cámara (Cavity external walls).
 - Cerramiento vertical con aislamiento en la cámara (Cavity insulation).
 - Cerramiento vertical de entramado con revestimiento (Framed external walls).
- Cubiertas (Section 6: Roofs).

Tabla III.8.- Cuadro resumen de diferencias en exigencias normativa inglesa y española.

Concepto	Inglaterra y País de Gales	España
Exigencia frente a efectos comunes	Humedad del terreno Condensación superficial Condensación intersticial Precipitación atmosférica	
Exigencia frente a efectos diferenciados	Fugas en cuartos húmedos	-
Solución constructiva común	Muros en contacto con el terreno Cerramientos Suelos apoyados en el terreno Forjados sanitarios Cubiertas	
Solución constructiva diferenciada	Forjados sanitarios de madera Solados de madera	-

Para la regulación escocesa, siguiendo el mismo esquema anterior se presentan los sistemas constructivos analizados para garantizar las prestaciones en la envolvente del edificio. Para cada uno de ellos, la norma desglosa su solución técnica, que puede contener a su vez diversas variantes:

- Suelos.
 - Soleras apoyadas en el terreno (Ground supported concrete floors).
 - Forjados sanitarios de madera (Suspended timber floors).
 - Forjados sanitarios de hormigón (Suspended concrete floors).
- Muros.
 - En contacto con el terreno.
 - Cerramiento vertical de una hoja (Solid masonry walls).
 - Cerramiento vertical de dos hojas (Cavity masonry walls).
 - Cerramiento vertical de entramado con revestimiento (Framed walls).
- Cubiertas.
 - Planas (flat roof constructions).
 - Inclinadas (pitched roof constructions).

Tabla III.9.- Cuadro resumen ámbitos de acción de la normativa escocesa.

Concepto	Escocia
Causas de la exigencia de protección frente a la humedad	Humedad procedente del terreno Humedad procedente de la precipitación Humedad procedente de condensaciones
Ámbito de las soluciones constructivas definidas	Soleras apoyadas en el terreno Forjados sanitarios de madera Forjados sanitarios de hormigón Muros en contacto con el terreno Cerramientos verticales de una hoja Cerramientos verticales de varias hojas Cerramientos verticales de entramados con revestimientos Cubiertas planas Cubiertas inclinadas

III.4.1.2.- Cumplimiento del enfoque prestacional en fachadas

Para la verificación de las exigencias, como en el caso español, varía en función de la acción considerada. Mientras que para la prestación frente a condensaciones superficiales e intersticiales es empleado en ambas normativas un método de verificación objetivable, para impedir la penetración de agua se utilizan soluciones aceptadas, de forma similar a lo expuesto para el DB-HS 1.

A pesar de esta similitud, la amplitud y desarrollo de las normas, códigos de práctica y documentos aceptados, propician que la prestacionalidad del código inglés sea muy superior en cuanto a las opciones disponibles para el diseñador. En cualquier caso, dichos documentos siguen fundándose en los mismos conceptos de habitualidad, buena práctica constructiva y determinación cualitativa de las soluciones, lo que también lastra su prestacionalidad.

Centrándonos ahora en el análisis de cerramientos verticales sobre el terreno de la normativa inglesa (solid external walls, cavity external walls, cavity insulation y framed external walls), se definen para todos ellos una serie de soluciones aceptadas “Technical solutions” así como unas aproximaciones alternativas “alternative approaches”.

Ambas estrategias de verificación del cumplimiento de la exigencia, coinciden en su planteamiento con las soluciones básicas y las soluciones alternativas definidas por el Código Técnico de la Edificación español. No obstante, a diferencia del código español la posibilidad de desarrollar soluciones alternativas a las aceptadas por la norma, viene apoyada por las recomendaciones recogidas en el estándar británico BS 5628-3:2001.

La referencia a esta norma se incluye en todos los apartados para cualquier configuración del cerramiento, no quedando a discrecionalidad del técnico proyectista el proponer soluciones aleatorias y justificar el cumplimiento de la prestación por sus propios medios.



Figura III.43.- Diferencias organizativas entre la normativa inglesa y española.

Por su parte la norma escocesa mantiene esta concepción, estableciendo también soluciones aceptadas (que pueden contener variantes), que se apoyan para su ejecución en normativas y estándares ajenos a la norma. No se establecen sin embargo diferentes caminos o matizaciones para el cumplimiento de las prestaciones mediante soluciones alternativas, como sucede en el código inglés, aunque éstas están contempladas y podrían ser aceptadas en caso de emplearse.

La aceptación de cualquier solución alternativa requiere de la aceptación de un profesional verificador, asistido en su decisión por el organismo escocés redactor de la norma a aplicar. Esta solución alternativa deberá no solo cumplir el requerimiento general establecido, sino también adaptarse al ámbito de aplicación concreto.

Así, soluciones provenientes de documentos reconocidos por otras normativas, como la inglesa, deberán estar adecuadamente adaptadas a la casuística escocesa. Por lo tanto, soluciones basadas en reglamentos extranjeros o de ámbito europeo, deben ser cuidadosamente evaluados en su transposición al ámbito escocés.

En cualquier caso, la norma escocesa se apoya en un gran número de estándares y códigos de práctica aceptados, de consulta obligada para la ejecución de las soluciones.



Figura III.44.- Diferencias en estructura organizativa de normativa escocesa y española. Cualquier solución alternativa debe ser previamente evaluada y homologada por el ente legislador.

Determinación de la exposición

En referencia a la estimación de la exposición a la humedad en cualquier emplazamiento británico, la norma utiliza una aproximación similar a la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 anterior presentada. Para ello define diferentes zonas de exposición a la lluvia batiente en el territorio, en base al valor I_s calculado en las condiciones locales más desfavorables y para la orientación del cerramiento más exigente en cada emplazamiento.

A este respecto, ambos estándares, inglés y escocés recurren al estándar británico BS 8104:1992 “Code of practice for assessing exposure of walls to wind-

driven rain”, quien de forma similar al estándar europeo, pone las bases para la realización de este cálculo.

Así, los cerramientos utilizados en las soluciones de envolvente, deben, además de garantizar las prestaciones exigidas por el “Technical Handbook”, alcanzar las condiciones necesarias para superar el nivel de exposición al viento y a la lluvia definidos por la norma estandarizada.

La magnitud de la exposición definida en dicha norma se refiere a la lluvia batiente puntual esperada, referida a un periodo de humedecimiento máximo para un periodo de retorno de 3 años y para unas condiciones desfavorables de orientación, entorno y altura del cerramiento, quien determina la exposición que los muros han de ser capaces de soportar sin pérdidas en su estanqueidad.

De esta forma, utilizando una evaluación científica y razonable de la exposición a la lluvia batiente, el mapa ya mostrado en la figura III.32, permite caracterizar a cada emplazamiento británico dentro de una determinación precisa e inequívoca de la sollicitación.

Dicha sollicitación científicamente calculada, es jerarquizada posteriormente en cuatro niveles de exposición (1.- sheltered, 2.- moderate, 3.- severe and 4.- very severe) en base a la cantidad de agua que se espera que se vaya a recibir durante un periodo de humedecimiento desfavorables (mm/periodo o mm/spell).

Los límites de estos rangos son perfectamente objetivables, actualizables con la disponibilidad de nuevos datos climáticos y coincidentes con la descripción de los parámetros físicos que intervienen durante la penetración de agua líquida al interior de los edificios. Desgraciadamente, ninguno de estos aspectos puede atribuirse hoy en día a la sollicitación determinada por la normativa española.

A pesar de todo, estos niveles de exposición también asumen ciertas indeterminaciones, como las derivadas de la obligación de incrementar en una unidad el grado de exposición, en caso de existir condiciones locales que acentúen los efectos del viento o bien de reducir en un grado, la sollicitación en las fachadas no expuestas al viento dominante. En ningún caso se establece cual es la equivalencia de dicho grado de exposición a aumentar o disminuir en base a un parámetro comparable, como pudiera ser la velocidad del viento.

Es por ello necesario diferenciar entre la estimación de la sollicitación, basada en el cálculo de la lluvia batiente mm/spell (basada en parámetros perfectamente científicos y exactos) y la utilización de cuatro niveles de exposición a modo normativo para definir las soluciones que serán aceptables o no en cada emplazamiento (apreciación normativa realizada de forma subjetiva).

Determinación de las soluciones aceptadas

Como se ha indicado, para cerramientos verticales en contacto con el exterior, se ha establecido una clasificación para la exigencia sobre el sistema constructivo. Los parámetros fundamentales de esta clasificación, como en el caso español, se consideran la precipitación atmosférica y la exposición a la acción de viento, si bien aproximados según el concepto de lluvia batiente o WDR (wind driven rain), descrito en las normas BS 8104:1992, Code of practice for assessing exposure of walls to wind-driven rain y BS

5628-3:2001, Code of practice for use of masonry. Materials and components, design and workmanship.

Analizando el cumplimiento de la exigencia de protección frente a la humedad exterior y la precipitación, no se define método de verificación alguno, sino diferentes soluciones aceptadas y sus correspondientes características técnicas. Esta protección frente a las condiciones climáticas, se articula en base a tres parámetros u opciones básicas, combinadas o no entre sí, tal y como se observa en la figura III.45:

- Espesor suficiente en el muro sólido.
- Cámara de aire.
- Sistema de revestimiento impermeable o resistente a la acción climática.

En el primer caso, la solución se considera adecuada siempre y cuando el espesor de diseño sea capaz de mantener la humedad generada por el entorno fuera de la edificación o alejada de aquellos elementos sensibles, el tiempo suficiente para que esta sea eliminada durante un periodo seco o de evaporación (periodo de humedecimiento que se analizará en el capítulo IV).

Table 4 Maximum recommended exposure zones for insulated masonry walls									
Wall construction		Maximum recommended exposure zone for each construction							
Insulation method	Min. width of filled or clear cavity (mm)	Impervious cladding		Rendered finish		Facing masonry			
		Full height of wall	Above facing masonry	Full height of wall	Above facing masonry	Topped flush joints	Recessed mortar joints	Flush sills and copings	
Built-in full fill	50	4	3	3	3	2	1	1	
	75	4	3	4	3	3	1	1	
	100	4	4	4	3	3	1	2	
	125	4	4	4	3	3	1	2	
	150	4	4	4	4	4	1	2	
Injected fill not UF foam	50	4	2	3	2	2	1	1	
	75	4	3	4	3	3	1	1	
	100	4	3	4	3	3	1	1	
	125	4	4	4	3	3	1	2	
	150	4	4	4	4	4	1	2	
Injected fill UF foam	50	4	2	3	2	1	1	1	
	75	4	2	3	2	2	1	1	
	100	4	2	3	2	2	1	1	
Partial fill	Residual 50mm cavity	50	4	4	4	4	3	1	1
	Residual 75mm cavity	75	4	4	4	4	4	1	1
	Residual 100mm cavity	100	4	4	4	4	4	2	1
Internal insulation	Clear cavity 50mm	50	4	3	4	3	3	1	1
	Clear cavity 100mm	100	4	4	4	4	4	2	2
	Fully filled cavity 50mm	50	4	3	3	3	2	1	1
	Fully filled cavity 100mm	100	4	4	4	3	3	1	2

Figura III.45.- Limitación de la zona de exposición máxima recomendada para diferentes variantes de soluciones con aislamiento en el interior de la cámara del cerramiento.

Únicamente en caso de un muy severo grado de exposición, la solución técnica aportada por la norma para la opción de muro sólido, debe matizarse, complementándose por un sistema de revestimiento impermeable. Para la solución, son aportadas diferentes variantes que presentan el aislamiento térmico en diferentes posiciones en el muro.

En el segundo caso, se considerará factible una solución dotada de una cámara de aire que separe la hoja exterior del interior, con capacidad para evacuar la humedad recogida en su interior, previniendo su progresión hacia la hoja interior.

El relleno de estas cámaras en edificaciones antiguas, con objeto de aumentar el aislamiento térmico de la vivienda, produce que la funcionalidad de la cámara para la protección frente a la humedad se vea reducida. Dada la repercusión de esta práctica, se admite la utilización de la cámara como espacio para disponer el aislante térmico, ocupando entera o parcialmente el hueco.

Tal y como se observa en la figura III.46, ninguna solución constructiva es rechazada a priori como sí sucede en el Código español. En este caso, son las características concretas que definen las particularidades de la solución utilizada (espesor de la cámara, utilización de la cámara, tipología de revestimiento...), las que condicionan su prestación, sin por ello imponer determinadas configuraciones a priori.

Resulta relevante citar que el nivel de exigencia no determina a priori la solución aceptable, sino que en todo caso la matiza para algunos tipos de solución. Bajo este planteamiento, el comportamiento adecuado del sistema de cerramiento ha de garantizarse sean cuales sean las condiciones de exposición, por lo que cualquier solución es válida a priori, si se alcanzara este comportamiento.

Únicamente mediante la descripción detallada de las condiciones técnicas de la solución recogida por la norma, puede ser matizado el grado de prestación que la solución es capaz de alcanzar, haciéndola no idónea siempre que no se cumplan determinadas circunstancias.

Para garantizar la adecuada ejecución de estas soluciones constructivas, además resulta de exigencia que las tareas de construcción se realicen de acuerdo a los medios, soluciones y materiales apropiados. Con este fin, la norma se refiere a directivas europeas, "British Standards" o códigos de práctica reconocidos a nivel nacional, que muestran especificaciones técnicas, que dotan al proyectista de un amplio abanico de caminos posibles para el cumplimiento de la norma.

Independientemente de lo recogido en ellas, son también de aplicación los pliegos técnicos específicos de productos de construcción, que condicionan la puesta en obra y diseño puntual de las diferentes soluciones constructivas.

Comparación de las soluciones aceptadas

Dado que la exigencia por humedad no se define de forma comparable entre la norma española y británica y las prácticas constructivas de las cuales se derivan las soluciones aceptadas propuestas por ambas normativas no son las mismas, ambas situaciones normativas, son desgraciadamente incomparables de forma rigurosa en base a un criterio técnico.

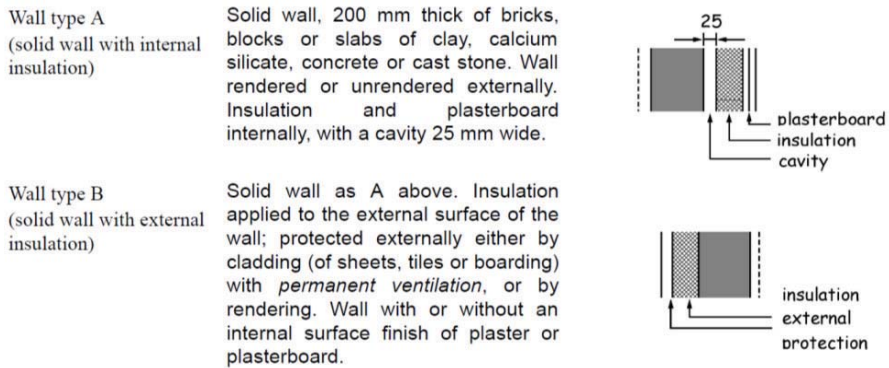


Figura III.46.- Ejemplo de diferentes soluciones aceptadas por la normativa escocesa, sin equivalencia en DB-HSI español.

Así, no puede establecerse equivalencia alguna ante el grado de prestación alcanzado por las soluciones inglesas o escocesas y el Grado de Impermeabilización definido por la norma española, debido a que ambas caracterizaciones se basan en parámetros diferentes, no extrapolables entre sí.

Por ello, no existe en la actualidad una metodología de comparación capaz de evaluar en igualdad de condiciones las prestaciones reales aportadas por las soluciones aceptadas en diferentes normativas.

La comparación se reduciría por lo tanto a una simple observación de diferentes disposiciones de materiales y configuraciones, sobre los que sin embargo no podría establecerse una equivalencia crítica de su prestación efectiva frente a la penetración de humedad.

El desarrollo de un método de verificación general, para la exigencia de protección frente a la humedad, permitiría establecer ésta base común para la comparación objetivable, tarea ésta que se abordará a lo largo del capítulo V.

Solo en relación a las soluciones a disponer para prevenir la aparición de condensaciones superficiales e intersticiales, basadas en un procedimiento de validación idéntico al utilizado por la norma española, es posible establecer este tipo de comparaciones en base a un criterio uniforme:

Se establece por la norma inglesa como valor de transmitancia térmica máxima del cerramiento un valor de $0,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, exigiendo un análisis de las juntas y puentes térmicos presentes según documento reconocido.

En el caso de la norma escocesa, esta transmitancia térmica máxima se sitúa en $1,2 \text{ w/m}^2 \text{ K}$ en cualquier punto de la envolvente, lo que representa, una exigencia muy inferior a la española (véase la tabla III.11).

Respecto a las condensaciones intersticiales, sin establecer otros preceptos, ambas normas se refiere a la sección 8ª del Anejo D de la norma de estandarización británica BS 5250:2002, “Code of practice for control of condensation in buildings”, como documentación de consulta para el diseño y construcción de la envolvente.

Tabla III.10.- Principales diferencias respecto a la normativa inglesa y galesa.

Cubiertas	Inglaterra y País de Gales	España
Determinación de la exigencia	Wind Driving Rain (WDR) Incidencia de precipitación en fachada	Pluviometría Exposición al viento
Grado de prestación	4 Grados de incidencia (*)	5 Grados de impermeabilidad
U máxima admitida para evitar condensaciones superficiales	0,7 W/m ² K	1,22 a 0,74 W/m ² K (5 al 42% menos exigente)
Aproximación alternativa	Códigos de práctica específicos BS 8215:1991 BS 8102:1990 BS 5628-3:2001 BS CP 143 BS 8219:2001 BS 8200:1985 BS 8297:2000 BS 8298:1994 MCRMA Technical Paper 6-7	-

(*) El grado de incidencia WRD, matiza las características de algunas soluciones, sin excluir su utilización.

Tabla III.11.- Principales diferencias respecto a la normativa escocesa.

Concepto	Escocia	España
Determinación de la exigencia	Wind Driving Rain (WDR) Incidencia de precipitación en fachada	Pluviometría Exposición al viento
Grados de prestación	4 grados de exposición	5 Grados de impermeabilidad
U máxima admitida para evitar condensaciones superficiales	1,20 W/m ² K	1,22 a 0,74 W/m ² K (hasta un 30% más exigente)
Aproximaciones alternativas	Códigos de práctica específicos y normas británicas estandarizadas (Véase tabla III.10)	-

III.4.1.3.- Aportes relevantes incluidos en el marco normativo británico.

Como aporte diferencial incluido en la normativa británica es necesario destacar la utilización de un método científico y de gran consistencia para evaluar la exposición a la lluvia batiente de los edificios.

Reino Unido (incluyendo Escocia, que se analiza en el siguiente apartado), ha sido el país en el que mayor desarrollo ha alcanzado esta estimación de la solicitación por humedad en fachadas mediante en enfoque “wind driving rain”. A su favor juega la presencia de una extensa red meteorológica capaz de registrar con la suficiente precisión, mediciones horarias simultáneas de velocidad y dirección de viento, así como de intensidad pluviométrica sobre el terreno.

Conocidos estos datos, con una antigüedad que oscila entre 10 y 30 años, han podido elaborarse mapas precisos de intensidad de lluvia sobre los cerramientos británicos y la metodología empleada constituye la base del método asumido

posteriormente por la norma ISO 15927-3:2009: Hygrothermal performance of buildings. Calculation and presentation of climatic data. Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data, de la cual se traspone la norma UNE anteriormente analizada.

Así, en el mapa representado en la figura III.32, es evaluada la cantidad de lluvia esperable sobre el cerramiento vertical durante el periodo de precipitaciones continuadas más desfavorable que puede presentarse en un periodo de retorno de tres años, asignando, en función del mismo, una distinta categorización a la sollicitación:

- < 33 mm/spell. Exposición protegida (despreciable para el diseño).
- 33 – 56,5 mm/spell. Exposición moderada.
- 56,5 – 100 mm/spell. Exposición alta.
- > 100 mm/spell. Exposición severa.

Este valor calculado, incluye los coeficientes locales necesarios para transformar la lluvia batiente de referencia, calculada a partir de datos climáticos recopilados en situaciones controladas en las estaciones meteorológicas, a valores locales, dependientes de la altura, entorno y geometría del cerramiento. Para esta transformación, se utilizan los cerramientos con una mayor exposición en cada región o emplazamiento, considerando igualmente aquellos orientados en la dirección más desfavorable.

De este modo, es posible describir de forma objetiva la exigencia por humedad sobre las fachadas, en base a un procedimiento científico que lleva siendo desarrollado por diferentes investigadores desde la década de 1950 en países como Gran Bretaña y Noruega.

La tendencia a expresar la sollicitación en base al enfoque “wind driving rain”, se está extendiendo a otros países, dando lugar a numerosas publicaciones en revistas científicas y desarrollos normativos y de investigación al respecto (Rydock et al, 2005), (Chand y Bhargava, 2002), (Giarma y Aravantinos, 2011). A estas publicaciones se suman los resultados de este trabajo desarrollados en el apartado siguiente (Pérez et al, 2012), referidos a los emplazamientos españoles.

Habitualmente este enfoque se basa, por influencia de la disponibilidad de datos climáticos en el Reino Unido, en registros meteorológicos horarios, pero incluso partiendo de datos mucho menos precisos, es posible en cierto modo, caracterizar esta exposición de forma semi-empírica. Utilizando datos de velocidad media y precipitación media anuales (no simultáneos) y mensuales, es posible obtener una caracterización cualitativa (DRI o driving rain index) para el “wind driving rain” de cada punto geográfico.

Estos índices se han caracterizado para la India (Chand y Bhargava, 2002), Grecia (Giarma y Aravantinos, 2011) y España (Pérez et al., 2012), utilizando para su obtención datos meteorológicos muy limitados en cuanto a los intervalos de observación (anuales y mensuales en el caso de la India, mensuales en el caso de Grecia y diarios para España, tal y como se desarrollará en el capítulo IV).

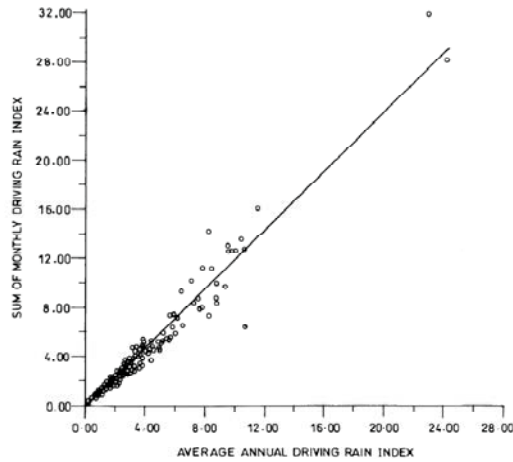


Figura III.47.- Representación de magnitud de índice “wind driving rain” de la suma de valores mensuales (eje y) y total anual en base a valores medios anuales (eje x), para diferentes ciudades de la India y representación de la relación entre ambos parámetros. Fuente: Chand y Bhargava, 2002.

A raíz de los diferentes datos de partida utilizados, pueden establecerse correlaciones entre los índices de exposición a la lluvia batiente obtenidos, tal y como se muestra en la figura III.48, que permiten determinar coeficientes más precisos (similares a los obtenidos a partir de datos climáticos recopilados con mayor frecuencia), a partir de los índices de menor precisión disponibles.

En el caso de la figura, dado que la suma de mediciones medias mensuales, representa un valor más preciso que el estimado a partir de valores medios anuales, resulta de interés establecer la relación entre ambos, con objeto de poder calcular el valor suma mensual de forma aproximada, a partir de los siempre disponibles datos medios anuales.

Tal y como se aprecia en la figura anterior, la relación existe y es posible obtener una aproximación matemática con un margen de error moderado a índices más precisos.

Lógicamente, aunque los índices obtenidos a partir de datos climáticos tan dispares pueden seguir una cierta correlación con la cantidad de lluvia sobre la fachada, no pueden igualar la precisión de estimaciones como las determinadas por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 que se basa en datos horarios de lluvia y viento para determinar la exposición.

Otras aproximaciones a estos valores de exposición de gran precisión se han realizado también partiendo de datos climáticos registrados en otros intervalos diferentes a los horarios, como muestra el trabajo desarrollado por Rydock et al., (2005), que utiliza valores meteorológicos registrados en intervalos de 6 horas durante 30 años, para mediante su metodología, determinar valores con una precisión casi horaria. A este respecto, una optimización de dicho método ha sido también aportada por este autor, como complemento a lo contenido en este trabajo doctoral (Véase Anejo A.IV)

Por último, debe señalarse también las aportaciones establecidas por Giarma y Aravantinos (2011), que utilizando el enfoque británico de “wind driving rain”, aunaron comparativamente otros parámetros como el “moisture index” canadiense, que se analizará más adelante.

Así, fueron comparados los resultados de precipitación sobre el cerramiento vertical, con la estimación de un índice de humedad, definido en base al potencial de humedecimiento y secado del cerramiento en función de las condiciones de lluvia, temperatura y humedad relativa diarias.

A este respecto, en su trabajo, se realiza igualmente una comparación entre la cantidad de lluvia vertical calculada mediante medias anuales o como sumatorio de valores diarios o mensuales, obteniendo una relación de correspondencia similar a la establecida por Chand y Bhargava.

III.4.3.- MARCO NORMATIVO ESTADOUNIDENSE

Sin gozar de un carácter de obligatorio cumplimiento, la asociación estadounidense International Code Council, desarrolló en 2009 una nueva versión de su código de construcción “International Building Code” (USA, 2009), el cual en sus versiones previas constituye un estándar de aplicación en la mayoría de los estados del país.

El citado código, desde el año 2000 constituye una normativa de referencia en Estados Unidos, frente a la multitud de marcos normativos independientes instaurados con anterioridad. Desde su aparición, el código mantiene un periodo de revisión trianual, encaminado a la inclusión de nuevos métodos de construcción y tecnologías.

Orientado a satisfacer los requisitos prestacionales relacionados con la salud, seguridad y bienestar de los ocupantes del edificio, la norma se encuadra dentro de una familia normativa más amplia, que engloba diferentes aspectos relacionados con la regulación en construcción:

- International Residential Code
- International Energy Conservation Code
- International Existing Building Code
- International Fire Code
- International Fuel Gas Code
- International Mechanical Code
- ICC Performance Code
- International Plumbing Code
- International Private Sewage Disposal Code
- International Property Maintenance Code
- International Wild-land Urban Interface Code
- International Zoning Code

El International Building Code se distribuye en 35 capítulos y varios apéndices, que abarcan la seguridad estructural, condiciones de salubridad, medios de evacuación, adecuada iluminación y ventilación, accesibilidad y eficiencia energética entre otros, recordando la jerarquización del Código Técnico de la Edificación español. Su ámbito de

aplicación abarca una amplia variedad de edificios, excepto viviendas unifamiliares, pareadas o edificios residenciales de menos de 4 alturas. Para estas excepciones, resulta de aplicación el International Residential Code (USA, 2009), cuyo desarrollo es paralelo al del código descrito en este apartado.

A pesar de que las soluciones específicas difieren en algunos aspectos entre ambos códigos, estas diferencias no resultan significativas para el análisis general realizado en este capítulo. Se opta por una descripción más exhaustiva del International Building Code, por su mayor representatividad dado su mayor ámbito de aplicación.

Como en los anteriores marcos normativos, el carácter prestacional del código se orienta a no restringir el uso de nuevos materiales, soluciones o métodos de construcción, evitando así imponer soluciones preferenciales que puedan limitar la potencialidad de la norma.

A tal fin se establece el mecanismo por el cual, un sistema constructivo alternativo podrá ser igualmente válido, siempre y cuando la administración legisladora local estime su diseño como satisfactorio, cumpliendo los requisitos recogidos por el código, con una prestación similar o superior a la establecida por los métodos en él recogidos.

La validación de una solución alternativa deberá contar, no obstante, con los informes y documentos acreditativos de su adecuación. En caso de no disponerse, la administración legisladora podrá solicitar la realización de ensayos en base a normas estandarizadas o bien articular los mecanismos de prueba necesarios para la solución.

En su capítulo 35, contiene igualmente una amplia lista de normas estandarizadas que son usadas en el código para regular materiales y métodos de construcción. El cumplimiento de estas normas paralelas es requisito necesario para el cumplimiento del propio código y las soluciones en él contenidas.

Tabla III.12.- Cuadro resumen comparativo de parámetros generales del marco normativo estadounidense y español.

Concepto	Estados Unidos	España
Exigencias técnicas, administrativas y documentales	International Building Code. Chapter 1	CTE Parte 1
Disposiciones Técnicas	Códigos complementarios International Building Code. Chapter 2 – 35	CTE DB
Naturaleza formal de la norma	Prestacional	Prestacional
Alternativas al cumplimiento	Certificación acreditada Procedimientos de prueba Additional Standards	Bajo responsabilidad técnica Documentos reconocidos (*)
Exigencia básica de protección frente a la humedad	International Building Code. Chapter 12. Interior Environment Chapter 14. Exterior walls Chapter 15. Roof Assemblies and rooftop Structures Chapter 18. Soil and foundations	CTE DB-HS 1. Protección frente a la humedad

(*) Actualmente, no constan de un desarrollo efectivo en la materia

III.4.3.1.- Definición y ámbito de la exigencia.

Dentro del “International Building Code”, sus secciones 12, 14, 15 y 18 contienen referencias a la prevención de la existencia de humedad en el interior de la edificación.

En su sección 12, se recogen las disposiciones mínimas exigidas en muros, suelos y particiones para resistir la inclusión de agua y el daño en los cuartos húmedos de la edificación. Así se exige que los materiales empleados en los acabados sean suaves, duros, no absorbentes y resistentes a la acción del contacto con el agua.

La sección 14, dedicada a muros exteriores, establece los requisitos mínimos para los materiales de revestimiento en fachadas y su instalación, con el objetivo de satisfacer una adecuada protección frente a las acciones climatológicas externas. Será este por lo tanto el capítulo de mayor interés para este análisis. Con el mismo propósito, la sección 15 establece los criterios de construcción de cubiertas.

Por último, la sección 18 fija los requerimientos mínimos para el diseño, construcción y resistencia a la penetración de agua a través de los sistemas de contención situados en contacto con el terreno para edificios y otras estructuras.

No aparece por lo tanto una exigencia común a toda la envolvente en referencia a la protección frente a la humedad, sino que esta se subdivide en su aplicación específica a cada sistema constructivo. Estas exigencias se muestran a continuación:

“Chapter 12. Interior environment.

The intersections of such floors with walls shall have a smooth, hard, nonabsorbent vertical base...

Walls and partitions within 2 feet (610 mm) of urinals and water closets shall have a smooth, hard, nonabsorbent surface... and except for structural elements, the materials used in such walls shall be of a type that is not adversely affected by moisture.

Built-in tubs with showers shall have waterproof joints between the tub and adjacent wall”.

“Chapter 14. Exterior walls

The exterior wall envelope shall be designed and constructed in such a manner as to prevent the accumulation of water within the wall assembly by providing a water-resistive barrier behind the exterior veneer, as described in Section 1404.2, and a means for draining water that enters the assembly to the exterior. Protection against condensation in the exterior wall assembly shall be provided in accordance with Section 1405.3”.

“Chapter 15. Roof assemblies and rooftop structures

... shall be installed in such a manner so as to prevent moisture entering the wall and roof through joints in copings, through moisture-permeable materials and at intersections with parapetwalls and other penetrations through the roof plane.

“Chapter 18. Soils and foundations

Walls or portions thereof that retain earth and enclose interior spaces and floors below grade shall be waterproofed and dampproofed in accordance with this section, with the exception of those spaces containing groups other than residential and institutional where such omission is not detrimental to the building or occupancy.

En paralelo, el International Residential Code, define exigencias básicas similares para unifamiliares, viviendas pareadas y edificios residenciales de menos de 4 alturas, si bien la organización de capítulos y descripción exhaustiva de condiciones de la solución aceptada presenta ligeras variaciones respecto de lo recogido en el International Building Code.

La ordenación del código estadounidense provoca que no sea sencillo establecer un patrón común para el desarrollo de sus apartados. A pesar de su marco prestacional, la estructuración del texto no se realiza en base a prestaciones y exigencias, sino en base a sistemas constructivos utilizados. Ello produce que en cada capítulo, las condiciones y parámetros necesarios para satisfacer las exigencias, se redacten de forma especializada para cada caso concreto.

Esta singular ordenación, aunque realizada con un gran detalle y precisión, juega un papel limitante en la prestacionalidad del código, al definir de modo extensivo, soluciones aceptadas en lugar de métodos de verificación para el cumplimiento de las exigencias.

Como en los códigos británicos, las medidas destinadas a prevenir los efectos de inundaciones en las edificaciones son tratadas de forma diferenciada e independiente por la norma. De este modo, uno de los apéndices del código estadounidense se dedica a complementar las disposiciones del código, hasta igualarlas a las recomendaciones emitidas por el programa nacional de seguridad ante inundaciones “National Flood Insurance Program”.

A continuación se presentan ámbitos analizados por la normativa para garantizar las prestaciones en la envolvente del edificio. Para cada uno de ellos la norma desglosa su técnica constructiva, diseño y materiales, que pueden contener a su vez diversas variantes:

- Cimentaciones, suelos y elementos de contención.
 - Suelos (floors).
 - Muros de contención (walls).
 - Sistemas de drenaje (subsoil and foundation drainage system).
- Muros.
 - Revestimiento según material utilizado (wall coverings).
 - Contrachapados de madera.
 - Revestimientos cerámicos anclados o adheridos.
 - Aplacados pétreos.
 - Revestimientos metálicos.
 - Revestimientos de vidrio.
 - Morteros monocapa.
 - Revestimientos plásticos.
 - Enfoscados.
 - Barreras de vapor (vapor retarders).
 - Tapajuntas (flashings).
- Cubiertas.
 - Revestimiento según material utilizado (roof coverings).
 - Capas asfálticas.
 - Terminaciones bituminosas modificadas.
 - Terminaciones termoplásticas.
 - Terminaciones de aplicación en líquido.
 - Proyecciones de espuma de poliuretano.

- Cubiertas ajardinadas.
- Baldosas cerámicas o de hormigón.
- Cubiertas metálicas.
- Coberturas de panel metálico.
- Coberturas de grava o similar.
- Coberturas de pizarra.
- Coberturas de madera.
- Aislamientos (roof insulation).
- Tapajuntas (flashing).
- Albardillas (coping).
- Recogida de aguas pluviales (roof drenaje).
- Ventilación de cámaras en cubiertas (roof ventilation).
- Acabados interiores.

Tabla III.13.- Cuadro resumen de los ámbitos de acción de la normativa estadounidense.

Concepto	Estados Unidos
Causas de la exigencia de protección frente a la humedad	No se analizan
Ámbito de las soluciones constructivas definidas	Contenciones sometidas a presión hidrostática Contenciones con presencia de humedad Revestimiento exterior de fachadas Barreras de vapor Aislamientos de cubiertas Revestimientos de cubiertas Acabados interiores

III.4.3.2.- Cumplimiento del enfoque prestacional en fachadas

La estructuración de la norma estadounidense en base al material o componente utilizado, como hilo conductor del despliegue normativo, no favorece la identificación de las prestaciones y los parámetros que las definen. De hecho, resulta frecuente que las prestaciones no sean definidas, éstas se definan de forma somera en el encabezado de la descripción de una solución o simplemente se utilicen como descripción de las propiedades de la solución y componentes aceptables.

Aun con ello, no aparece definido grado alguno para las prestaciones en función de la exigencia de su entorno. No obstante, la utilización de algunos componentes, materiales y soluciones, queda limitada en función de las condiciones externas a las que pueda llegar a estar sometidos.

Por lo tanto, aunque el código se define a sí mismo como prestacional, no es posible identificar la relación exigencia – prestación de una forma directa y objetivable. En todos los casos, para los sistemas constructivos se definen soluciones aceptadas, cuyos diferentes componentes son definidos con gran precisión y flexibilidad. Su utilización, se considera suficiente para el cumplimiento de las prestaciones.

Analizando la estructura de los apartados referidos a protección frente a la humedad, tanto en el International Building Code como en el International Residential Code, puede definirse el siguiente patrón común:

- Ámbito de aplicación de la solución constructiva.
- Presentación de componentes de la solución aceptada y prestaciones que ésta satisface.
- Disposiciones adicionales y excepciones a la solución aceptada.
- Condiciones generales de los materiales utilizados en los componentes de la solución, referidos a normas estandarizadas u otros apartados del código.
- Descripción detallada de la disposición e instalación necesaria, según el componente tratado y el material utilizado.
- Diseño y dimensionado exhaustivo del componente según material.

Resulta extendida la referencia a normas estandarizadas para caracterizar las condiciones de los materiales y los medios y procesos de ejecución de las soluciones constructivas. Así, es constante la utilización de normas ASTM (American Society for Testing and Materials), ASCE (American Society of Civil Engineers) o AF&PA (American Forest & Paper Association), para la caracterización de todo tipo de materiales. Igualmente son frecuentes las referencias cruzadas a lo largo de todo el código, complicando sobremanera su comprensión.

El uso de soluciones alternativas a las dispuestas, con componentes diferentes a los desglosados en la norma, precisa de la aceptación de dicha solución por la administración legislativa, para su posterior inclusión en la norma, engrosando el número de alternativas normativamente reconocidas.



Figura III.48.- Diferencias en estructura organizativa de normativa estadounidense y española.

Determinación de la exposición

Dado que la norma se realiza con vistas a su utilización generalizada en un enorme ámbito geográfico, la misma opta por no determinar dicha exigencia, soslayando esta materia en el articulado.

La aceptación de la norma a los diferentes estados, puede sin embargo complementarse con disposiciones adicionales emitidas a este respecto en relación a las características de exposición que se puedan definir en cada estado concreto,

caracterizando de este modo de alguna forma las soluciones aceptadas recogidas por esta normativa de ámbito federal.

En cualquier caso, dado que las condiciones de las soluciones aceptadas se establecen de forma general, no determinadas por una exigencia concreta, la posterior adaptación a niveles de exigencia ha de realizarse necesariamente de forma subjetiva, de forma igualmente poco prestacional a como se determinan los grados mostrados en la figura III.45 en Reino Unido o los grados de impermeabilización en España.

Dado que la norma puede también referirse a condiciones de utilización de gran exigencia, se incluye como solución aceptada la disposición de cerramientos verticales con elementos de impermeabilización, tales como láminas, en toda su superficie, lo que obviamente será innecesario en la gran mayoría de los emplazamientos.

Determinación de las soluciones aceptadas

A diferencia del anterior aspecto, la descripción de las soluciones aceptadas por la normativa estadounidense es extensa y detallada:

La casuística regulada por la normativa estadounidense es muy amplia, estableciéndose diferentes combinaciones posibles de materiales entre los componentes de una solución constructiva. Para cada uno de dichos materiales utilizables, se definen las normas estandarizadas de obligado cumplimiento, requisitos dimensionales mínimos exigibles y todas aquellas disposiciones adicionales necesarias para una concreta definición de la solución.

El cumplimiento de las condiciones o la utilización de una solución alternativa, acreditada de acuerdo a los cauces definidos por el código, se considera suficiente para un buen comportamiento del sistema, sean cuales sean las condiciones ambientales que sobre él puedan recaer.

En caso de no ser adecuadas, el código limita la utilización de determinados materiales o configuraciones de cada componente.

Dada la gran variedad de combinaciones posibles, que abarcan un gran número de materiales, soluciones constructivas y posibles exigencias, la norma posibilita diferentes caminos para el cumplimiento de las exigencias, a través del uso de diferentes materiales en la solución.

No obstante, el uso de soluciones alternativas, con componentes diferentes a los desglosados en la norma, precisa de la aceptación de dicha solución por la administración legislativa, para su posterior inclusión en la norma.

El mayor número de normas estandarizadas disponibles y el intensivo uso que de ellas hace el marco normativo estadounidense, hace que las soluciones aceptadas recogidas en el mismo posean una mayor definición, respecto a la regulación española. Igualmente, el mayor número de soluciones propuesto y su utilización no limitada por una graduación de la exigencia posibilitan una mayor variedad de opciones para el diseñador.

Sin embargo, el enfoque del código, centrado en los materiales y componentes utilizados, en lugar de en las prestaciones que deben requerirse, limita la identificación de

las exigencias, interfiere en la definición de la exigencia-prestación y dificulta el desarrollo de métodos de verificación relacionados con dichas exigencias y prestaciones.

Como en los anteriores marcos normativos analizados, a pesar de su mayor detalle en la caracterización de las soluciones, estas siguen basándose en la buena práctica constructiva, sin que pueda establecerse un vínculo objetivable entre las cualidades del sistema y los requerimientos solicitados para el mismo (que como ya se ha indicado, ni tan siquiera son descritas).

Comparación de las soluciones aceptadas

Como en los anteriores casos, la comparación de las soluciones aceptadas por la norma estadounidense, con las recogidas por otros marcos normativos como el español, no es posible, dado que éstas no se han definido en base a una exigencia concreta. La particular concepción del código estadounidense, no organizado en torno a las exigencias básicas, contribuye a esta imposibilidad al igual que el desarrollo mayoritariamente escrito de la norma, carente por completo de diagramas o información gráfica explicativa.

El uso extensivo de soluciones aceptadas, en lugar de la definición de métodos de verificación objetivables, impide evaluar en igualdad de condiciones la adecuación de las prestaciones obtenidas a las exigencias existentes.

Nos encontramos de nuevo por lo tanto ante soluciones no extrapolables, basadas en distintos componentes, materiales y condiciones de ejecución, sometidos a exigencias muy dispares en los diferentes países y dentro de cada uno de ellos.

COVERING TYPE	MINIMUM THICKNESS (inches)
Adhered masonry veneer	0.25
Aluminum siding	0.019
Anchored masonry veneer	2.625
Asbestos-cement boards	0.125
Asbestos shingles	0.156
Cold-rolled copper ^d	0.0216 nominal
Copper shingles ^d	0.0162 nominal
Exterior plywood (with sheathing)	0.313
Exterior plywood (without sheathing)	See Section 2304.6
Fiber cement lap siding	0.25 ^c
Fiber cement panel siding	0.25 ^c
Fiberboard siding	0.5
Glass-fiber reinforced concrete panels	0.375
Hardboard siding ^c	0.25
High-yield copper ^d	0.0162 nominal
Lead-coated copper ^d	0.0216 nominal
Lead-coated high-yield copper	0.0162 nominal

Figura III.49.- Ejemplo de diferentes soluciones aceptadas sin equivalencia en DB-HS1. Características exigidas para los materiales utilizados en el revestimiento exterior de fachadas.

La falta de correspondencia se pone de manifiesto dentro del propio código, puesto que soluciones constructivas con materiales y ejecuciones diferentes, no pueden necesariamente, tener condiciones de comportamiento igualmente adecuadas frente a la exigencia básica de protección frente a la humedad, tal y como la norma defiende.

Se hace imposible por lo tanto discernir el mayor o menor riesgo de penetración de humedad en el edificio al adoptar una u otra solución, aun cuando ambos sean aceptables en virtud de la norma.

Esta problemática se extiende también al análisis del riesgo de existencia de condensaciones intersticiales y superficiales:

A pesar de la existencia de un método de verificación analítico (utilizado por las normativas británicas o españolas), el código estadounidense se apoya en su apartado 1405.3 únicamente en soluciones aceptadas, exigiendo la colocación de barreras de vapor o espacios ventilados en determinadas zonas climáticas y condiciones de humedad y solo para cerramientos de entramado. Los materiales utilizables como barreras de vapor, así como las condiciones de estas fachadas ventiladas, quedan exhaustivamente definidos por la norma.

En cualquier caso, no se hace referencia a cálculo alguno para la verificación de la inexistencia de condensaciones, ni siquiera en aquellas zonas climáticas para las cuales no es de aplicación la obligatoriedad de disponer estos elementos. Tampoco se recoge tal exigencia o método de verificación reseñable en material de protección frente a la humedad en el International Residential Code, donde la exigencia se satisface de modo idéntico.

Tabla III.14.- Comparación en las exigencias normativas.

Concepto	Estados Unidos	España
Grados de prestación existentes	Único (salvo limitaciones al uso de ciertos materiales)	5 Grados de impermeabilidad
U máxima admitida para evitar condensaciones superficiales	No descrito	1,22 a 0,74 W/m ² K
Aproximaciones alternativas	Soluciones aceptadas basadas en determinaciones experimentales o apoyadas en normas estandarizadas	-

En el International Residential Code, las soluciones aceptadas se caracterizan por los mismos componentes establecidos en el International Building Code, si bien estos se definen con un menor grado de precisión. Dado que el ámbito de aplicación de las soluciones es más reducido, se especifican exhaustivamente los puntos de colocación en la edificación para las diferentes soluciones y componentes aceptados.

III.4.4.- MARCO NORMATIVO CANADIENSE

El National Research Council de Canadá es la institución del gobierno canadiense encargada de la redacción y publicación de códigos de construcción en dicho

país. Dicha institución orientada a la investigación y desarrollo en su ámbito nacional, publicó en el año 2010, una nueva versión de su “National Building Code of Canada” (Canada, 2010), recopilando las disposiciones técnicas para el diseño y la construcción de nuevos edificios.

El código constituye el modelo básico en el que se fundamentan los códigos provinciales y territoriales aplicados en todo Canadá. Mientras que algunas provincias han optado por redactar un código independiente en base a este contenido, otras lo han adoptado íntegramente, añadiendo o cambiando regulaciones específicas derivadas de las necesidades locales. En cualquier caso, su ámbito de influencia tiene un ámbito nacional y es el código empleado para la construcción de edificios gubernamentales.

Si bien el código se orienta a satisfacer las exigencias básicas relacionadas con la accesibilidad, salud y seguridad de los ocupantes de un edificio, la norma se complementa con otros dos códigos generalistas, orientados al mantenimiento y uso de las instalaciones de incendio y a la regulación de las instalaciones de fontanería en la edificación:

- National Fire Code of Canada
- National Plumbing Code of Canada

El National Building Code se distribuye en dos volúmenes. El primero de ellos contiene tanto las consideraciones administrativas del código como la descripción de las opciones de cumplimiento, objetivos, estados funcionales requeridos para la edificación y prestaciones de las soluciones aceptadas.

En el segundo volumen, se recoge la caracterización de las soluciones aceptables, así como los anexos necesarios para tal fin.

El código resulta de aplicación para el diseño, construcción y uso de cualquier nuevo edificio, así como para su remodelación, rehabilitación o demolición. Entra dentro de esta calificación los usos destinados a fines residenciales, que gozan de apartado específico en su interior.

Dado su carácter de código básico, los requisitos expuestos en el mismo, se consideran como mínimos aceptables para el cumplimiento de las exigencias en cualquier emplazamiento canadiense, que pueden ser ampliados, reducidos o matizados por las administraciones territoriales.

El carácter prestacional del código se implantó en su anterior versión de 2005, cuando fueron definidas diversas exigencias básicas u objetivos que a su vez se desglosan en múltiples requerimientos mucho más concretos. Para el cumplimiento de una exigencia básica, puede ser necesario satisfacer varios requerimientos simultáneamente, constituyendo esta relación el hilo conductor que define el marco normativo.

La relación entre exigencias y requerimientos queda claramente definida en el código canadiense, asignándose también a cada solución aceptada, aquellos requerimientos que son satisfechos con su ejecución. No obstante, tal y como el propio código recoge, los objetivos y requerimientos definidos son únicamente cualitativos y no han sido diseñados para el desarrollo de métodos de verificación.

Tabla III.15.- Cuadro resumen comparativo de parámetros generales del marco normativo canadiense y español.

Concepto	Canadá	España
Exigencias técnicas, administrativas y documentales	National Building Code. Volume 1	CTE Parte 1
Disposiciones Técnicas	National Building Code. Volume 2	CTE DB
Naturaleza formal de la norma	Prestacional	Prestacional
Alternativas al cumplimiento	Bajo responsabilidad técnica Normas estandarizadas Certificaciones independientes	Bajo responsabilidad técnica Documentos reconocidos (*)
Exigencia básica de protección frente a la humedad	National Building Code. Part 5. Environmental separation Part 9. Housing and small buildings	CTE DB-HS 1. Protección frente a la humedad

(*) Actualmente, no consta un desarrollo efectivo en la materia

La utilización de soluciones alternativas queda también como opción disponible frente a las soluciones aceptadas recogidas por el código. No obstante, el constructor, técnico o propietario, deberá acreditar que la solución alternativa propuesta, es capaz de alcanzar las mismas prestaciones que la solución aceptada a las que sustituye, tal y como ocurre en el ámbito español.

A lo largo de todo el código son utilizadas referencias a normas estandarizadas desarrolladas por otras organizaciones, relativas a productos o materiales. Cuando el cumplimiento de dichas normativas sea condición necesaria para alcanzar las exigencias establecidas, las mismas son consideradas de obligado cumplimiento.

III.4.4.1.- Definición y ámbito de la exigencia.

El “National Building Code”, establece en sus partes 5 y 9 referencias relativas a la protección frente a la humedad.

Así, en su parte 5, orientada a la separación necesaria del ambiente interior a la edificación respecto del medio exterior, se determinan las medidas y procedimientos a adoptar para controlar la difusión de vapor a través de los cerramientos e impedir la penetración de agua a través de los mismos. La parte 9 del código, recoge las disposiciones relativas a las edificaciones residenciales, administrativas e industriales de menos de 4 alturas y 600 m². En esta parte, se describen de nuevo las medidas simplificadas para controlar la condensación en este tipo de edificaciones, así como para impedir la penetración de agua respectivamente

Las exigencias básicas y requerimientos que son desarrollados en ambas partes, se encuentran definidos con carácter general en un apartado común de la norma. La forma de aplicar y definir estas exigencias, depende no obstante del elemento constructivo sobre el cual se aplique, derivando en condiciones diferentes para cada parte de la envolvente edificatoria.

Entre las exigencias básicas u objetivos generales recogidos por la norma se establece la necesidad de limitar la probabilidad de que como resultado del diseño o construcción del edificio, sus ocupantes sean expuestos a un inaceptable riesgo de enfermedad. En relación a la presencia de humedad, se describe la siguiente exigencia:

OHI Indoor Conditions.

An objective of this code is to limit the probability that, as a result of the design or construction of the building, a person in the building will be exposed to an unacceptable risk of illness due to indoor conditions. The risk of illness due to indoor conditions addressed in this code are those caused by-

OHI.1 – inadequate indoor air quality

OHI.2 – inadequate thermal comfort

OHI.3 – contact with moisture.

Dentro de las prestaciones requeridas en la envolvente, derivadas de las exigencias básicas, destacan en relación a la necesaria protección frente a la humedad:

F60. *To control the accumulation and pressure of water on and in the ground.*

F61. *To resist the ingress of precipitation, water or moisture from the exterior or from the ground.*

F62. *To facilitate the dissipation of water and moisture from the building*

F63. *To limit moisture condensation.*

A diferencia del marco estadounidense, el código mantiene una clara relación exigencia-prestación en su jerarquía interna, al modo de los códigos europeos. Cada una de las partes es concluida con una tabla resumen, que relaciona las soluciones aceptadas presentadas, con las exigencias básicas o prestaciones satisfechas por las mismas. Para la definición de estas soluciones, se utilizan extensivamente las referencias a otras normas estandarizadas, de ámbito canadiense o norteamericano.

Al igual que en la norma estadounidense, con su “International Residential Code”, las edificaciones de escaso tamaño, son tratadas en apartado independiente (Housing and small buildings), estableciéndose para las mismas, unos condicionantes diferentes a los establecidos para el ámbito general de las edificaciones. Como en otros códigos ya analizados, la atención a la adecuada disposición de drenajes en el terreno y minimización de los efectos derivados de las inundaciones, configuran apartados específicos dentro de la norma.

Tabla III.16.- Cuadro resumen de los ámbitos de acción de la normativa canadiense.

Concepto	Canadá
Causas de la exigencia de protección frente a la humedad	Humedad procedente de escorrentías Humedad procedente del terreno Humedad procedente del edificio Humedad procedente de la precipitación Humedad procedente de condensaciones
Ámbito de las soluciones constructivas definidas	Fábricas de albañilería Cimentaciones y contenciones con presencia de humedad Barreras de vapor Revestimiento exterior de fachadas, incluyendo aplacados, revestimientos continuos e impermeabilizaciones, definidos por diferentes materiales

III.4.4.2.- Prestacionalidad del enfoque y métodos de verificación.

La estructuración de la norma canadiense, relacionando cada componente concreto utilizado con la prestación y parámetros específicos que lo definen, únicamente permite una estimación parcial del grado de exigencia establecido para el cerramiento.

Así, las condiciones establecidas para la fábrica de albañilería en relación a la penetración de lluvia se consideran únicas, mientras que para los aplacados y revestimientos, sus condiciones de resistencia a la penetración de agua se determinan en base a la exposición identificada. Por ello, no puede hablarse en este ámbito normativo de una exposición a la humedad claramente identificada, sino de diferentes grados de exigencia establecidos para cada uno de los componentes que integran el cerramiento vertical.

Aunque para la mayoría de los elementos, el cumplimiento de las soluciones aceptadas genéricas propuestas se considera suficiente para el cumplimiento de las prestaciones de protección frente a la humedad, en otros elementos como revestimientos exteriores, es necesario determinar el grado de exposición existente para utilizar la solución aceptada adecuada. Por lo tanto, aunque el código se define a sí mismo como prestacional y las soluciones aceptadas se definen con gran detalle y flexibilidad, no es posible identificar una relación unívoca y conjunta entre exigencia y prestación para todo el cerramiento.

Analizando la estructura de los apartados referidos a protección frente a la humedad en el National Building Code de Canadá, puede definirse el siguiente patrón común:

- Ámbito de aplicación del requerimiento de protección frente a la humedad.
- Propiedades exigidas a los componentes y materiales del cerramiento.
- Requisitos de instalación de los componentes y materiales establecidos, referidos a normas estandarizadas u otros apartados del código.

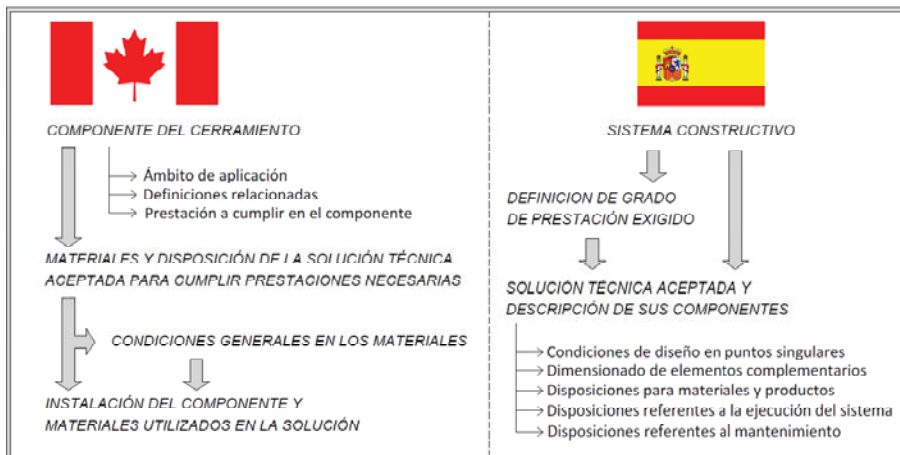


Figura III.50.- Diferencias en estructura organizativa de normativa canadiense y española.

Si nos centramos exclusivamente en la parte destinada a la caracterización constructiva de edificios residenciales y otras pequeñas construcciones, el código pormenoriza este patrón, añadiendo una mayor concreción a lo abordado de forma general por el código. Así, se añade a lo anterior:

- Definición del componente analizado en el cerramiento
- Determinación de la exigencia de protección frente a la humedad del componente, si éste no es genérico.

A lo largo de todo el código resulta extendida la referencia a normas estandarizadas que permiten caracterizar las condiciones de los materiales y los medios y procesos de ejecución de las soluciones constructivas.

Así, es constante la utilización de normas estandarizadas CSA (Canadian Standards Association), CGSB (Canadian General Standards Board), ULC (Underwriters' Laboratories of Canada) o BNQ (Bureau de Normalisation du Québec), para la caracterización de todo tipo de materiales y formas de colocación. Igualmente son frecuentes las referencias cruzadas a lo largo de todo el código, complicando la agilidad en su utilización.

Si bien no se articula el cumplimiento alternativo fuera de las soluciones aceptadas indicadas en el texto, si que se articulan los procedimientos para someter a ensayo otros materiales o soluciones diferentes para cada componente, que pudieran garantizar un cumplimiento similar al indicado en la normativa. Diversas instituciones de ensayo, control y homologación, son las responsables de proporcionar esta calificación para la solución.

Determinación de la exposición

Como se ha indicado, no se establece una exigencia por humedad en el cerramiento aplicable a la caracterización de todos sus componentes, sino que para la mayoría se define un nivel de protección genérico, que se alcanza al disponer los materiales y soluciones indicados en la solución aceptada.

En aquellos componentes en los que esta exposición frente a la penetración de agua se gradúa, como es el caso del revestimiento del cerramiento (incluyendo todas sus múltiples variables y posibilidades), la normativa no recurre al enfoque basado en la estimación de la lluvia batiente, sino que desarrolla una aproximación original y alternativa.

Así son dos parámetros los utilizados para determinar el número de componentes que han de integrar el revestimiento de los cerramientos verticales: grados-día e índice de humedad o "Moisture index" (MI).

Mientras que los grados día representan un indicador de la severidad térmica de la climatología del emplazamiento, el moisture index es un índice representativo de la carga de humedad impuesta por el clima sobre el cerramiento.

Este índice, desarrollado por Cornick y Dalgliesh (2003), se basa en la definición en base a las condiciones existentes de humedecimiento y secado del cerramiento, de una exigencia mesurable por humedad sobre el mismo.

Así, fueron analizadas para diferentes ciudades canadienses, la magnitud de la lluvia batiente esperadas sobre el cerramiento y las condiciones de temperatura y

humedad relativa asociadas a un periodo de retorno de 30 años. Los datos recopilados, permiten caracterizar el potencial de humedecimiento del cerramiento, desde un máximo hasta un mínimo, según los datos de cada ciudad en relación a las restantes.

Otros estudios han sugerido la posibilidad de utilizar para este coeficiente de humedecimiento, el valor de pluviometría anual en lugar de la lluvia batiente sobre el cerramiento, si bien los resultados obtenidos, varían de forma relevante en función del parámetro adoptado, tal y como dejaron patente Giarma y Aravantinos (2011).

Station/ location	WI ₁ (mm)	WI ₂ (m ² /s)	DI (kg water/kg air)	MI1 (-)	MI2 (-)
Agrinio	931.2	1.76	43.187	0.945	0.639
Alexandroupolis	553.2	2.09	37.864	0.784	0.858
Araxos	688.2	2.00	40.678	0.774	0.754
Argostoli	820.0	2.79	38.940	0.936	0.947
Arta	1084.6	3.18	41.509	1.154	0.966
Athens (Hellinikon)	364.8	1.34	55.023	0.106	0.238
Chania (Souda)	621.5	1.73	45.964	0.563	0.549
Elefsina	372.9	1.11	57.899	0.011	0.145
Florina	645.7	1.22	30.835	1.071	1.015
Heraklion	483.2	2.17	48.609	0.379	0.571
Ierapetra	661.8	3.00	50.881	0.481	0.745
Ioannina	1081.5	1.61	35.792	1.275	0.867
Kalamata	780.3	2.10	41.572	0.828	0.743
Kavala (Chryssoupoli)	403.2	0.90	35.995	0.811	0.814
Kerkyra	1097.3	2.65	37.283	1.257	0.968
Kozani	507.6	0.99	37.506	0.778	0.761
Lamia	573.8	1.61	45.099	0.552	0.555

Figura III.51.- Comparación del resultado del coeficiente de humedecimiento (WI), calculado mediante precipitaciones anuales (WI1) y mediante valores de lluvia batiente sobre el cerramiento (WI2), para diferentes poblaciones griegas. Puede apreciarse la disparidad de resultados obtenida en la obtención del Moisture Index (MI1 y MI2). Fuente: Giarma y Aravantinos, 2011.

Así pues, el coeficiente de humedecimiento o Wetting index (WI), puede determinarse simplemente en relación a uno de los dos parámetros en cada emplazamiento (preferentemente el segundo):

$$Coef_{humedecimiento} = \sum Pluviometría \quad [-], \text{ ó}$$

$$Coef_{humedecimiento} = \sum Lluvia batiente sobre cerramiento \quad [-]$$

Para el cálculo del coeficiente de secado o drying index (DI), la temperatura y humedad relativa del ambiente medida en diferentes intervalos (media anual, mensual, horaria...), permite con diferente grado de precisión, caracterizar el potencial de secado (evaporación), del cerramiento, simplemente aplicando la siguiente relación:

$$Coef_{secado}(DI) = \sum [w_{saturación}(T) - w_{medida}(T)] \quad [-]$$

A menor temperatura exterior y mayor humedad relativa, menor será la capacidad del aire de absorber humedad y por lo tanto, menor el potencial de secado del cerramiento.

Normalizando ambos parámetros, es posible definir un coeficiente de sollicitación por humedad para cada ciudad analizada, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Coef_{norm.} = \frac{Coef - Coef_{min}}{Coef_{max} - Coef_{min}} \quad [-]$$

$$Moisture Index = \sqrt{Coef_{norm.hum}^2 + (1 - Coef_{norm.sec})^2} \quad [-]$$

Tal y como se aprecia, ambos coeficientes, de secado y de humedecimiento, se utilizan con pesos relativos similares, aspecto este, que ha sido objeto de cierta reticencia (Giarma y Aravantinos, 2011), pero que se sigue adoptando a falta de mejor criterio, ya que permite de forma simple, establecer una calificación cualitativa entre diferentes localizaciones.

En base a esta clasificación, pudieron realizarse diferentes zonificaciones para el ámbito climático canadiense, que tienen por objeto, estimar cualitativamente, el grado de sollicitación que un cerramiento puede sufrir, en función de la climatología de su emplazamiento y en base al mismo, definir el tipo de revestimiento a disponer.

Otros autores, como Scheffer, habían utilizado previamente otros coeficientes similares basados en la medición de temperaturas medias mensuales y números de días anuales con precipitación significativa, para la elaboración de mapas de sollicitación, en este caso, para revestimientos de madera en edificaciones. El análisis de intensidades pluviométricas registradas y °C/día registrados, suelen ser parámetros igualmente utilizados para la elaboración de estos mapas.

No obstante, estas determinaciones, dado que dependen de los parámetros estimados relevantes sobre el cerramiento, presentan importantes divergencias y su determinación, no permite posteriormente a determinar un diseño prestacional del cerramiento. Como en las restantes normativas, la soluciones aceptadas que se derivan de esta exigencia de deben a la experiencia constructiva previa y no a un método de verificación basado en esta exposición.

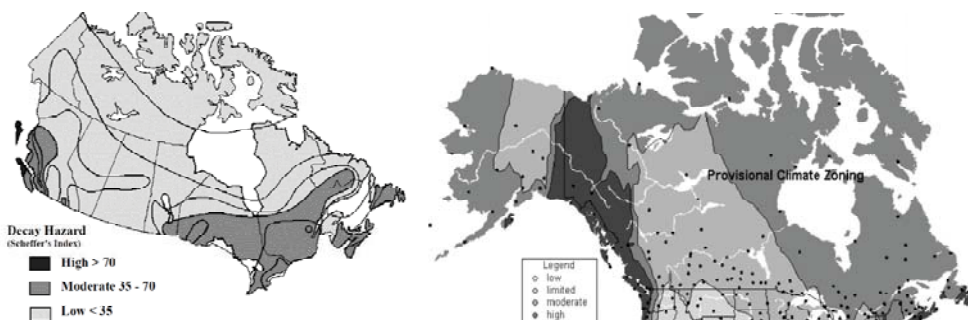


Figura III.52.- Zonificación establecida por Scheffer en 1971 (izq.) y comparación con la establecida por Cornick y Dalglish en base al Moisture Index expuesto (der). El grado de sollicitación varía en función de los parámetros considerados, pero ninguno cuantifica analíticamente la magnitud de esa sollicitación.

Determinación de las soluciones aceptadas

Como en el caso estadounidense, la descripción de las soluciones aceptadas por la normativa es extensa y detallada:

La casuística regulada es muy amplia, estableciéndose diferentes combinaciones posibles de materiales y diferentes configuraciones alternativas de protección. Así, para cada posible componente se definen las normas estandarizadas de obligado cumplimiento, requisitos dimensionales mínimos exigibles y todas aquellas disposiciones adicionales necesarias para una concreta definición de la solución.

El cumplimiento de las condiciones o la utilización de una solución alternativa, acreditada de acuerdo a los cauces definidos por el código, se considera suficiente para un buen comportamiento del sistema, sean cuales sean las condiciones ambientales que sobre él puedan recaer. Solo en algunos casos concretos como revestimientos, la solución constructiva debe ser adaptada en función de la exigencia establecida.

Así por ejemplo, en el caso de materiales de revestimiento, la norma analiza diferentes opciones, todas ellas descritas por su ámbito de aplicación requerimientos materiales y disposiciones constructivas. Así pueden nombrarse enfoscados, aplacados, revestimientos de madera, contrachapados, plásticos, cerámicas, estucos, cobertura de juntas...

El planteamiento de materiales alternativos que permitan cumplir la exigencia dentro de cada grupo, debe ser avalada por la superación de las condiciones impuestas por diferentes organismos, instituciones y ensayos, que han de homologar la posible utilización del componente. El alto número de soluciones aceptadas propuesto y su utilización no limitada por una graduación de la exigencia en la mayoría de componentes, posibilitan también una mayor variedad de opciones para el diseñador.

No obstante, el enfoque del código centrado en la caracterización individual de los componentes del cerramiento, en lugar de en la caracterización de sus condiciones generales, limita la posibilidad de establecer una relación unívoca entre exigencia y diseño de la solución, base de partida de todo sistema prestacional.

Como en los anteriores marcos normativos, a pesar de su mayor detalle en la caracterización de las soluciones, éstas siguen basándose en la buena práctica constructiva, sin que pueda establecerse un vínculo objetivable entre las cualidades del sistema y los requerimientos solicitados para el mismo (que como ya se ha indicado, ni tan siquiera son descritas). No obstante, el esfuerzo realizado en el país en la materia, lo sitúan en una posición pionera en este aspecto.

Comparación de las soluciones aceptadas

Como en los anteriores casos, la comparación de las soluciones aceptadas por la norma con las recogidas por otros marcos normativos como el español, no es posible, dado que ambas no se han definido en base a una exigencia equiparable. La particular utilización del Moisture Index por parte de la norma canadiense, contribuye a esta imposibilidad al igual que el desarrollo mayoritariamente escrito de la norma, carente por completo de diagramas o información gráfica explicativa.

El uso extensivo de soluciones aceptadas, en lugar de la definición de métodos de verificación objetivables, impide evaluar en igualdad de condiciones la adecuación de

las prestaciones obtenidas a las exigencias existentes. Nos encontramos de nuevo por lo tanto ante soluciones no extrapolables a otros ámbitos de aplicación diferentes al canadiense, basadas en variados componentes, materiales y condiciones de ejecución.

La falta de correspondencia se pone de manifiesto dentro del propio código, puesto que soluciones constructivas con materiales y ejecuciones diferentes, no pueden necesariamente, tener condiciones de comportamiento igualmente adecuadas frente a la exigencia básica de protección frente a la humedad, tal y como la norma defiende. En cualquier caso, tampoco se define forma de determinar unívocamente dichas prestaciones.

Se hace imposible por lo tanto discernir el mayor o menor riesgo de penetración de humedad en el edificio al adoptar una u otra solución para el componente, aun cuando ambas sean aceptables en virtud de la norma.

Type of Cladding	Minimum Nail or Staple Length, mm	Minimum Number of Nails or Staples	Maximum Nail or Staple Spacing, mm (o.c.)
Wood trim	51	—	600
Lumber siding or horizontal siding made from sheet material	51	—	600
Metal cladding	38	—	600 (nailed to framing) 400 (nailed to sheathing only)
Wood shakes			
up to 200 mm in width	51	2	—
over 200 mm in width	51	3	—
Wood shingles			
200 mm in width	32	2	—
over 200 mm in width	32	3	—
Asbestos-cement shingles	32	2	—
Panel or sheet type cladding			
up to 7 mm thick	38	—	150 (along edges)
more than 7 mm thick	51	—	300 (along intermediate supports)

Figura III.53.- Ejemplo de diferentes condiciones asignadas para diferentes tipos de revestimiento, sin equivalencia en DB-HS1.

Como sucedía en la normativa estadounidense, para el control de la condensación no se utilizan los métodos de verificación analíticos presentes en normativas como la británica o española. A diferencia de estas últimas el control de la condensación se realiza imponiendo una proporción de aislamiento mínimo en el cerramiento, exterior a la superficie impermeable más interna, para garantizar así la ausencia de condensaciones intersticiales y superficiales.

La determinación de esta proporción mínima de aislamiento exterior se realiza en base a los grados día de calefacción de cada emplazamiento, siendo necesario un mayor aislamiento exterior cuanto más fría sea la climatología a la que el cerramiento se ve sometido.

Heating Degree-Days of Building Location ⁽¹⁾ , Celsius degree-days	Minimum Ratio, Total Thermal Resistance Outboard of Material's Inner Surface to Total Thermal Resistance Inboard of Material's Inner Surface
up to 4 999	0.20
5 000 to 5 999	0.30
6 000 to 6 999	0.35
7 000 to 7 999	0.40
8 000 to 8 999	0.50
9 000 to 9 999	0.55
10 000 to 10 999	0.60
11 000 to 11 999	0.65
12 000 or higher	0.75

Figura III.54.- Relación R_{ext} / R_{in} que es necesario superar para evitar condensaciones en el cerramiento, a partir de los grados día de calefacción asociados a cada emplazamiento.

El sistema planteado, como se puede ver, no evalúa la resistencia o transmitancia térmica global del cerramiento, por lo que no puede ser comparado con el criterio recogido por la norma española. En su lugar, determina la proporción de aislamiento térmico del cerramiento que ha de colocarse exteriormente a aquellos puntos en los que pudiera aparecer la condensación, garantizando una adecuada temperatura en los mismos que evite la condensación.

Tabla III.17.- Comparación en las exigencias normativas.

Concepto	Canadá	España
Grados de prestación existentes	Único en la mayoría de los componentes, salvo para revestimientos	5 Grados de impermeabilidad
U máxima admitida para evitar condensaciones superficiales	Aproximación prestacional diferente y no comparable	1,22 a 0,74 W/m ² K
Aproximaciones alternativas	Utilización de materiales alternativos bajo homologación y supervisión de diferentes organismos de ensayo y control	-

III.4.3.3.- Aportes relevantes incluidos en el marco normativo canadiense.

Se han realizado en Canadá, importantes esfuerzos con el objeto de estimar de forma prestacional la magnitud de las solicitudes sobre el cerramiento y definir en consecuencia, el riesgo de penetración de humedad a través de la envolvente.

En este marco, ha sido el National Research Council (NRCC) la institución más activa, al encargarse del desarrollo de un importante trabajo de investigación, simulación y trabajo experimental y de campo. Fruto de esta actividad, se desarrolla el proyecto MEWS (Moisture Management for Exterior Wall Systems) (Mukhopadhyaya et. al, 2003), cuyo objetivo se centra en desarrollar sistemas y estrategias de control de la humedad en cerramientos, que garanticen su durabilidad en climatologías de Norteamérica.

Del proyecto han surgido, desde indicadores de respuesta a la humedad de diferentes cerramientos habituales en el país, a herramientas de cálculo numérico de condiciones higrotérmicas como hygIRC y múltiples publicaciones de carácter científico.

Entre los aspectos de mayor interés para este trabajo, destaca la definición del sistema independiente y novedoso de evaluación de la exposición frente a la humedad o Moisture index, someramente introducido en apartados anteriores.

Paralelamente a este aporte, resulta de interés destacar el trabajo realizado para desarrollar propuestas normativas de mayor prestacionalidad, como la establecida por Cornick y Lacasse (2005), que tratan de optimizar el enfoque prestacional del código mediante el enfoque de lluvia batiente o “wind driving rain”.

Para ello calculan la lluvia batiente sobre el cerramiento, utilizando aproximaciones semi-empíricas (Straube y Burnett, 2000) o basadas en modelos CFD (Choi, 1991, 1993, 1994a, 1994b; Blocken et al, 2011). Los resultados de intensidad de lluvia sobre la vertical y la presión de viento incidente, correspondientes a periodos de retorno de 2, 5 y 30 años, son recopilados y ordenados en una escala de mayor a menor exigencia real.

En base a dichas mediciones y cálculos, se estiman 5 rangos de presión incidente para el viento y lluvia dirigida sobre la fachada, cubriendo en diferentes escalones, todas las solicitaciones posibles para las localizaciones analizadas (todas ellas ciudades canadienses). Estos rangos determinan desde condiciones por encima de las más desfavorables para periodos de retorno de 30 años (Level 5), hasta condiciones escasamente exigentes, (Level 1).

Pressure Differential (Pa)	Spray Rate (L/min-m ²)					
	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.4
0						
75	Level 1					
150						
200	Level 2					
300						
500	Level 3					
700	Level 4					
1000	Level 5					

		Zona pluviométrica de promedios				
		I	II	III	IV	V
Grado de exposición al viento	V1	5	5	4	3	2
	V2	5	4	3	3	2
	V3	5	4	3	2	1

Figura III.55.- Protocolo propuesto por Cornick y Lacasse basado en niveles de solicitud para su ajuste normativo en Canadá (izq.), similar en su patrón al registrado por el CTE para la estimación del grado de impermeabilidad necesario en la solución de cerramiento (der.).

A pesar de que la evaluación de la solicitud es plenamente prestacional (las condiciones representadas en la tabla, son condiciones reales existentes en el cerramiento), la definición de los niveles de exigencia es por el contrario, subjetiva.

En las mismas se considera que la probabilidad de que se produzca un evento de lluvia batiente (precipitación más viento simultáneo), es la misma de que se produzca independientemente un evento de precipitación o de viento, lo cual no constituye una aproximación realista. Del mismo modo, el sistema planteado, tampoco se introduce la forma de relacionar dicho nivel de exigencia con el diseño adecuado del cerramiento de un modo unívoco.

Los autores sugieren la utilización de estos rangos de lluvia batiente y presión eólica como parámetros para la realización de ensayos de estanqueidad, en lugar de los más generales determinados por las normas actuales (véase apartado III.3.6). No

obstante, tal y como se desarrollará a lo largo del capítulo V, ni estos parámetros ni los actualmente utilizados en los ensayos se ajustan prestacionalmente a las condiciones de servicio que pueden producirse sobre un cerramiento, por lo que la aproximación prestacional de la norma sigue sin establecerse.

Salvando esta problemática, el trabajo de Cornick y Lacasse y su adaptación al enfoque “wind driving rain”, constituye un punto de partida adecuado para determinar prestacionalmente la sollicitación por las condiciones de humedad españolas, como se verá en los capítulos IV y V de este trabajo.

Por último, es necesario destacar el trabajo realizado por Kumaran et al. (2003), dentro del marco del proyecto MEWS para definición de un parámetro de evaluación de la respuesta del cerramiento ante la sollicitación externa.

Este parámetro, denominado RHT Index (índice de humedad relativa y temperatura), debe ser utilizado en conjunción con una herramienta de simulación numérica (en este caso la herramienta hygIRC desarrollada por el NRCC), capaz de establecer las condiciones de humedad relativa y temperatura en zonas internas de la fachada, ante las condiciones climáticas externas a lo largo de un mínimo de 2 o 3 años de duración.

El índice RHT, recopila la duración en estas zonas internas de la fachada, de condiciones que se consideran desfavorables para la durabilidad del cerramiento por desarrollo de mohos en la madera, RHT95 ($\phi > 0,95$ y $T < 5^{\circ}\text{C}$) o bien por procesos de corrosión, RHT80 ($\phi > 0,80$ y $T < 5^{\circ}\text{C}$). Un cerramiento, será tanto más adecuado, cuanto menor sea su índice RHT (menor duración de esas condiciones).

Como contrapartida, la aplicación del índice, precisa la utilización indefectible de herramientas de cálculo numérico y la construcción de uno o varios modelos de fachada para su evaluación. Del mismo modo, permite establecer la mejor o peor utilidad de un cerramiento, pero no su cuantificación directa. Además, la metodología se orienta preferentemente a sistemas constructivos de fachada no demasiado habituales en nuestro país.

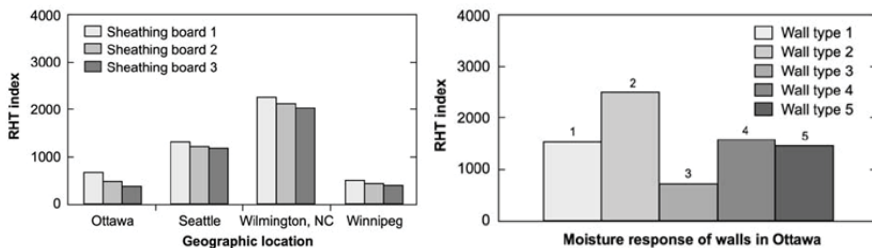


Figura III.56.- Caracterización de la idoneidad de diferentes tipos de muro, tomando como parámetro el índice RHT en varias localidades, realizada por Kumaran y otros autores. La necesidad de recurrir a programas de cálculo numérico reduce su aplicabilidad en la labor diaria del diseñador o proyectista.

III.5.- COMENTARIO AL ANÁLISIS NORMATIVO REALIZADO

A lo largo del análisis pormenorizado que se ha realizado tanto del ámbito normativo español como internacional, han sido identificados una amplia variedad de aspectos que condicionan la fiabilidad de las medidas de protección frente a la humedad contenidos en dichas regulaciones.

Por un lado, la caracterización de la exposición no se realiza en base a criterios uniformes en todos los países, sino que cada ámbito normativo define la exposición de los cerramientos a la humedad en base a diferentes procedimientos y datos.

A este respecto, el Código Técnico de la Edificación español utiliza unos parámetros de caracterización especialmente poco acertados, alejados de los factores climáticos que realmente determinan la sollicitación y cuantificados de forma claramente mejorable.

En comparación, la normativa británica adopta de forma decidida la aproximación basada en la estimación de la lluvia batiente sobre los cerramientos (WDR), estimación ésta de la exposición más realista y que está siendo implantada en Europa como un estándar de mayor precisión y fiabilidad.

De forma general, tanto en Canadá como en estados Unidos, no se define nivel de sollicitación alguna en relación a la exposición a la humedad, adoptándose un único criterio de exigencia. En Canadá no obstante, se han desarrollado algunas aproximaciones interesantes al cálculo de la exposición frente a la humedad, que han sido someramente descritas y que son utilizadas parcialmente en la normativa de construcción.

Estas estimaciones, basadas en la determinación de grados-día y un índice de humedad (MI) asociados al emplazamiento, constituyen una aproximación prestacional a la exposición y sería lógica su progresiva implantación dentro del marco normativo de este país. Sin embargo, la caracterización cualitativa de estos índices y su imposibilidad para compararlos en el ámbito internacional (como si ocurre con la aproximación británica del cálculo de la lluvia batiente), hacen que se descartan para el presente trabajo.

Tras el análisis de la estimación del grado de impermeabilidad utilizado en nuestro país, queda patente la necesidad de su mejora y adaptación a los criterios utilizados internacionalmente o al menos en el ámbito europeo. En la actualidad esta estimación no resulta unívoca, adolece de la adopción de criterios subjetivos y no relaciona científicamente dicho grado de exposición, con la exposición real por humedad atmosférica que se produce en los cerramientos españoles.

La necesaria evaluación de la exposición en nuestro país, mediante la aproximación basada en el estudio de la lluvia batiente, es abordada por este trabajo doctoral a lo largo del capítulo IV, obteniendo dicha exposición para 80 emplazamientos repartidos por toda la geografía nacional.

Para esta estimación se empleará fundamentalmente la norma UNE-EN ISO 15927:2011, adaptación española del estándar europeo que define esta aproximación al cálculo de la lluvia batiente que impacta sobre los cerramientos en función de su

localización, altura, entorno circundante y características morfológicas de la fachada analizada.

Por ello se ha analizado pormenorizadamente los parámetros en los que se basa la citada norma, identificando las mejoras que ofrece así como determinadas deficiencias de traducción e interpretación incluidas por la adaptación española de la norma, que en su estado actual, impiden su utilización por técnicos noveles en la materia.

Por otro lado, todos los ámbitos normativos analizados presentan una falta de prestacionalidad absoluta en cuanto a la determinación del cumplimiento de las exigencias por parte de las soluciones constructivas. Todo ellos carecen de métodos de verificación científicos para esta evaluación, recurriendo extensivamente a la utilización de soluciones aceptadas, condicionadas por la práctica constructiva habitual y por una lógica subjetividad en su asignación.

Esta carencia, común a todas las normas se debe fundamentalmente a la ausencia de un marco teórico común y fiable, que permita caracterizar todos los fenómenos y parámetros que intervienen el transporte de la humedad a través de la matriz porosa de los materiales de construcción.

En ausencia de esta caracterización física precisa y fiable, la actual asignación de soluciones, suele basarse en la ejecución de ensayos de estanqueidad frente a la penetración de agua líquida, sometiendo a la muestra de cerramiento a un aporte de agua y a una diferencia de presión concreta, que tratan de simular diferentes condiciones de exposición posibles sobre el cerramiento.

Los resultados de mayor o menor resistencia a la estanqueidad ofrecidos por las distintas soluciones sometidas a ensayo, determinan su asignación a un grado de mayor o menor exigencia definido en cada país. A este respecto se han presentado las principales normas de ensayo utilizadas a nivel europeo para evaluar la estanqueidad de las soluciones de fachada y adaptadas al ámbito español (UNE-EN 12154:1999; UNE-EN 12155:2000; UNE-EN 13051:2001 y UNE-EN 12865:2001).

No obstante, dado que las condiciones de exposición estandarizadas a las que se ven sometidas las muestras de ensayo no se ajustan a las particularidades de cada emplazamiento y condición de servicio posible del cerramiento, estos ensayos tampoco son estrictamente representativos de la prestación ofrecida por el cerramiento en condiciones reales. Así, las mismas condiciones se simulan en los ensayos anteriormente mencionados, para su aplicación en cualquier condición de altura, entorno y emplazamiento de toda Europa, lo cual no responde a un enfoque prestacional adaptado de forma óptima a las condiciones de exigencia.

Del mismo modo, la utilización de diferentes parámetros de ensayo por cada normativa de ensayo de cada ámbito normativo, impide establecer una homologación única del cerramiento, debiéndose repetir el ensayo en base a otros parámetros de exposición para su homologación en otro ámbito internacional.

A lo largo del capítulo V de esta Tesis Doctoral, se aborda la tarea de dotar a estos ensayos de estanqueidad de los mecanismos necesarios para que los resultados obtenidos a través de sus condiciones de exposición estandarizadas, puedan ser interpretados para obtener el grado de prestación esperado para el cerramiento en cualquier condición posible de utilización.

Del análisis concreto y pormenorizado de la normativa española, han podido identificarse múltiples ámbitos de mejora, que hacen que en la actualidad el marco normativo español no sea adecuado para definir la exposición frente a la humedad en nuestro país ni para determinar las soluciones constructivas a utilizar para proteger el ambiente interior de la penetración de agua:

- El Grado de impermeabilización definido se calcula a partir de parámetros climáticos que no son representativos de la exigencia real de exposición frente a la humedad.
- Las condiciones de exposición al viento calculadas son meramente cualitativas, lo que da lugar a estimaciones cuantitativas no unívocas y por lo tanto subjetivas.
- Los datos de pluviometría anual utilizados para la estimación de la exposición, además de no corresponder a datos adecuados para la dicha estimación, se encuentran desactualizados.
- Las presiones eólicas calculadas se computan en intervalos diferentes a los de precipitación, por lo que no se tiene en cuenta la necesaria simultaneidad de ambos parámetros para el cálculo de la lluvia batiente.
- Las soluciones aceptadas presentadas muestran incoherencias fácilmente demostrables a nivel interno mediante su simple comparación.
- Se propone en las mismas la utilización de los materiales aislantes térmicos como barrera frente a la penetración de agua (B1 y B2), a pesar de que la norma prohíbe igualmente expresamente la aparición de ningún tipo de condensación sobre estos materiales (presencia de agua líquida).
- Se utilizan métodos de verificación de las condensaciones solo parcialmente definidos en la norma, siendo necesario recurrir a normas UNE para poder aplicar enteramente el método de verificación.
- Dicho método de verificación se emplea de forma extensiva sobre soluciones constructivas no idóneas, sin adoptar por ello ningún tipo de medida correctora o de seguridad.

Independientemente de lo estrictamente recogido por el Código Técnico de la Edificación, tampoco otras normativas de reciente inclusión en nuestro ámbito normativo pueden considerarse libres de problemas importantes:

- La norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, que constituye un estándar europeo y se inspira en la determinación de la lluvia batiente ya implantada en la normativa británica, adolece en su versión española (UNE), de problemas de traducción o interpretación que hacen que en su interpretación sea equívoca.
- Las variadas normativas de ensayo presentes en nuestro país para la evaluación de la estanqueidad de los cerramientos, no permiten determinar la prestación ofrecida por el cerramiento en cada posible condición de servicio y además, tampoco permiten la comparación de los resultados obtenidos mediante diferentes ensayos, al estar estos caracterizados por parámetros de exposición diferentes entre sí.

En definitiva, el análisis presentado en este capítulo ha permitido detectar en la normativa actual en materia de protección frente a la humedad, la necesidad de definir de forma adecuada la exposición de los cerramientos ante la penetración de agua, así como la necesidad de articular procedimientos de verificación que permitan evaluar la

prestación ofrecida por cada solución constructiva de forma objetiva, comparable, científica y prestacional.

Identificadas estas necesidades, en los siguientes capítulos de este trabajo doctoral se aborda la tarea de ofrecer soluciones a estas cuestiones, definiendo en primer lugar en el Capítulo IV una exposición frente a la humedad en cerramientos españoles en consonancia con los estándares europeos vigentes y la aproximación al cálculo de lluvia batiente, de tal manera que:

- Los resultados obtenidos sean comparables respecto a los ya obtenidos en otros ámbitos internacionales.
- Los parámetros utilizados para determinar la sollicitación se ajusten científicamente a los parámetros que determinan la exigencia de la exposición frente a la penetración de agua en los cerramientos verticales.
- Se obtengan resultados de exposición con una precisión similar o mejor a la obtenida en otros países de nuestro entorno, partiendo de los datos climáticos disponibles en nuestro país.

En segundo lugar y a lo largo del Capítulo V, se definen los procedimientos de cálculo necesarios para verificar la prestación de cualquier solución constructiva de cerramiento ante cualquier exigencia de humedad, partiendo de los resultados obtenidos por los actuales ensayos de estanqueidad establecidos, de tal manera que:

- La prestación de un cerramiento ante cualquier sollicitación pueda evaluarse sin necesidad de modificar los parámetros de exposición utilizados en el ensayo.
- Los resultados obtenidos por ensayos de estanqueidad definidos por exposiciones diferentes, puedan ser comparados en base a un criterio unívoco común.
- Los ensayos de estanqueidad representen una herramienta prestacional para determinar la idoneidad de un cerramiento vertical en una determinada condición de contorno.
- Sea posible a través del procedimiento desarrollado, diseñar cerramientos optimizados para las prestaciones que le son exigidas en cada emplazamiento, altura, entorno o disposición de la fachada.
- Sea posible mediante el procedimiento presentado, evaluar la severidad de la exposición actualmente utilizada por los ensayos de estanqueidad, en relación a la exposición real que se espera sufra el cerramiento en sus condiciones concretas de servicio.

III.6.- BIBLIOGRAFÍA Y APÉNDICES

- AEMET. 2011. *Atlas climático ibérico. Iberian climate atlas*. Madrid, SPA: Ministerio de Medio Ambiente y medio rural y Marino. ISBN: 978-84-7837-079-5.
- AENOR UNE-EN 12154:2000. *Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Requisitos y clasificación*.
- AENOR UNE-EN 12155:2000. *Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo de laboratorio bajo presión estática*.
- AENOR UNE-EN 13051:2001. *Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo "in situ"*.
- AENOR UNE-EN 772-11:2001. *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería*.
- AENOR UNE-EN 12865: 2002. *Comportamiento higrotérmico de componentes y elementos de edificación. Determinación de la resistencia al agua de lluvia de muros exteriores bajo impulsos de presión de aire*.
- UNE-EN ISO 13788:2002. *Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo*.
- AENOR UNE-EN 13755:2008. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica*.
- AENOR UNE-EN ISO 15927-3:2011. *Comportamiento higrotérmico de edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 3: Cálculo de índice de lluvia para superficies verticales a partir de datos horarios de viento y de lluvia*.
- Aranda A, Zabalza I, Díaz S, Llera E. 2010. *Eficiencia energética en instalaciones y equipamiento de edificios*. Pressas universitarias de Zaragoza. ISBN: 978-92774-96-8.
- Blocken, B., Abuku, M., Nore, K., Brüggen, P.M., Schellen, H.L., Thue, J.V., Roels, S., Carmeliet, J., 2011. *Intercomparison of wind-driven rain deposition models based on two case studies with full-scale measurements*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 99(4), 448–459.
- CEE. 1993. *Documento Interpretativo. Requisito esencial nº3. Higiene, salud y medio ambiente*. Bruselas, BEL: Directiva 89/106/CEE.
- Canada. 2010. *National Building Code of Canada (NBC)*. National Research Council of Canada.
- Chand, I. Bhargava, P.K. 2002. *Estimation of driving rain index for India*. Building and Environment, 37: 549-554.
- Choi, E.C.C., 1991. *Numerical simulation of wind-driven-rain falling onto a 2-D building*. Proceedings of Asia Pacific Conference on Computational Mechanics, Hong Kong, 1721-1728.
- Choi, E.C.C., 1993. *Simulation of wind-driven rain around a building*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 46&47, 721-729.
- Choi, E.C.C., 1994a. *Determination of wind driven-rain intensity on building faces*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 51(1), 55-69.
- Choi, E.C.C., 1994b. *Parameters affecting the intensity of wind-driven rain on the front face of a building*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 53(1-2),1-17.
- Cornick, S. Dalgliesh, W.A. 2003. *A Moisture index to characterize climates for building envelope design*. Journal of Thermal Envelope & Building Science, 27 (2): 151-178.

- Cornick, S. Lacasse, M.A.. 2005. *A review of climate loads relevant to assessing the watertightness performance of walls, windows and wall-window interfaces*. Journal of ASTM International, 2 (10): 1-16.
- England and Wales. 2004. *The Building regulations 2000. Site preparation and resistance to contaminants and moisture. Approved Document C. 2004 Edition*.
- England and Wales. 2010. *Statutory Instruments 2010. No. 2214. The Building Regulations 2010. Building and Buildings, England and Wales*.
- España. 1977. *Real Decreto 1650/1977 del Ministerio de la Vivienda, de 10 de Junio, sobre Normativa de la Edificación*.
- España. 1999. *Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación*.
- España. 2006. *Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*.
- España. 2007. *Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*.
- España. 2008. *Real Decreto 1675/2008, de 17 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el Documento Básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*.
- España. 2010. *Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad*.
- Gavira, M.J.; Linares, M.P. 2005. *Comportamiento higrotérmico de la envolvente del edificio según el CTE. Análisis de las condensaciones mediante el cálculo de la humedad relativa interior. Soluciones alternativas: sistemas de ventilación por caudal variable*. Madrid, SPA: Actas de las 1ª Jornadas de Investigación en construcción: 739-756.
- Giarna, C. Aravantinos, D. 2011. *Estimation of building components' exposure to moisture in Greece based on wind, rainfall and other climatic data*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic, 99: 91–102.
- Glaser, H. 1959. *Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgänge*. Kalfetechnik, 10: 345-349.
- Gumbel, E.J. 1958. *Statistics of extremes*. Columbia University Press, New York.
- Hispalyt. 2008. *Catálogo de soluciones cerámicas para el cumplimiento del código técnico de la edificación*. Madrid, ESP: Hispalyt. Asociación española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida. M-41050-2008.
- IETcc. 2010. *Catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación. Versión preliminar marzo 2010*. <www.codigotecnico.org/web/galerias/archivos/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf> [Consulta: 10 de junio de 2011]
- Kumaran, M.K. Mukhopadhyaya, P. Cornick, S.M. Lacasse, M.A. Rousseau, M. Maref, W. Nofal, M. Quirt, J.D. Dalgliesh, W.A. 2003. *An Integrated methodology to develop moisture management strategies for exterior wall systems*. Vancouver, CAN: Proceedings of the 9th Canadian Conference on Building Science and Technology: 45-62.
- Linares, M.P., Tenorio, J.A. 2009. *La salubridad en el CTE*. 2009. Revista Conarquitectura, 32: 81-88.

- Maiztegui, A. Astudillo, J. 2006. *Los materiales cerámicos ante el reto del código técnico de la edificación*. Conarquitectura, 18: 81-88.
- Ministerio de Fomento. 1999. *Máximas lluvias diarias en la España peninsular*. Madrid, SPA: Dirección General de Carreteras. Serie monografías.
- Ministerio de Fomento. 2010. *Catálogo de elementos constructivos del CTE. V2.0. Actualización: diciembre 2010. Aplicación informática en base de datos formato FIDE*. <<http://www.elementosconstructivos.codigotecnico.org/>> (Consulta 10 de febrero de 2011).
- Mukhopadhyaya, P. Kumaran, K. Tariku, F. van Reenen, D. 2003. *Long-Term Performance Predict the Moisture Management Performance of Wall Systems as a Function of Climate, Material Properties, etc. Through Mathematical Modelling*. National Research Council Canada. Final report from task 7 of MEWS project. IRC-RR-132.
- Pérez, J.C. 2011. *Formulación de un método de evaluación del riesgo en caso de incendio en el marco del Código Técnico de la Edificación*. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.
- Pérez-Bella, J.M. Domínguez-Hernández, J. Rodríguez-Soria, B. Del Coz-Díaz, J.J. Cano-Suñén, E. 2012. *Estimation of the exposure of buildings to driving rain in Spain from daily wind and rain data*. Building and Environment. (doi:10.1016/j.buildenv.2012.05.010)
- Pérez-Bella, J.M. Domínguez-Hernández, J. Rodríguez-Soria, B. Del Coz-Díaz, J.J. Cano-Suñén, E. 2012. *Optimised method for estimating directional driving rain from synoptic observation data. Validation at four Spanish locations*. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics. Submitted for publication.
- Picard, A. et al. 2008. *Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007)*. Metrología, 45: 149-155.
- Rodríguez, B. 2011. *Planteamiento de mejoras normativas en la eficiencia energética, la calidad del aire interior y el confort térmico en edificaciones residenciales en bloque*. J. Domínguez (director). Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Zaragoza.
- Rodríguez, B. Pérez, J.M. Domínguez J. Cano, E. Del Coz, J.J. 2012. *Calidad de aire interior y eficiencia energética. Posibilidades de mejora detectadas en el Código Técnico de la Edificación*. DYNA Ingeniería e Industria, 87(1): 74-79.
- Rydock, J.P. Lisø, K.R. Eirik, B.D. Førlandc, J. Norea, K. Thue, J.V. 2005. *A driving rain exposure index for Norway*. Building and Environment, 40: 1450-1458.
- Sahal, N. Lacasse, M. 2008. *Proposed method for calculating water penetration test parameters of wall assemblies as applied to Istanbul, Turkey*. Building and Environment, 43: 1250-1260.
- Sanders, C. 2004. *Comparison of the 'British Standard' and 'French' methods for estimating driving rain impacts on walls*. Glasgow, GBR: IEA Annex 41.
- Scotland. 2010. *The Technical Handbooks*. The Scottish Government.
- Serra, J. 2005. *La investigación prenormativa en el marco del Código Técnico de la Edificación*. Revista de Obras Públicas, 3457: 63-70
- Serra, J. 2007. *La innovación en el Código Técnico de la Edificación*. Madrid, SPA: Seminario CEMCO 2007.
- Straube, J.F., Burnett E.F.P., 2000. *Simplified prediction of driving rain on buildings*. Proc. of the International Building Physics Conf., Eindhoven, The Netherlands 18-21 September 2000, 375-382.
- USA. 2009. *International Building Code (IBC)*. International Code Council.

WMO, 2010. *Manual de Claves. Claves Internacional. Volumen I.1. Claves alfanuméricas*. Ginebra, SUI: Organización Meteorológica Mundial. ISBN 978-92-63-30306-6

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla III.1	Estrategias de cumplimiento de las exigencias básicas en algunos Documentos Básicos del CTE.	Pág. III.-12
Tabla III.2	Parámetros utilizados en algunos métodos de verificación utilizados por el CTE.	Pág. III.-15
Tabla III.3	Disparidad de criterios en la consideración de los parámetros que definen la exigencia de protección frente a la humedad.	Pág. III.-28
Tabla III.4	Rango de presión estática de viento asociado a la exposición.	Pág. III.-45
Tabla III.5	Como se aprecia, cuanto menor es el intervalo de duración considerado para la exposición (año – día – hora), menores son las diferencias de intensidad pluviométrica que se dan y por lo tanto menores las diferencias de sollicitación puntual sobre la fachada.	Pág. III.-81
Tabla III.6	Cuadro resumen comparativo de parámetros generales del marco normativo escocés y español.	Pág. III.-90
Tabla III.7	Cuadro resumen comparativo de parámetros generales del marco normativo inglés y español.	Pág. III.-91
Tabla III.8	Cuadro resumen de diferencias en exigencias normativa inglesa y española.	Pág. III.-93
Tabla III.9	Cuadro resumen ámbitos de acción de la normativa escocesa.	Pág. III.-93
Tabla III.10	Principales diferencias respecto a la normativa inglesa y galesa.	Pág. III.-100
Tabla III.11	Principales diferencias respecto a la normativa escocesa.	Pág. III.-100
Tabla III.12	Cuadro resumen comparativo de parámetros generales del marco normativo estadounidense y español.	Pág. III.-104
Tabla III.13	Cuadro resumen de los ámbitos de acción de la normativa estadounidense.	Pág. III.-107
Tabla III.14	Comparación en las exigencias normativas.	Pág. III.-111
Tabla III.15	Cuadro resumen comparativo de parámetros generales del marco normativo canadiense y español.	Pág. III.-113
Tabla III.16	Cuadro resumen de los ámbitos de acción de la normativa canadiense.	Pág. III.-114
Tabla III.17	Comparación en las exigencias normativas.	Pág. III.-121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura III.1	Organización metodológica similar entre los códigos prestacionales nórdicos (izq.) y australiano (der.). En ambos se identifican objetivos y exigencias y los mecanismos para satisfacerlos. Fuente: Serra, 2007.	Pág. III.-6
--------------	---	--------------------

Figura III.2	Similares organizaciones metodológicas, pueden encontrarse igualmente en códigos norteamericanos (izq.) y británicos (der.), legitimando la uniformidad internacional del enfoque. Fuente: Serra, 2007.	Pág. III-7
Figura III.3.-	Organización metodológica del CTE. Jornada sobre el DB-HR y las herramientas complementarias de ayuda a su aplicación. José Antonio Tenorio Ríos. Madrid, 18 de junio de 2009.	Pág. III-9
Figura III.4	Patrón metodológico de los métodos de verificación recogidos en el CTE.	Pág. III-13
Figura III.5	Patrón metodológico del método de verificación frente a la existencia de condensaciones por flujo de vapor HE1.	Pág. III-14
Figura III.6	Grado de impermeabilidad mínimo exigido a los muros.	Pág. III-25
Figura III.7	Grado de impermeabilidad mínimo exigido a los suelos.	Pág. III-26
Figura III.8	Zonas pluviométricas de promedios en función del índice pluviométrico anual (izq.) y zonas eólicas (der.). Fuente: CTE, 2006.	Pág. III-26
Figura III.9	Grado de exposición al viento.	Pág. III-27
Figura III.10	Grado de impermeabilidad mínimo exigido a las fachadas.	Pág. III-28
Figura III.11	Condiciones de las soluciones de muro.	Pág. III-30
Figura III.12	Condiciones de las soluciones de suelo.	Pág. III-32
Figura III.13	Condiciones de las soluciones de fachada.	Pág. III-34
Figura III.14	Organización del sistema de soluciones aceptadas DB-HS 1 para fachadas.	Pág. III-35
Figura III.15	Ejemplos de fachada no opacas, que pueden ser en virtud de la norma, clasificadas como muy resistentes a la filtración de agua. (R3).	Pág. III-40
Figura III.16	Corrección de la velocidad en función del periodo de servicio.	Pág. III-43
Figura III.17	Coefficientes para el tipo de entorno.	Pág. III-44
Figura III.18	Valores tabulados del coeficiente de exposición c_e .	Pág. III-44
Figura III.19	Condiciones de las soluciones de fachada.	Pág. III-47
Figura III.20	Datos climáticos mensuales de capitales de provincia, que también serán utilizados a lo largo del capítulo VI.	Pág. III-51
Figura III.21	Factor de temperatura de la superficie interior mínimo.	Pág. III-52
Figura III.22	Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica para evitar descompensaciones en la calidad térmica.	Pág. III-55
Figura III.23	Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire. Arriba: Cerramientos exteriores / Abajo: Particiones interiores.	Pág. III-57
Figura III.24	Distribución de P_v y P_{SAT} en un cerramiento multicapa, sin existencia de condensaciones para las condiciones ambientales del mes considerado.	Pág. III-58
Figura III.25	Gráficamente, en el punto de condensación la línea de P_v se modifica condicionada por la P_{SAT} en el punto de condensación.	Pág. III-59
Figura III.26	Gráficamente, en los puntos de condensación la línea de P_v se modifica condicionada por la P_{SAT} en dichos puntos.	Pág. III-59
Figura III.27	Gráficamente en el punto de evaporación, la línea de P_v se modifica hasta alcanzar de partida, la P_{SAT} en el punto.	Pág. III-60

- Figura III.28 Los efectos de condensación evaporación, pueden combinarse en diferentes puntos de un mismo cerramiento, resolviendo según los criterios expuestos. **Pág. III.-60**
- Figura III.29 Errónea definición de ángulos utilizada por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 (izq.) y variación necesaria de la definición del ángulo Θ para dotar de coherencia matemática a la expresión. **Pág. III.-67**
- Figura III.30 Muestra de periodo de humedecimiento tipo. Fuente: AENOR, 2011. **Pág. III.-68**
- Figura III.31 Extracto de la norma UNE-EN 15927-3:2011 **Pág. III.-69**
- Figura III.32 Mapa de zonificación correspondiente al R.U. para la magnitud de lluvia batiente máxima, incluyendo coeficiente locales (mm/periodo). No se incluye distinción direccional. Fuente: Approved Document C, 2011. **Pág. III.-70**
- Figura III.33 Mapa de rosa de valores de lluvia batiente. Fuente: AENOR, 2011. **Pág. III.-71**
- Figura III.34 Elaboración de la progresión de la sollicitación por el método cualitativo. Fuente: Sanders, 2004. **Pág. III.-72**
- Figura III.35 Comparación entre los valores de ambos métodos de caracterización de la sollicitación, para tres ciudades de Reino Unido. Fuente: AENOR, 2011. **Pág. III.-73**
- Figura III.36 Procedimiento de ensayo recogido por UNE-EN 12865:2001, indicando los intervalos de presión a aplicar durante el desarrollo del ensayo, que puede prolongarse varias horas y los impulsos de presión establecidos en cada intervalo. **Pág. III.-76**
- Figura III.37 Probetas de ensayo desarrolladas por el Instituto Valenciano de la Edificación en el marco de la investigación prenortativa previa a la publicación del CTE, mediante UNE-EN 12865:2001 (www.five.es). **Pág. III.-77**
- Figura III.38 Comparación de la determinación del grado de impermeabilidad de las soluciones, establecida para las soluciones aceptadas por CTE y la caracterización sustitutiva al método de verificación propuesta mediante ensayo normalizado. **Pág. III.-80**
- Figura III.39 Resultados de ensayo para cerramientos de bloque cerámico de 24 cm (C2) y revestimiento exterior de resistencia media la filtración (R1). Mientras que esta solución alcanza por CTE, un grado de impermeabilidad 3, por el criterio referido antes alcanzaría un valor de 5, dado que la presión de 1050 Pa, corresponde a una presión de diseño elevadísima. Fuente: Maiztegui y Astudillo, 2006. **Pág. III.-82**
- Figura III.40 A ambas soluciones se les asigna un G.I. (3 y 2 respectivamente), que no se corresponde con la caracterización por CTE de sus soluciones B3+C1 y R3+C1 (5 y 5 respectivamente). Fuente: IETcc, 2010. **Pág. III.-84**
- Figura III.41 Escalones de presión y duración de los mismos para alcanzar la clasificación requerida, para una lámina de agua constante en la superficie del cerramiento. La presión máxima alcanzada 150, 300, 450, 600 Pa, determina la clasificación de la estanqueidad de la fachada ligera. **Pág. III.-86**
- Figura III.42 Disposición recomendada de la parrilla de boquillas para la impulsión de agua sobre el cerramiento (izq.) y ejemplo de sección representativa de fachada para la determinación del tamaño de la probeta de ensayo. **Pág. III.-87**
- Figura III.43 Diferencias organizativas entre la normativa inglesa y española. **Pág. III.-94**
- Figura III.44 Diferencias en estructura organizativa de normativa escocesa y española. Cualquier solución alternativa debe ser previamente evaluada y homologada por el ente legislador. **Pág. III.-95**

- Figura III.45 Limitación de la zona de exposición máxima recomendada para diferentes variantes de soluciones con aislamiento en el interior de la cámara del cerramiento. **Pág. III.-97**
- Figura III.46 Ejemplo de diferentes soluciones aceptadas por la normativa escocesa, sin equivalencia en DB-HS1 español. **Pág. III.-99**
- Figura III.47 Representación de magnitud de índice “wind driving rain” de la suma de valores mensuales (eje y) y total anual en base a valores medios anuales (eje x), para diferentes ciudades de la India y representación de la relación entre ambos parámetros. Fuente: Chand y Bhargava, 2002. **Pág. III.-102**
- Figura III.48 Diferencias en estructura organizativa de normativa estadounidense y española. **Pág. III.-108**
- Figura III.49 Ejemplo de diferentes soluciones aceptadas sin equivalencia en DB-HS1. Características exigidas para los materiales utilizados en el revestimiento exterior de fachadas. **Pág. III.-110**
- Figura III.50 Diferencias en estructura organizativa de normativa canadiense y española. **Pág. III.-115**
- Figura III.51 Comparación del resultado del coeficiente de humedecimiento (WI), calculado mediante precipitaciones anuales (WI_1) y mediante valores de lluvia batiente sobre el cerramiento (WI_2), para diferentes poblaciones griegas. Puede apreciarse la disparidad de resultados obtenida en la obtención del Moisture Index (MI_1 y MI_2). Fuente: Giarma y Aravantinos, 2011. **Pág. III.-117**
- Figura III.52 Zonificación establecida por Scheffer en 1971 (izq.) y comparación con la establecida por Cornick y Dalgliesh en base al Moisture Index expuesto (der). El grado de solicitud varía en función de los parámetros considerados, pero ninguno cuantifica analíticamente la magnitud de esa solicitud. **Pág. III.-118**
- Figura III.53 Ejemplo de diferentes condiciones asignadas para diferentes tipos de revestimiento, sin equivalencia en DB-HS1. **Pág. III.-120**
- Figura III.54 Relación R_{ext} / R_{int} que es necesario superar para evitar condensaciones en el cerramiento, a partir de los grados día de calefacción asociados a cada emplazamiento. **Pág. III.-121**
- Figura III.55 Protocolo propuesto por Cornick y Lacasse basado en niveles de solicitud para su ajuste normativo en Canadá (izq.), similar en su patrón al registrado por el CTE para la estimación del grado de impermeabilidad necesario en la solución de cerramiento (der.). **Pág. III.-122**
- Figura III.56 Caracterización de la idoneidad de diferentes tipos de muro, tomando como parámetro el índice RHT en varias localidades, realizada por Kumaran y otros autores. La necesidad de recurrir a programas de cálculo numérico reduce su aplicabilidad en la labor diaria del diseñador o proyectista. **Pág. III.-123**

CAPÍTULO IV

PARAMETRIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LA HUMEDAD EN CERRAMIENTOS VERTICALES

IV.1.- Introducción	IV.-2
IV.2.- Bases de partida y campo de aplicación de la parametrización	IV.-5
IV.2.1.- Datos climáticos utilizados	IV.-6
IV.2.2.- Ámbito de aplicación de los resultados obtenidos	IV.-12
IV.2.3.- Limitaciones asociadas a la parametrización	IV.-14
IV.3.- Parametrización de la exposición	IV.-19
IV.3.1.- Metodología y formulación	IV.-22
IV.4.- Presentación y utilización de los resultados	IV.-45
IV.4.1.- Elaboración de documentación gráfica	IV.-50
IV.5.- Ampliación y generalización de la parametrización	IV.-64
IV.5.1.- Validación de los resultados obtenidos	IV.-64
IV.5.2.- Aproximación a valores de exposición locales	IV.-83
IV.5.3.- Aproximación a índices direccionales de exposición	IV.-85
IV.5.4.- Ampliación de los resultados a otros emplazamientos	IV.-98
IV.5.5.- Resumen general de la parametrización generalizada	IV.-109
IV.5.6.- Convergencia entre diferentes indicadores de exposición	IV.-110
IV.5.7.- Propuesta de índice integrado de riesgo de penetración de agua	IV.-122
IV.6.- Comentario a los resultados obtenidos	IV.-147
IV.7.- Bibliografía y apéndices	IV.-152

IV.1.- INTRODUCCIÓN

El comportamiento higrotérmico de los cerramientos depende de una larga lista de factores, entre los que las acciones climáticas juegan un papel muy relevante. La lluvia, humedad relativa, viento, temperatura... están detrás de los mecanismos que posibilitan el almacenamiento de agua en los materiales de fachada, la aparición de condensaciones indeseadas y a la postre, la ocurrencia de penetraciones indebidas de agua al interior del edificio.

Caracterizar la influencia de estos parámetros en la sollicitación por humedad en el cerramiento es un paso previo indispensable para el desarrollo de técnicas y procedimientos de verificación que permitan establecer diseños óptimos del cerramiento en relación a las diferentes sollicitaciones identificadas (penetración de agua, higrotérmicas, acústicas, constructivas, estéticas...). Esta caracterización no obstante ha de ser certera, rigurosa y científica, obviando aproximaciones subjetivas no relacionadas físicamente con los parámetros que definen la exposición.

Es por ello, que dentro del ámbito de la protección frente a la humedad, la estimación de la exposición de los cerramientos de un edificio a las acciones climáticas de humedecimiento, a través del conocimiento de las condiciones atmosféricas específicas de su emplazamiento, se considera una valiosa herramienta para un diseño más óptimo de los cerramientos en un edificio.

Sin embargo, en el anterior capítulo se han analizado las debilidades inherentes al procedimiento de determinación de la exposición recogido por el Código Técnico de la Edificación, que dan lugar a exposiciones al viento y grados de impermeabilidad no unívocos, subjetivos y carentes de rigor científico.

Partiendo de la necesidad de mejorar esta estimación de la exposición se elabora el presente apartado, que utilizando metodologías y procedimientos aceptados en el contexto internacional, establece diferentes cuantificaciones prestacionales de la sollicitación por humedad en cerramientos edificatorios españoles, en base a su situación geográfica.

El análisis representa un estudio pionero en nuestro país, al establecer una estimación objetiva, cualitativa, realista y unívoca de la cantidad máxima de agua incidente (lluvia batiente) que se espera incida sobre un cerramiento vertical, para una localización geográfica concreta. La normativa española recurre en su defecto en la actualidad a aplicar parámetros aproximados, difícilmente objetivables.

Esta sollicitación por lluvia batiente sobre la edificación, se determina en función del emplazamiento de la edificación, del periodo de exposición al humedecimiento por lluvia, de la pluviometría, del viento simultáneo a la precipitación y del periodo de retorno adoptado para la situación planteada.

La posibilidad de determinar la cantidad de agua y presión eólica simultánea que se espera incida sobre un cerramiento, para una duración determinada el evento atmosférico, considerando para ello diferentes periodos de retorno de posible interés,

constituye por lo tanto un salto cualitativo de gran importancia respecto a la estimación actualmente vigente.

Los cálculos y procedimientos utilizados para la obtención de los resultados e exposición, se han basado en metodologías estandarizadas utilizadas ya en nuestro entorno y que parten de los trabajos iniciados por Lacy y Shellard (1962) en Reino Unido. Así, se ha utilizado como referencia la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 (AENOR, 2011), analizada en el capítulo anterior y recientemente publicada en nuestro país, que parte de los mismos principios científicos para determinar la exposición en los cerramientos.

Como punto de partida para esta estimación se han utilizado numerosas las series históricas de datos climáticos puestas a disposición del público por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) desde noviembre de 2010, incluyendo una amplia selección de las estaciones españolas más representativas, siempre con más de 30 años de antigüedad en los datos proporcionados.

Estos datos, algunos remontándose a 1920 (aunque no se consideran para este estudio datos de antigüedad superior a 50 años), corresponden a estaciones manuales operadas por personal de la Agencia Estatal de Meteorología y permiten obtener datos históricos de gran consistencia para el cálculo de la exposición, partiendo de mediciones diarias de precipitación, viento, temperatura y presión atmosférica.

La naturaleza no horaria de estos datos, ha definido la necesidad de definir procedimientos de estimación originales y alternativos de la exposición, que permitieran adaptar los procedimientos vigentes internacionalmente a las particularidades de los datos climáticos disponibles en nuestro país.

Esta caracterización, basada en datos diarios, representa una mejora sustancial a las estimaciones de la exposición desarrolladas en otros países, que utilizan habitualmente datos climáticos promedio recabados mensual o incluso anualmente (salvo en el Reino Unido, donde los datos utilizados son horarios).

Aunque la precisión de las estimaciones de exposición obtenidos en base a este intervalo diario de datos climáticos, sigue siendo inferior a las existentes en el ámbito británico (caracterizadas por datos horarios tal y como la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 sugiere), se definen mecanismos alternativos de estimación que permiten determinar la exposición con una precisión similar a la ofrecida por los datos horarios y que constituyen igualmente aportes de relevancia en el ámbito internacional de la materia abordada.

Los resultados de exposición obtenidos y las metodologías utilizadas para su obtención, dotan al investigador de una caracterización técnica y rigurosa por medio de la cual determinar objetivamente la exposición en sus trabajos y simulaciones. Igualmente, proporciona al técnico legislador una herramienta con la que caracterizar prestacionalmente la exigencia por humedad esperable sobre cerramientos en cualquier punto del territorio español.

El análisis riguroso de los datos climáticos realizado en este apartado, permitirá igualmente abordar la tarea de diseñar procedimientos que permitan en base a un criterio de prestación inequívoco, comparar los resultados obtenidos en los ensayos de estanqueidad con la garantía de estanqueidad ofrecida por el cerramiento en cualquier condición de servicio. Esta tarea, no obstante, se abordará posteriormente en el capítulo V.

En consecuencia, se presenta y desarrolla en este capítulo una investigación prenortativa de carácter básico y fundamental, basada en procedimientos y métodos ya definidos previamente, que han debido ser adecuadamente adaptados o redefinidos para su utilización con los datos climáticos disponibles, facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología y que a la postre permiten determinar con objetividad y precisión la exposición a la penetración de agua realmente existente sobre los cerramientos edificatorios de una amplia variedad de emplazamientos en nuestro país.

IV.2.- BASES DE PARTIDA Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LA PARAMETRIZACIÓN

En España el primer paso para regular la protección frente a la humedad en cerramientos y consecuentemente para estimar adecuadamente la sollicitación por humedad se abordó con la publicación del Código Técnico de la Edificación en el año 2006 (España, 2006) y el desarrollo asociado de una parte específica del Documento Básico de Salubridad, destinada a la protección frente a la humedad.

La publicación de dicho documento adoptó una estructura similar a la de otros códigos de su entorno internacional, (resulta muy similar al británico Approved Document C), pero a diferencia de éste, no aborda la tarea de establecer una sollicitación prestacional para la humedad sobre fachada, resolviéndose esta estimación mediante una somera aproximación estimativa, poco prestacional y escasamente objetiva y rigurosa (véase capítulo III).

El presente estudio viene a paliar esta situación, empleando los datos climatológicos que hacen posible estimar la sollicitación en base a una adaptación de la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, acercando así el desarrollo español en la materia al existente en otros países de nuestro entorno. Adaptaciones similares se vienen realizando igualmente en otros países, ante la carencia de los datos climáticos horarios precisados por la norma:

Ejemplos de estos estudios, lo constituyen las investigaciones de Hoppestad (1955), Jelle (2003), Lisø o Rydock (2005) en Noruega, bajo el amparo del Instituto Noruego de Investigación en Construcción o de Giarma y Aravantinos (2011) en la Universidad de Tesalónica.

Fuera del ámbito europeo, otros equipos vienen desarrollando una tarea investigadora en la misma dirección, como demuestra el trabajo elaborado por Chand y Bhargava (2002) para el ámbito del subcontinente indio (Central Building Research Institute) y por Sauer (1987) en China o por el NRCC (National Research Council Canada) a través de los estudios de Kumaran (2003), Cornick y Lacasse (2005) y Cornick y Dalgliesh (2002), entre muchos otros.

En todos estos estudios se alterna la utilización de metodologías direccionales tomadas directamente del anterior estándar europeo (derivado de la normativa británica), con el uso de metodologías escalares adaptadas de las anteriores, como es el caso de las investigaciones de Chand, Bhargava y Sauer acerca del índice DRI o driving rain index. También se han desarrollado indicadores de sollicitación propios y diferenciados, como el concepto de “Moisture Index”, elaborado por el proyecto MEWS (Moisture Management for Exterior Wall Systems) (Cornick y Dalgliesh, 2003), en Canadá y ya presentado en el capítulo III.

En esta línea de adaptación normativa se presenta el siguiente trabajo, que pretende servir como complemento y mejora de lo actualmente recogido por el CTE en su Documento Básico HS1, Protección frente a la humedad, elaborando indicadores de exposición específicamente adaptados para la disponibilidad de datos climáticos española y que no obstante, pueden ser igualmente extrapolados a otros países y ámbitos internacionales.

El uso de procedimientos establecidos con anterioridad en otros países y especialmente en el ámbito europeo para el cálculo de la exposición por humedad, posibilita que se obtengan resultados comunes a otros estudios e investigaciones desarrolladas a nivel mundial, lo que permite con las adecuadas cautelas, la comparación con solicitaciones y soluciones constructivas asociadas a otros países.

Estos procedimientos y parámetros comunes de análisis siguen la línea de la metodología WDR (Wind Driving Rain), ya expuesta en los capítulos II y III de este trabajo y que se basa en la estimación de la lluvia incidente sobre el cerramiento vertical a partir de datos meteorológicos de lluvia y viento simultáneos.

Ejemplo de estas metodologías de aproximación WDR es la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, “Comportamiento higrotérmico de edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 3: Cálculo de un índice de lluvia para superficies verticales a partir de datos horarios de viento y lluvia”, publicada en nuestro país recientemente (septiembre de 2011), que a su vez deriva del estándar europeo previo ISO 15927-3:2009 y de la precedente norma británica BS 8104:1992 “Code of practice for assessing exposure of walls to wind-driven rain”.

Esta norma, que permite obtener resultados direccionales de exposición, necesita de datos más elaborados y precisos que otras aproximaciones alternativas de carácter escalar, como el índice DRI (véase el capítulo II), pero consecuentemente también proporcionan mayor precisión en sus resultados.

La norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, establece como requisito para la estimación de caracterizaciones direccionales, el uso de datos climáticos recopilados en intervalos de medición horarios. No obstante, esta especificación no se ajusta a los datos climáticos habitualmente disponibles en la mayoría de los países (salvo en Reino Unido), por lo que será necesario realizar ciertas adaptaciones y simplificaciones que se irán presentado más adelante.

IV.2.1.- DATOS CLIMÁTICOS UTILIZADOS

La metodología de cálculo a emplear (escalar o vectorial) y la precisión de los resultados obtenidos en cada país, depende directamente de la disponibilidad de datos climatológicos. Obviamente una mayor precisión y sofisticación en el cálculo, precisa de mayor volumen y precisión de los registros climatológicos utilizados, así como una mayor antigüedad (y por lo tanto representatividad) de la serie histórica de datos.

En la actualidad, la mayoría de las estaciones meteorológicas de los países desarrollados ofrecen datos que permiten la aplicación de procedimientos de cálculo direccionales como los indicados en la norma mencionada, si bien en muchos de ellos, la disponibilidad de estos datos no se remonta lo suficiente en el tiempo como para poder establecer tendencias con una adecuada representatividad o en caso de existir, solo se poseen para un número muy concreto y por lo tanto poco representativo de estaciones.

En nuestro país, las estaciones automáticas (EMAs), capaces de ofrecer datos en tiempo real de gran número de variables meteorológicas, iniciaron su implantación en la última década del siglo pasado, abriéndose paso rápidamente. En la actualidad, AEMET cuenta con un número mayoritario de estaciones automáticas (más de 700), capaces de registrar datos de forma automatizada y generar registros diezminutales y horarios.



Figura IV.1.- Distribución de estaciones en la red sinóptica de superficie de la AEMET, con una creciente predominancia y cobertura de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs). Hasta el año 2009, el número de EMAs alcanzaba 550, pasando a 700 solo dos años después. Fuente: Riosalido, 2009.

Por su reciente implantación la antigüedad de las series históricas disponibles en las mismas, se remonta a poco más de una década, lo que se considera insuficiente para establecer adecuadas estimaciones basadas en periodos de retorno elevados. Estos datos empezarán no obstante a ser de utilidad en los próximos lustros.

La especificidad de los parámetros a analizar (lluvia batiente sobre superficie vertical, presión eólica simultánea a la precipitación registrada y duración de los periodos de humedecimiento sobre el cerramiento...), obliga también a desechar otros datos climáticos ya disponibles y empleados para otros análisis normativos. Es por lo tanto necesario buscar nuevos datos climáticos específicamente relacionados con las magnitudes que se pretenden definir.

Así por ejemplo, la presión eólica estimada por el CTE para el diseño de estructuras en su Documento Básico SE-AE, representa rachas máximas detectadas para un periodo de retorno establecido, mientras que los datos eólicos utilizados en este trabajo hacen referencia únicamente a episodios de viento producidos de forma simultánea a la lluvia, muy inferiores en magnitud y por lo tanto no extrapolables a partir de los primeros.

Ello ha obligado a trabajar desde cero con las magnitudes meteorológicas analizadas, para a partir de los datos climáticos disponibles, alcanzar de este modo resultados novedosos en nuestro país. Como resultado, la caracterización de la sollicitación obtenida es capaz de complementar y sustituir a la actual definición normativa de la exposición a la humedad atmosférica.

Para la determinación de la exposición se ha realizado un minucioso análisis de los datos diarios referidos a temperatura media, velocidad media del viento, precipitación pluviométrica y rangos de presión máxima y mínima, lo que permitirá estudiar los tres aspectos fundamentales de relevancia para la caracterización de la solicitación por humedad en cerramientos edificatorios: lluvia batiente, presión eólica y duración de la exposición.

Para ello se ha recurrido a los datos diarios puestos a disposición del público por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), correspondientes a una selección de 114 estaciones meteorológicas repartidas por el territorio nacional. Sin embargo, solo 80 de estas estaciones han sido seleccionadas para la realización del presente trabajo. Todas ellas contienen series cuya antigüedad se remonta en todo caso a más de 30 años.

No obstante, a pesar de su adecuada antigüedad, la precisión de estos datos es mejorable, al tratarse de mediciones diarias, no horarias, diezminutales o minutales. Estos datos sin embargo, no se encuentran disponibles con una antigüedad ni representatividad similar a los datos diarios.

El listado completo de estaciones meteorológicas principales incluido en el estudio, junto con su indicador, localización, altura y antigüedad de la serie histórica utilizada, se presenta en la tabla mostrada a continuación:

*Tabla IV.1.- Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio de la solicitación por humedad.
Fuente: AEMET, 2011.*

Indicativo	Localización	Latitud	Longitud	Altura [m]	Serie considerada
1387E	A CORUÑA AEROPUERTO	431825N	082220W	98	1972-1988; 1991-2011
1387	A CORUÑA	432202N	082510W	58	1962-2011
1428	SANTIAGO AEROP.	425316N	082439W	370	1962-2011
9091O	VITORIA GASTEIZ AEROP.	425219N	024400W	513	1981-2011
8175	ALBACETE/LOS LLANOS	385708N	015147W	704	1962-1963; 1966-1986; 1988-1997; 1999-2011
8019	ALICANTE AEROPUERTO	381658N	003415W	43	1968-2011
8025	ALICANTE/ALACANT	382221N	002939W	81	1962-2011
6325O	ALMERÍA AEROPUERTO	365047N	022125W	21	1969-2011
1212E	ASTURIAS AEROPUERTO	433401N	060239W	127	1969-2011
1249I	OVEDO	432116N	055222W	336	1973-2011
2444C-2444	ÁVILA	403933N	044048W	1130	1962-1981; 1989-2011
4452	BADAJOS AEROPUERTO	385300N	064945W	185	1962-2011
0076	BARCELONA AEROP.	411734N	020412E	4	1962-2011
2331	BURGOS/VILLAFRÍA	422122N	033757W	890	1962-1983; 1983-2011
2469-3469A	CÁCERES	392820N	062022W	405	1962-2011
5973	CADIZ	363004N	061524W	1	1962-1978; 1982-1985; 1987-2008
5960	JEREZ AEROP.	364502N	060321W	27	1962-2001
6001	TARIFA	360055N	053551W	32	1962-1972; 1974; 1998; 2001-2003; 2005; 2008
1109	SANTANDER AEROP.	432545N	034953W	5	1962-1974; 1978-2011
1110 - 1111	SANTANDER	432930N	034759W	52	1962-2011
8501-8500A	CASTELLÓN DE LA PLANA	395700N	000417W	35	1962-2011
5121C-4121	CIUDAD REAL	385922N	035511W	628	1962-1965; 1971-2011
5402	CÓRDOBA AEROPUERTO	375039N	045046W	90	1962-1964; 1969-1981; 1987-2011
8096	CUENCA	400400N	020817W	945	1962-1994; 1997-2011
0367	GIRONA AEROPUERTO	415442N	024548E	143	1974-2008; 2010-2011
0370B	GIRONA (ANTIC INSTITUT)	415910N	024928E	95	
5514	GRANADA BASE AÉREA	370813N	033753W	687	1962-1981; 1989-2010
3013	MOLINA DE ARAGÓN	405040N	015307W	1056	1962-1996; 1999-2006; 2008-2009
1014	SAN SEBASTIÁN AEROP.	432138N	014714W	4	1962-2011

IV. Parametrización de la exposición a la humedad en cerramientos verticales

1024E	SAN SEBASTIÁN IGUELDO	431827N	020222W	251	1962-2011
4605-4642E	HUELVA	371648N	065435W	19	1962-2011
9898	HUESCA AEROPUERTO	420500N	001935W	541	1962-1998; 2001-2005; 2007-2011
B954	EIVISSA AEROPUERTO	385235N	012304E	6	1965-1966; 1969-1970; 1972; 1975-2011
B893	MENORCA AEROPUERTO	395117N	041256E	91	1975-2011
B278	PALMA, AEROPUERTO	393339N	024412E	8	1975-2011
B228	PALMA, PUERTO	393312N	023731E	3	1978-2011
5270-5270B	JAÉN	374640N	034827W	582	1974-1983; 1990-1992; 1994-2001; 2003-2011
9170	LOGROÑO AEROPUERTO	422708N	021952W	353	1962-2011
C249I	FUERTEVENTURA AEROP.	282641N	135147W	25	1970-2011
C029O	LANZAROTE AEROP.	285707N	133601W	14	1973-2011
C649I	LAS PALMAS AEROP.	275521N	152322W	24	1962-2011
2661	LEÓN AEROPUERTO	423520N	053858W	916	1962-2011
1549	PONFERRADA	423350N	063600W	534	1962-2002; 2004-2011
9771-9771C	LLEIDA	413733N	003542E	192	1962-2011
3129	MADRID AEROPUERTO	402800N	033320W	609	1962-2011
3196	CUATRO VIENTOS	402240N	034721W	687	1962-2011
3200	MADRID/GETAFE	401800N	034321W	617	1962-2011
3195	MADRID	402443N	034041W	667	1962-2001; 2004-2011
3175	MADRID/TORREJÓN	402900N	032701W	611	1966-2011
2462	NAVACERRADA	404650N	040037W	1894	1962-2011
6155A	MÁLAGA/AEROPUERTO	364000N	042917W	7	1962-2011
6000A	MELILLA	351640N	025719W	47	1971-2011
7228	MURCIA/ALCANTARILLA	375728N	011347W	85	1962-2011
7031	SAN JAVIER AEROPUERTO	374720N	004812W	4	1962-2011
9263D	PAMPLONA AEROPUERTO	424637N	013900W	459	1976-1986; 1989-2011
1484-1484C	PONTEVEDRA	422624N	083659W	108	1964-2011
1495	VIGO AEROPUERTO	421422N	083726W	261	1962-2011
2867	SALAMANCA AEROP.	405734N	052954W	790	1962-2011
2870	SALAMANCA	405723N	053941W	775	1971-1979; 1981-1982; 1989; 1994-2011
2456A-2465	SEGOVIA	405652N	040738W	1005	1962-1985; 1989-2011
5796	MORÓN DE LA FRONTERA	370930N	053657W	87	1962-2011
5783	SEVILLA AEROPUERTO	372500N	055245W	34	1962-2011
2030	SORIA	414630N	022859W	1082	1962-2011
C929I	HIERRO AEROPUERTO	274908N	175320W	32	1974-2011
C430E	IZAÑA	281832N	162958W	2371	1962; 1965-1996; 2004; 2007-2011
C139E	LA PALMA AEROPUERTO	283759N	174518W	33	1971-2011
C449C	STA.CRUZ DE TENERIFE	282748N	161519W	35	1962-2011
C447A	TENERIFE NORTE AEROP.	282839N	161946W	632	1963; 1965-1971; 1975-2005; 2007-2011
C429I	TENERIFE SUR AEROP.	280251N	163339W	64	1981-2011
0016A	REUS AEROPUERTO	410859N	011044E	71	1962-2011
9981A	TORTOSA	404914N	002929E	44	1962-2011
3259-3260B	TOLEDO	395305N	040258W	515	1962-2011
8414A	VALENCIA AEROPUERTO	392912N	002824W	69	1966-2011
8416	VALENCIA	392850N	002159W	11	1962-2004; 2006-2011
2539	VALLAD. VILLANUBLA	414200N	045100W	846	1962-1964; 1966-2001; 2003-2011
2422	VALLADOLID	413900N	044600W	735	1974-2011
1082	BILBAO AEROPUERTO	431753N	025421W	42	1962-2011
2614	ZAMORA	413100N	054401W	656	1962-2010
9390	DAROCA	410653N	012439W	779	1962-2011
9434	ZARAGOZA AEROP.	413943N	010029W	247	1962-2011

Estas series históricas diarias, elaboradas, corregidas, digitalizadas y ordenadas por la Agencia, garantizan la fiabilidad, continuidad y precisión de las mediciones, así como una antigüedad y número de registros suficientemente representativo para garantizar el rigor de los resultados que se presentan.

El uso de mediciones sinópticas más precisas (clave SYNOP) (WMO, 2010), correspondientes a estaciones tradicionales de la agencia (registros cada 12, 6, 3 o 1 horas), se ha descartado al no haber sido estos datos corregidos, ordenados y proporcionados digitalmente para su consulta pública por AEMET, como si han sido las series históricas diarias.

Además, la variabilidad en el intervalo de medición (solo unas pocas estaciones disponen de mediciones sinópticas horarias con suficiente antigüedad) y la discontinuidad en los datos registrados (en muchos casos la totalidad de las variables solo se registran en los intervalos principales de 6 horas, anotándose solo algunas variables en los intervalos menores), llevarían a obtener mejoras en la precisión escasamente significativas sobre los datos diarios. Así por ejemplo, muchas mediciones intermedias, no registran datos de pluviometría, de especial valor en el estudio que se pretende.

Se añade a esto que aun a pesar de ser mediciones en intervalos más cortos (con frecuencia 3 ó 6 horas), estas no representan una medición continuada en dicho intervalo, sino puntual en los 10 minutos previos a la hora de medición. Por ello, los datos de las series diarias proporcionan una mejor estimación promedio de las condiciones meteorológicas, al promediar los resultados de 2, 4, 8 ó 24 mediciones puntuales diarias.

Por todo ello, este estudio presenta la caracterización de la solicitud por humedad atmosférica más fiable que puede abordarse en un gran número de emplazamientos a partir de los datos climáticos disponibles.

Otro dato de partida utilizado ha sido el promedio de humedad relativa establecido por el Atlas Nacional de España en el ámbito de cada estación climatológica previamente indicada. Este Atlas ha sido elaborado por el Ministerio de Fomento y el Instituto Geográfico Nacional y se deriva igualmente de estudios climatológicos gestionados por la propia AEMET.

A través de este dato se ha adaptado el método alternativo de carácter cualitativo recogido por la norma UNE-EN 15927-3:2011 (véase el capítulo III), para estimar la duración de los periodos de humedecimiento de referencia en cada uno de los emplazamientos y obtener así otro parámetro caracterizador de la solicitud por lluvia batiente.

El emplazamiento original de alguna de las estaciones meteorológicas recogidas en la tabla IV.1 se ha visto modificado a lo largo de los últimos 50 años debido al crecimiento gradual de las ciudades en este periodo y la consiguiente afección a las condiciones controladas de medición, por lo que en esos casos, las series corresponden a emplazamientos cercanos, pero no idénticos.

En tales casos, la propia AEMET recomienda considerar la serie actual como continuación de la precedente, por lo que en este trabajo se han combinado los resultados registrados en ambas estaciones climatológicas. En consecuencia, la estación se ha considerado como única, indicándose en la ficha de resultados correspondiente, tal circunstancia (anexo A.1).

En la mayoría de las ocasiones, la disponibilidad de datos de lluvia y viento medidos en el mismo intervalo y de especial importancia para este estudio, no se alcanza hasta fechas incluso superiores a 1962. Debido a estas limitaciones en la disponibilidad de datos, el estudio se restringe a la utilización de series anuales correspondientes a los últimos 50 años (1962-2012), considerándose este periodo suficientemente elevado para garantizar la representatividad de los resultados obtenidos.

Hemos de recordar que la propia norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, estima la necesidad de utilizar series anuales de más de 10 años (preferentemente 20 ó 30) y que el propio CTE, utiliza en varios de sus Documentos Básicos datos referentes a series históricas de no más de 30 años.

Para aquellas estaciones con datos referidos a una serie anual inferior a la adoptada por defecto (1962-2012), se utiliza la serie disponible, indicando tal hecho en su ficha de resultados correspondiente. Como se verá más adelante, esto provoca una menor estabilidad en el análisis probabilístico asociado al cálculo de periodos de retorno, si bien en cualquier caso, toda serie anual utilizada alcanza una antigüedad superior a los 30 años y por lo tanto queda dentro del rango aceptado por la norma.

En aquellos casos en los que la serie de datos se interrumpe de forma continuada durante un número determinado de años, para retomarse con posterioridad, tal circunstancia ha sido también indicada en las hojas de resultados del anejo A.1.

Los datos diarios registrados por las estaciones meteorológicas, en ocasiones tampoco aportan datos relativos a los fenómenos precisados en este estudio, por carencias en el equipamiento de la propia estación. Estas carencias en los datos publicados por AEMET, (ausencia de mediciones de velocidad media de viento o de precipitación diaria), ha sido causa de la no utilización de los datos correspondientes a dicha estación.

Del mismo modo, algunas series de datos meteorológicos utilizadas carecen puntualmente de datos correspondientes a varios días o semanas, debido a averías, operaciones de mantenimiento y actualización, problemas en la transmisión de mediciones...

Ante tal circunstancia, se han desechado aquellas estaciones con una carencia de más del 2,5% de las entradas diarias de datos de viento o lluvia esperables en el periodo comprendido entre 1962 y 2011 (de un total de 36.524 datos). De esta forma es posible garantizar la adecuada representatividad en las series utilizadas (representativas en un 97,5% como mínimo de la climatología real del emplazamiento a lo largo del emplazamiento analizado).

Igualmente, se han descartado años concretos con una elevada concentración de ausencia de datos, evitando así la aparición de máximos anuales en las magnitudes no representativas, que pudieran comprometer la validez de los datos estadísticos que se derivan del estudio.

Por último, dado que los datos proporcionados por AEMET a este respecto no incluyen el registro de la dirección del viento es imposible realizar aproximaciones vectoriales tal y como exige la norma UNE mencionada. En consecuencia, la naturaleza escalar de las magnitudes presentadas, implica que los resultados presentados no pueden ser asociados estrictamente con la cantidad de agua incidente sobre cada cerramiento

concreto, sino con la magnitud total de agua batiente que recibirá el edificio en todos sus cerramientos de diferente orientación.

Se obtienen así aproximaciones escalares a dichos valores, menos precisas, pero igualmente representativas y caracterizadoras. Todo ello da como resultado una caracterización de la solicitación, que representa un importante salto cualitativo en el ámbito de nuestro país.

A pesar de que la precisión de los resultados no resulta óptima de acuerdo a las metodologías de cálculo más novedosas por su carácter escalar y por la utilización de datos diarios, los resultados se han adaptado en la medida de lo posible a las mismas, utilizando la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 como referencia.

La convergencia de estos resultados escalares obtenidos, se ha validado utilizando datos horarios y direccionales obtenidos para algunas estaciones concretas.

Del mismo modo, a lo largo de este capítulo se incluyen metodologías capaces de estimar con precisión muy similar a los resultados horarios, las condiciones de exposición, a partir de otros datos también disponibles en nuestro país (aunque en un menor número de estaciones y con menor antigüedad).

IV.2.2.- ÁMBITO DE APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados presentados en este estudio se ven sometidos a ciertas consideraciones que limitan su validez: su uso en localizaciones de climatología excepcional y específica, puede precisar de estudios “in situ” que validen los resultados presentados o que modifiquen las solicitaciones generales que se presentan.

Dichas limitaciones se derivan de falta de representatividad de los datos atmosféricos, como puede suceder en emplazamientos con climatologías diferentes de su entorno inmediato y por ende del de las estaciones meteorológicas cercanas utilizadas para la elaboración del estudio. A tal fin, se definen las mismas limitaciones recogidas por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, especificadas en su anexo A:

Es especialmente recomendable en zonas montañosas, realizar mediciones directas de la lluvia batiente sobre las fachadas de los edificios, dado que las estaciones meteorológicas cercanas se hayan habitualmente sometidas a condiciones menos extremas.

Igualmente, los resultados presentados han de utilizarse con especial cautela en zonas en las que más del 25% de la lluvia anual se produce como consecuencia de tormentas convectivas (fuertes precipitaciones de duración inferior a 1 hora), así como en zonas en las que una proporción importante de las precipitaciones se produce en forma de nieve o granizo.

No se discierne tampoco sobre la influencia relativa de los diferentes parámetros (aporte de agua – presión eólica – duración de la exposición), sobre el efecto de penetración de agua líquida al interior del cerramiento. Queda a discreción del técnico estimar el efecto más desfavorable, en función de la naturaleza de su cerramiento

(porosidad, tamaño de poro, estado de conservación general, existencia de fisuras o irregularidades...).

Para facilitar el estudio en base a cualquier magnitud (aporte de agua, presión eólica o duración de la exposición), se aportan datos de todas estas magnitudes, que el lector puede utilizar a su conveniencia para caracterizar procesos concretos de humedecimiento, dando predominancia a cualquiera de los fenómenos sobre los otros.

Aunque no hay definidas directrices exactas que determinen la validez de los métodos empleados en este estudio, la propia norma UNE propone ciertas limitaciones concretas en su anexo A, que podrían ser adecuadas también para evitar errores inasumibles en la utilización de los resultados aquí presentados:

- Restringir la utilización de índices calculados en emplazamientos montañosos, únicamente para su entorno inmediato.
- En localizaciones costeras (situadas a menos de 8 km de la costa), no es adecuado utilizar datos extraídos de estaciones meteorológicas situadas en un emplazamiento interior.
- Los resultados obtenidos en estaciones con entornos predominantemente planos, pueden tener validez hasta para una distancia de 100 km respecto de la estación.

Todos los datos utilizados como base de partida para este estudio y proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología, han sido obtenidos en situaciones controladas, sobre terrenos despejados y con equipos de medición dispuestos a una altura de 10 m sobre la rasante del terreno en un entorno libre de obstáculos, de acuerdo a las directrices marcadas para la observación de variables meteorológicas por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1996), por lo que su aplicación a situaciones diferentes (típicas en edificios), ha de establecerse siempre de acuerdo a coeficientes de ajuste para el ámbito local.

Los resultados presentados, pueden así ser modificados por cuantos coeficientes de ajuste sean necesarios, para caracterizar de forma concreta la incidencia de la presencia de obstáculos en las inmediaciones del edificio, rugosidad del entorno inmediato, altura del cerramiento, elementos arquitectónicos dispuestos, localización cercana a discontinuidades abruptas del terreno, tales como taludes o acantilados y de todos aquellos aspectos puedan modificar el flujo de lluvia y viento en el entorno inmediato del cerramiento.

Directrices acerca de estos coeficientes han sido ya presentadas en los capítulos II y III, recomendándose la utilización de los valores estimados para los coeficientes de rugosidad, topográficos, de obstrucción y de captación establecidos por la norma UNE-EN ISO 159273:-2011.

No se presentan tampoco datos locales que permitan estimar la solicitación concreta sobre un cerramiento concreto de orientación definida (solicitación direccional), sino que se determinan valores escalares (no direccionales).

IV.2.3.- LIMITACIONES ASOCIADAS A LA PARAMETRIZACIÓN

Es necesario resaltar algunos factores que condicionan la precisión de los resultados obtenidos y que deben ser considerados para su aplicación, matizando de esta forma las conclusiones a las que pudiera llegarse:

IV.2.3.1.- Intervalo de medición de datos climáticos

La especificación del uso de datos horarios en la norma UNE-EN ISO15927-3:2011, se deriva de la larga serie de mediciones de lluvia caída sobre edificios realizada en múltiples emplazamientos de Reino Unido, lo que constituyó el punto de partida para la norma BS 8104:1992 y sirvió de base al posterior estándar ISO europeo. Estas condiciones de medición, han sido mantenidas como un estándar en las normas posteriores, a pesar de que dichos datos no se encuentran disponibles en la mayoría de los países con la adecuada precisión, antigüedad o cobertura.

Obviamente, tomar en consideración periodos de medición más pequeños, aumenta la precisión del dato obtenido (Blocken y Carmeliet, 2007), por ejemplo en base a datos diezminutales. La indisponibilidad de este tipo de datos medidos en intervalos tan pequeños y con una antigüedad suficiente, junto con el volumen de información generado (se generarían para cada estación más de 2,5 millones de entradas diezminutales entre el periodo 1962-2011 que se analiza en este trabajo), hacen que no sean considerados periodos inferiores a una hora en la norma.

Por todo ello es habitual adoptar como mejor aproximación posible, el intervalo más pequeño disponible y manejable ofrecido por las series meteorológicas del ámbito analizado. Así, investigadores como Rydock, Chand, Bhargava, Giarma o Aravantinos, recurren a series de datos en intervalos de 6 a 8 horas, diarios o incluso mensuales y anuales, ante la carencia de datos horarios fiables en sus respectivos ámbitos de estudio, en fechas tan recientes como 2002, 2005 y 2011.

En visto de lo anterior, resulta adecuado recurrir en nuestro país a las series diarias proporcionadas por AEMET, como aproximación más precisa disponible para la estimación de la solicitación, más aun cuando la utilización de fenómenos máximos anuales y el posterior tratamiento probabilístico utilizado para estimar periodos de retorno, tienden a amortiguar la pérdida de precisión derivada del uso de datos diarios.

A pesar de esto, el intervalo de medición diario lleva aparejado una cierta indeterminación, de la que tampoco está exento el intervalo de medición horario. Así, el viento medio simultáneo a la lluvia a lo largo de día, engloba periodos de lluvia y periodos carentes de precipitación, siendo más precisa una medición horaria, al desechar el registro de velocidad de viento que se produce durante las horas en las que no se produce precipitación. Del mismo modo, una medición diezminutal, sería capaz de desechar en una hora, aquellos intervalos diezminutales carentes de precipitación.

La forma de registro en las estaciones meteorológicas añade indeterminación al resultado, ya que los datos que posteriormente son promediados a intervalos horarios o diarios, son recogidos cada minuto, 10 minutos, 15 minutos... variando con ello la precisión del resultado promediado.

Del mismo modo, el tipo de precipitación o la forma de promediar estos datos básicos también influyen en el resultado final: Aguaceros violentos y repentinos, albergan una mayor incertidumbre en la medición que precipitaciones moderadas y prolongadas en el tiempo. Un somero análisis de las incertidumbres asociadas a estos parámetros puede encontrarse en el reciente trabajo de Blocken y Carmeliet (2008).

Aproximaciones más burdas (mensuales y anuales), consecuentemente poseen precisiones más groseras y tienden a ser desechadas si no se utiliza algún ajuste matemático que aproxime sus resultados a los que se obtendrían en base a mediciones diarias u horarias, salvo en aquellos casos en los que configuren la única fuente disponible.

En cualquier caso, la determinación de estos índices de solicitación en base a datos diarios, representa un salto importante en nuestro país para la caracterización de la solicitación necesaria en el diseño del cerramiento, estableciendo una comparación unívoca con otros emplazamientos disponibles, asignando un valor concreto, medible y objetivo y estableciendo una cuantía escalar, concreta y adecuadamente aproximada, a los valores de las magnitudes físicas que se producen sobre el edificio.

IV.2.3.2.- Direccionalidad del viento simultáneo a la precipitación

Más allá de la utilización de datos horarios o diarios, ha de tenerse en cuenta que la dirección del viento condiciona la dirección de la lluvia batiente que impacta sobre el edificio. Por ello, algunos cerramientos del edificio se encuentran más expuestos a la humedad que otros, en función de los vientos predominantes en el emplazamiento simultáneos a la lluvia.

Este hecho, no identificable a partir de los datos climáticos disponibles, constituye la mayor carencia de los resultados presentados para adaptarse a la cantidad exacta de agua de lluvia esperable sobre los cerramientos.

Dado que las estaciones británicas empleadas en el estudio inicial de estos parámetros, eran capaces de registrar esta direccionalidad horaria del viento, la posibilidad de estimar este factor aparece recogida por la norma, diferenciando en un mismo edificio, entre cerramientos más o menos solicitados.

Sin embargo, las limitaciones de los datos climáticos disponibles (la dirección del viento no es un dato en los registros diarios facilitados por AEMET, ni puede promediarse una dirección media diaria del viento), hacen imposible estimar la dirección del viento simultáneo a la precipitación y por lo tanto, no puede determinarse en qué dirección se produce la lluvia batiente sobre la fachada y que cerramientos se encuentran más expuestos a la misma.

Los índices y resultados presentados en este trabajo, se refieren exclusivamente a valores escalares, asociados al emplazamiento geográfico del edificio, pero no a orientaciones concretas de cada cerramiento. Por lo tanto están implícitamente mayorados respecto a los valores direccionales reales y más en la línea de la definición de índices de exposición como los investigados por Lacy en sus primeros estudios (índice DRI).

Aunque en las series de datos hechas públicas por AEMET sí aparece la dirección puntual de la racha máxima de viento registrada, este dato se antoja insuficiente para garantizar cierta representatividad al efecto, ya que no promedia la dirección de todo el viento diario y su registro en las estaciones meteorológicas es a veces muy indeterminado: con frecuencia al dato de entrada a este respecto se asigna a una dirección “variable”, indicativa de la existencia de varias rachas de viento de similar intensidad y de su dirección aleatoria.

Es por ello que se prefiere desechar este dato, recopilando resultados escalares que representen la lluvia batiente y presión eólica esperadas sobre un edificio, indiferentemente de la orientación de sus cerramientos.

La distinción en la dirección del viento, repercutiría en una mayor precisión en la estimación de la exposición realizada y en magnitudes menores de lluvia batiente sobre cada cerramiento concreto, al repartirse el total calculado, según la dirección de viento, entre los cerramientos de diferentes orientaciones.

Por todo ello, los resultados obtenidos en este estudio, no son estrictamente comparables con los direccionales obtenidos en Reino Unido, que sí han aplicado de forma literal la metodología de la norma UNE.

Sí lo serán en cualquier caso, con los resultados obtenidos para otros países, en los que ante una carencia similar en los datos, se han adoptado también valores escalares, como Grecia, India, Canadá...

A falta de estudios más precisos que permitan estimar el factor direccional, los resultados escalares obtenidos, quedan del lado de la seguridad, al cuantificar el sumatorio de la suma de lluvia sobre todos los cerramientos.

Hemos de recordar en cualquier caso, que en todo momento hablamos de datos estadísticos referidos a fenómenos atmosféricos, en los que la indeterminación y aleatoriedad inherente a los mismos, hace que ninguno de los datos obtenidos sea estrictamente exacto, sino únicamente, más o menos probable.

IV.2.3.3.- Periodo de retorno y duración del evento considerada

Salvando estas limitaciones, las mejoras que se presentan sobre lo recogido en el CTE, van más allá de la mera cuantificación de la cantidad de lluvia batiente incidente sobre los edificios en cada emplazamiento.

Se aportan igualmente otros datos de interés indiscutible, como la estimación de la presión eólica simultánea a dichos eventos de lluvia o la duración máxima de los periodos de humedecimiento o de precipitación ininterrumpida, todo ello para diferentes periodos de retorno considerados. Todos los datos presentados se suministran para periodos de retorno de 3, 10, 30 y 50 años, permitiendo al lector utilizar los datos que estime más idóneos para su propósito.

Los periodos de 3 y 10 años se calculan puesto que son los periodos de retorno propuestos por la norma UNE para la caracterización de los parámetros definidos en la propia norma, mientras que periodos de retorno de 30 y 50 años, se incluyen como estándar recogido en diversos artículos científicos para estimar la vida útil media de los componentes del cerramiento de un edificio.

Además de la aproximación a las magnitudes de cuantía de lluvia batiente específicamente mencionadas por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 (véase capítulo III), se aportan datos relativos otras magnitudes de interés para la determinación de la exposición en relación a diferentes criterios de exigencia y utilización.

Así, se analizan tanto las presiones eólicas simultáneas a las magnitudes de lluvia batiente calculadas, como las magnitudes de lluvia batiente y presión eólica registradas a lo largo de diferentes periodos de exposición a la humedad.

Respecto a la duración de los eventos de humedecimiento, además de los datos de lluvia batiente para el periodo anual y para el periodo de humedecimiento adaptado a partir del definido por la norma UNE, es considerada la intensidad escalar de viento y lluvia batiente para periodos diarios y de lluvia ininterrumpida.

La utilización de estos periodos más cortos en la estimación de la solicitación, permite dar cobertura a la exposición sobre otros tipos de cerramiento diferentes (y más ligeros), que los tradicionales cerramientos pesados de fábrica de albañilería. En estos cerramientos ligeros, el periodo de secado del cerramiento se acorta, por lo que las condiciones de humedecimiento no se prolongan en el tiempo tanto como sobre muros más cerrados (Rydock, 2005). En consecuencia, la exposición ha de ser calculada en base a periodos de intervalo más cortos que los definidos por la norma UNE.

Así se define como un periodo de humedecimiento ininterrumpido aquel circunscrito únicamente al intervalo de días en los cuales se registra lluvia de forma ininterrumpida, acortando éste respecto al definido por la norma (ambos se explicarán detalladamente más adelante). De esta forma, se presentan resultados útiles sea cual sea la naturaleza de la solución constructiva del cerramiento, ajustando el lector los mismos a sus necesidades específicas. Todos los datos obtenidos, como se ha dicho se refieren a diferentes periodos de retorno de interés.

Para finalizar, en los resultados (Anejo A.1) se presentan también valores escalares máximos referidos a las magnitudes analizadas, incluyendo lluvia batiente, presión eólica y duración de periodos de humedecimiento, que se han registrado puntualmente en diferentes intervalos temporales de la serie adoptada, bien para su utilización estadística o como referencia para la determinación de condiciones extremas.

A pesar de la utilidad del trabajo realizado, los resultados obtenidos son también susceptibles de mejoras futuras para optimizar su precisión: posteriores investigaciones podrían servirse de la creciente antigüedad en la recopilación de datos horarios o diezminutales, para elaborar resultados de mayor precisión, incluyendo el estudio direccional de la solicitación por humedad, de forma estrictamente acorde a lo establecido por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, eliminando la mayorización inherente a la determinación escalar que aquí se plantea.

De la misma forma, contar con los datos diezminutales u horarios de las más de 700 estaciones automáticas españolas en línea con AEMET, contribuiría a ajustar con mayor precisión los mapas elaborados y favorecer una mejor aproximación a la solicitación en localizaciones alejadas de los puntos de medición disponibles en este estudio. La disponibilidad de datos procedentes de un emplazamiento más cercano al

edificio en cuestión, permitiría la comparación de estos datos con los registrados en la estación meteorológica más cercana, proporcionando de esta forma directrices más específicas para la estimación de la sollicitación en la zona.

En cualquier caso, el estudio que se presenta establece de forma unívoca los valores de sollicitación por humedad asociados a cada localización geográfica de forma suficientemente precisa, de forma absoluta, objetiva y en relación a otros emplazamientos.

Igualmente permite, por primera vez en este país, establecer un estándar riguroso para la caracterización de la sollicitación, capaz de posibilitar la definición de soluciones constructivas en base a un parámetro comparable, medible y actualizable, superando determinaciones basadas en la tradición constructiva y en definitiva, aumentando la optimización y adecuación del diseño, mejorando la prestacionalidad del CTE.

IV.3.- PARAMETRIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Se presentan a continuación una recopilación de los acrónimos específicamente utilizados en este apartado y que representan los diferentes resultados de exposición obtenidos mediante la metodología y que son posteriormente recopilados en las fichas y mapas presentes en los anejos A.1 y A.2. Esta nomenclatura coincide con la establecida por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, facilitando al lector familiarizado con la norma una rápida identificación de los resultados presentados:

I_A	Lluvia batiente anual de referencia, expresada de forma escalar, en mm/año (equivalente escalar al parámetro direccional definido en el apartado 3.2 de la norma UNE).
Zonificación_{ref}	Distribución pormenorizada realizada del territorio nacional en diferentes intervalos de exposición, en base a los resultados obtenidos de lluvia batiente anual de referencia.
Grado de exp._{daDRI}	Estimación del grado de exposición de un edificio en el emplazamiento a partir de la clasificación realizada por Lacy en 1962, a partir del valor anual DRI o “anual driving rain index”, obtenido a partir de los valores medios diarios de lluvia y viento.
I_{AS}	Lluvia batiente máxima de referencia, expresada de forma escalar en mm/periodo absoluto (equivalente escalar al parámetro direccional definido en el apartado 3.3 de la norma UNE).
½ jornadas	Periodo de humedecimiento de referencia por lluvia batiente, expresado en medias jornadas y con un carácter escalar (equivalente escalar al parámetro direccional definido en el apartado 4 de la norma UNE, calculado en base a datos sinópticos).
Periodo ab.	Periodo absoluto de humedecimiento por lluvia batiente, expresado de forma escalar en días y definido de forma aproximada en base a las condiciones del anexo B de la norma UNE.

Además de los anteriores valores directamente referidos a los parámetros recogidos en la norma, otros resultados adicionales han sido incluidos en el estudio, con la siguiente nomenclatura:

TR	Periodo de retorno considerado para la elaboración probabilística del dato presentado, a partir de series anuales de valores máximos.
N/m² periodo ab	Presión eólica máxima, simultanea a la lluvia batiente I _{AS} , expresada de forma escalar en Pa/periodo absoluto.
I_d	Lluvia batiente máxima diaria, expresada de forma escalar en mm/día.

N/m² día	Presión eólica máxima simultánea a la lluvia batiente I_d , expresada de forma escalar en Pa/día.
I_{ASii}	Lluvia batiente máxima ininterrumpida, expresada de forma escalar en mm/periodo de lluvia diaria ininterrumpida.
N/m² periodo_{ii}	Presión eólica máxima simultánea a la lluvia batiente I_{sii} , expresada de forma escalar en Pa/periodo de lluvia diaria ininterrumpida.
Duración_{ii}	Periodo de humedecimiento por lluvia batiente, expresado de forma escalar en días y definido por la ocurrencia ininterrumpida de lluvias en días consecutivos.

En esencia, los datos recopilados hacen referencia a tres magnitudes fundamentales: lluvia batiente (I), presión eólica (N/m²) y duración de la exposición (días). No obstante, cada una de ellas se analiza en diferentes intervalos de tiempo, que caracterizan el subíndice utilizado en cada acrónimo.

Así, estos subíndices pueden referirse a un intervalo anual (A), de periodo de humedecimiento absoluto (AS), diario (D) o de días ininterrumpidos con presencia de lluvia (ii).

Adicionalmente se analizan otros indicadores de la exposición como el grado de exposición asociado al índice daDRI, la zona de sollicitación definida en base al parámetro I_A o la duración del periodo de humedecimiento, calculado mediante el método alternativo y cualitativo recogido por la norma UNE (1/2 jornadas).

En relación a los datos escalares máximos puntuales registrados en cada estación meteorológica, se sigue la misma referencia en la notación, presentando el valor máximo asociado a cada uno de los parámetros anteriores, de la forma que se presenta a continuación:

I_{AS max}	Máximo valor para la serie considerada, de lluvia batiente máxima de referencia escalar, expresada en mm/periodo absoluto.
P_{AS.viento simul.}	Presión eólica escalar registrada para el periodo en el que se produce $I_{AS max}$, en la serie considerada y expresado en Pa/periodo absoluto.
Periodo ab max.	Máxima duración escalar del periodo absoluto de humedecimiento por lluvia batiente definido de forma aproximada de acuerdo a las condiciones del anexo B de la norma, para la serie diaria considerada y expresado en días.
P_{AS.viento max.}	Presión eólica escalar máxima, registrada en un periodo absoluto de humedecimiento definido de forma aproximada de acuerdo a las condiciones del anexo B de la norma, para la serie diaria considerada y expresado en Pa/periodo absoluto.
I_{AS simultanea}	Lluvia batiente de referencia escalar, registrada para el periodo absoluto en el que se produce $P_{s.viento max}$. en la serie considerada y expresada en mm/periodo absoluto.

I_D max	Máximo valor para la serie considerada, de lluvia batiente máxima diaria, expresada de forma escalar en mm/día.
$P_{D.viento}$ simult.	Presión eólica escalar, registrada para el día en el que se produce I_D max, en la serie considerada y expresada en Pa/día.
$P_{D.viento}$ max.	Presión eólica escalar máxima, registrada en un día de lluvia, para la serie considerada y expresada en Pa/día.
I'_D simultanea	Lluvia batiente diaria registrada para el día en el que se produce $P_{D.viento}$ max., en la serie considerada y expresada de forma escalar en mm/día.
I_{sii} max	Máximo valor para la serie considerada, de lluvia batiente máxima ininterrumpida, expresada de forma escalar en mm/periodo de lluvia diaria ininterrumpida.
$P_{sii.viento}$ simult.	Presión eólica escalar, registrada para el periodo en el que se produce I_{sii} max, en la serie considerada y expresado en Pa/periodo de lluvia diaria ininterrumpida.
Periodo_{ii} max.	Máxima duración escalar del periodo de humedecimiento por lluvia diaria ininterrumpida, para la serie considerada y expresado en días.
$P_{sii.viento}$ max.	Presión eólica escalar máxima, registrada en un periodo de lluvia diaria ininterrumpida, para la serie considerada y expresado en Pa/periodo de lluvia diaria ininterrumpida.
I'_{sii} simultanea	Lluvia batiente diaria, registrada para el periodo de lluvia diaria ininterrumpida en el que se produce $P_{sii.viento}$ max., en la serie considerada y expresada de forma escalar en mm/periodo de lluvia diaria ininterrumpida.
½ jornadas max.	Máxima duración cualitativa del periodo de humedecimiento por lluvia batiente, expresado de forma escalar en días y definido de forma aproximada de acuerdo a las condiciones del apartado 4 de la norma UNE.

Se recuerda en cualquier caso, que los cálculos utilizados no se ajustan estrictamente a los definidos en la norma, siendo éstos de carácter escalar (no direccional) y estando por lo tanto referidos al emplazamiento y no a una orientación específica del cerramiento. Del mismo modo, se han adoptado diversas simplificaciones y adaptaciones derivadas de la necesidad de utilizar registros climáticos recopilados en un intervalo diario.

Por todo ello, los resultados obtenidos no son estrictamente comparables con los valores direccionales horarios obtenidos mediante la aplicación rigurosa de la norma UNE.

IV.3.1.- METODOLOGÍA Y FORMULACIÓN

Para la obtención de los resultados mostrados en el Anejo A.1 de este documento, se ha partido de las series históricas diarias puestas a disposición pública por parte de AEMET, para un total de 114 estaciones meteorológicas españolas, repartidas por todo el territorio nacional. Dichas series históricas de datos, se presentan en formato .csv, para su tratamiento mediante un software de tipo Excel 2007. Será por lo tanto la hoja de cálculo Excel, la herramienta informática empleada para la realización de los cálculos necesarios para la determinación de la solicitación y la elaboración de las fichas correspondientes a cada estación.

Aunque las series llegan a remontarse hasta 1920 en algunas estaciones, se han desechado las mediciones anteriores al 1 de enero de 1962 en todas ellas, dado que con anterioridad a dicha fecha es frecuente la ausencia de alguno de los parámetros relevantes necesarios para las operaciones a realizar. La existencia de estaciones complementarias entre sí y de estaciones sin uno de los datos básicos precisados, ha propiciado que el número final de estaciones consideradas sea de 80.

Tomando como fecha final de la serie histórica de estudio el 31 de diciembre de 2011, el número de entradas Excel para cada estación analizada se sitúa en 18.262 líneas (36524 datos de lluvia y viento), una para cada día de la serie histórica comprendida entre 1962 y 2011. Es, sobre esta base de datos, sobre la que se fundamenta el estudio, utilizando las posibilidades que el software permite.

Únicamente una parte de los datos reflejados en dichas bases de datos, son realmente relevantes para el estudio realizado:

- **Fecha.** Indicador de año, mes y día
- **T.Med.** Temperatura media diaria, en grados centígrados.
- **Vel.media.** Velocidad media del viento, en m/sg.
- **Prec.** Precipitación diaria, de 07 UTC a 07 UTC, en mm [l/m^2]
- **Pres.máx.** Presión máxima diaria, en hPa.
- **Pres.min.** Presión mínima diaria, en hPa.

IV.3.1.1.- Tareas previas y criterios de control de los datos de partida

Previamente a su utilización, los datos han de ser adecuados a la finalidad del estudio. Así, en los mismos se utiliza la abreviatura “*Ip*”, para indicar días en los que la precipitación se considera inapreciable (menor a 0,1 mm o 0,1 l/m^2). Esta abreviatura es sustituida para el cálculo por un valor promedio de 0,05 mm, que permite incluir en el cálculo la solicitación sobre el cerramiento, incluso en días de precipitación casi imperceptible.

Mientras que la velocidad media del viento y la precipitación diaria se consideran variables de máxima importancia para la determinación de la solicitación por humedad (lluvia batiente), las restantes variables (temperatura y presiones), se utilizan para la determinación de la densidad del aire, en base a la cual obtener una estimación precisa de la presión eólica simultánea a la precipitación sobre el cerramiento.

En consonancia a esta jerarquización en los datos necesarios, se han desechado aquellas estaciones cuyos datos carecen de series referidas a alguna de las dos variables fundamentales o su recopilación se interrumpió años atrás. El número total de series desechadas por este motivo, se eleva a 8, siendo las mismas:

- 1208A.- Gijón la Merced
- 1690B.- Orense Instituto
- 2401.- Palencia Observatorio
- 3168A.- Guadalajara Instituto
- 6297.- Almería
- 8097.- Vitoria Aeródromo
- 9262.- Pamplona Observatorio
- 0370B.- Girona Antic Institut

A pesar de que la mayoría de las estaciones cuentan con datos referidos a la serie completa (1962-2011), algunas cuentan con series referidas a las dos magnitudes principales, de antigüedad algo menor. Este hecho ha sido indicado en la propia ficha de resultados y condiciona una menor estabilidad en los resultados probabilísticos obtenidos para los diferentes periodos de retorno, contando la muestra de partida con un menor número de datos.

No obstante, todas las series consideradas cuentan con una antigüedad superior a 30 años, dentro del periodo 1962-2011, lo que garantiza la fiabilidad de los resultados, más acusada tras la realización del tratamiento probabilístico aparejado al cálculo. Un total de 11 estaciones cuentan con series históricas que no alcanzan el periodo completo, habiéndose por lo tanto descartado:

- 0200E.- Barcelona (28 años)
- 1208.- Gijón (25 años)
- 1505.- Lugo Aeropuerto (25 años)
- 1690A.- Orense (25 años)
- 3168C.- Guadalajara (12 años)
- 3191E.- Colmenar viejo (22 años)
- 5910.- Rota (23 años)
- 7178I.- Murcia (27 años)
- 8178D.- Albacete (16 años)
- 8368U.- Teruel (24 años)
- 1208H.- Gijón Puerto (10 años)

En ocasiones, el cambio en la ubicación de la estación meteorológica implica la existencia de dos series complementarias, referidas a puntos distantes entre sí unos pocos kilómetros (generalmente del centro urbano donde se ubicaba la estación original, hasta el actual extrarradio). En estos casos, los datos referidos a la ubicación original han sido añadidos a la serie más reciente, configurando así una única serie histórica.

Tal hecho ha sido indicado en la ficha de resultados correspondiente. Se han considerado, siguiendo el criterio de AEMET como equiparables los resultados obtenidos en ambas, al situarse en localizaciones y condiciones de altura relativamente cercanas entre sí. Un total de 26 series presentan esta situación:

- 1110 y 1111.- Santander

- 1484C y 1484.- Pontevedra
- 2444 y 2444C.- Ávila
- 2465A y 2465.- Segovia
- 3259 y 3260B.- Toledo
- 3469 y 3469A.- Cáceres
- 4121C y 4121.- Ciudad Real
- 4605 y 4642E.- Huelva
- 5270 y 5270B.- Jaén
- 8501 y 8500A.- Castellón
- 9771 y 9771C.- Lérida
- 5000A y 5000C.- Ceuta
- 9381 y 9381I.- Calamocha-Vor

Tampoco es infrecuente la aparición de entradas en blanco para las dos variables principales (precipitación y velocidad media de viento), o una de ellas, en ocasiones prolongándose durante periodos que pueden alcanzar más de un mes. Averías, operaciones de mantenimiento, tareas de mejora y actualización o simples errores en la transmisión de datos, imposibilitan contar con dichos datos. A tal efecto, se han considerado válidas todas aquellas series en las que el número de entradas en blanco, no supera el 2,5 % del total de 36524 entradas de viento y lluvia (si bien una entrada de viento en blanco puede coincidir con un día sin precipitación, siendo por lo tanto irrelevante). Se ha descartado por este motivo 2 series:

- 5000A y 5000C.- Ceuta
- 9381 y 9381I.- Calamocha-Vor

Del mismo modo, para garantizar que los datos en blanco (ausencia de registro), no se concentran significativamente en unos pocos años (dando así lugar a inaceptablemente desiguales en las series anuales que se han elaborado), se han eliminado del cómputo aquellos años que mostraban una gran concentración de datos en blanco. Se garantiza así la representatividad de cada uno de los valores máximos anuales que se utilizan en la estimación estadística que se presentará posteriormente.

De esta forma todos los datos anuales empleados en las construcciones estadísticas que se desarrollarán, se basan en series homogéneas, con un bajo grado de incertidumbre.

IV.3.1.2.- Proceso de cálculo escalar cuantitativo

Para el cálculo de los resultados se ha partido de la formulación recogida en la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 (véase el capítulo III), la cual ha debido ser adaptada a una determinación escalar debido a las limitaciones impuestas por los datos diarios disponibles.

Ello ha llevado a adoptar formulaciones muy similares a las elaboradas por Lacy para la determinación escalar y semi-empírica de la lluvia incidente sobre un plano vertical, partiendo de las magnitudes de viento y precipitación sobre la horizontal, medidas durante un proceso atmosférico de lluvia.

En primera instancia Lacy y Shellard (1962) propusieron la cuantificación de un índice de sollicitación por humedad, derivado de la simple multiplicación de la intensidad de lluvia y la velocidad del viento actuante.

Dicho índice (en inglés Driving Rain Index o DRI), calculado anualmente (aDRI), ha dado lugar a la estimación de un grado de exposición, cuyas características se exponen poco más adelante. El índice, expresado en $[m^2/s]$, se obtiene al utilizar la velocidad del viento $[m/s]$ y la precipitación en $[m]$. Para ello, la precipitación registrada $[mm]$, debe ser dividida por 1.000. En base a estas aproximaciones se ajustaron paralelamente múltiples índices de sollicitación DRI, en virtud del periodo considerado para la estimación de la exposición:

$$\text{Índice}_{DRI} = I_{\text{pluviométrica (en m)}} \cdot v_{\text{viento}} \quad [m^2/s]$$

$$\text{Índice}_{aDRI} = v_{\text{viento medio anual}} \cdot I_{\text{pluviométrica anual (en m)}} \quad [m^2/s \text{ año}]$$

$$\text{Índice}_{mDRI} = v_{\text{viento medio mensual}} \cdot I_{\text{pluviométrica mensual (en m)}} \quad [m^2/s \text{ mes}]$$

El más utilizado y también adoptado por este trabajo, es sin embargo el índice de exposición calculado sobre un intervalo anual aDRI $[m^2/s]$ propuesto por Lacy. En este trabajo, el índice aDRI se ha calculado en base a datos medios diarios (daDRI), promediados entre el número de años considerados en la serie:

$$\text{Índice}_{daDRI} = \frac{\sum v_{\text{viento medio diario}} \cdot I_{\text{pluviométrica diaria (en m)}}}{N} \quad [m^2/s \text{ año}]$$

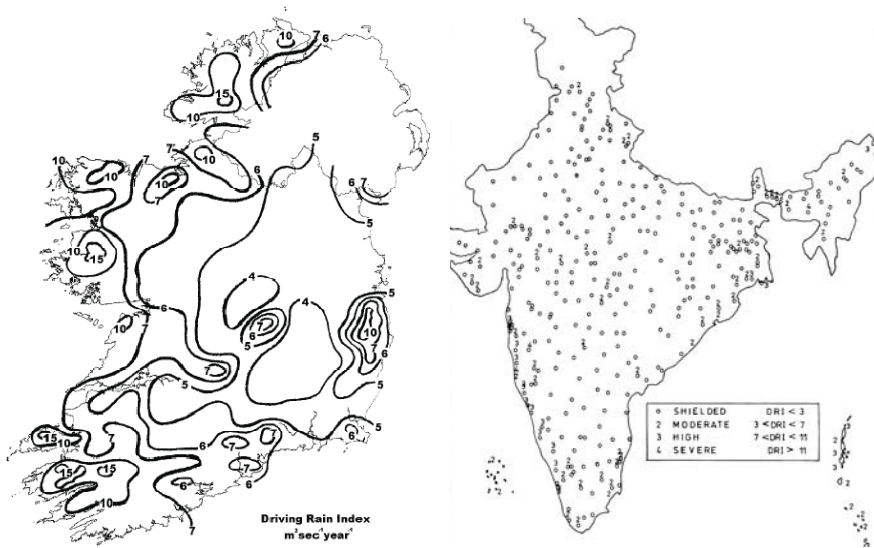


Figura IV.2.- Mapas de exposición anual al agua de lluvia para cerramientos verticales correspondientes a Irlanda e India, expresado en m^2/s . Fuentes: Welsh, 2010; Chand y Bhargava, 2002; respectivamente.

En base al valor del índice aDRI, Lacy propuso caracterizar la sollicitación o grado de exposición a la lluvia batiente según el siguiente criterio: exposición “protegida” en caso de cuantificarse un valor aDRI < 3 m²/s; “moderada” entre 3 y 7 m²/s; “alta” entre 7 y 11 m²/s; y “severa” para valores mayores. Ejemplos de esta graduación de la exposición son los mapas elaborados en múltiples países como India, Irlanda, Dinamarca, Noruega, Reino Unido, Canadá, China, Suecia...

Esta graduación, expresada en unidades [m²/s] (utilizadas por Lacy y Shellard en sus investigaciones iniciales) se representa en los diferentes mapas adjuntos a este trabajo (anexo A.2), según la anterior caracterización:

- “Exposición severa” > 11 m²/s año
- “Exposición alta” 7 – 11 m²/s año
- “Exposición moderada” 3 – 7 m²/s año
- “Exposición protegida” < 3 m²/s año

Del mismo modo, la graduación asociada a este índice daDRI, calculado en cada uno de los 80 emplazamientos analizados en nuestro país, se ha presentado en cada una de las hojas de resultados de cada estación (Grado de exposición daDRI).

Diversos investigadores observaron que era posible cuantificar la cantidad de agua incidente o batiente sobre un cerramiento vertical (I) partiendo del índice cualitativo anterior aDRI, si este valor se ajusta mediante un coeficiente k_{lacy}, definido por Lacy en base a diversas mediciones empíricas:

$$I = k_{lacy} \cdot \text{prep}_{(\text{en m})} \cdot v_{\text{viento}} \quad [\text{mm}]$$

Tras una extensa validación experimental, Lacy estimó que un índice aDRI de 1 m²/s sería equivalente a 206 l/m²s aplicados sobre el cerramiento o lo que es lo mismo, a 206 mm de precipitación. Introduciendo un valor de precipitación en mm (no dividido por 1000), el coeficiente de ajuste k_{lacy}, puede ser estimado en torno a un valor de 0,206.

En la actualidad, se ha identificado el sentido físico de este coeficiente de ajuste, siendo interpretado como la inversa de la velocidad terminal de caída de cada gota de agua durante la precipitación. Así, el mismo depende fundamentalmente de la dimensión de la gota, valor que no es constante y que presenta una amplia variabilidad en una misma precipitación.

Basadas en esta interpretación física del coeficiente de ajuste, se han desarrollado recientemente diversas metodologías de estimación de la lluvia batiente, basadas en modelos CFD (Choi 1991, 1993, 1994a, 1994b) o en la estimación del diámetro medio de gota asociado a cada intensidad de precipitación (Straube y Burnett, 2000).

El ajuste semi-empírico de Lacy se demostró no estrictamente fiable si las mediciones de viento y lluvia se realizan en periodos cortos como horas, en lugar de años o meses, pudiéndose obtener un ajuste de mejor precisión aplicando un coeficiente exponencial igual a 8/9, corrigiéndose consecuentemente el coeficiente k_{lacy} a 0,222 o lo que es lo mismo, a 2/9. Esta corrección coincide con las expresiones matemáticas

utilizadas por la norma ISO 15927-3:2009 para la estimación de la lluvia batiente a partir de datos horarios de precipitación y viento.

$$I = 0,222 \cdot v_{\text{viento}} \cdot \text{prep} (\text{en mm})^{8/9} \quad [\text{mm}]$$

Con posterioridad y en base a una nueva colección de mediciones desarrollada en Portugal, Henriques (1992) estimó la conversión de $1 \text{ m}^2/\text{s}$ en 90 a $100 \text{ l/m}^2/\text{s}$, si se aplica este coeficiente exponencial sobre la intensidad de precipitación, en lugar de los $206 \text{ l/m}^2/\text{s}$ propuestos por Lacy.

Por su mayor precisión, el ajuste exponencial es el actualmente más difundido y que como tal, se utiliza en la norma UNE para su uso con datos atmosféricos horarios. Este mismo ajuste será por lo tanto también utilizado en este estudio.

Tal y como se expuso en el Capítulo III, el cálculo de la lluvia batiente anual de referencia I_A , se establece en base a la siguiente ecuación en la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011:

$$I_A = \frac{2}{9} \frac{\sum v \text{prep}^{0,888} \cos(D-\theta)}{N}$$

Siendo:

- v Velocidad media horaria del viento en m/s.
- prep Lluvia total horaria expresada en mm.
- N Número de años total que integran la serie de datos.
- $D-\theta$ Diferencia entre la orientación del viento D y la orientación opuesta a la normal al cerramiento θ , ambas referidas respecto al norte geográfico.

Se desprecian en la anterior ecuación, aquellos resultados del sumatorio con un valor inferior a 0, considerando así únicamente aquellos intervalos de precipitación en los que el viento impulsa cierta cantidad de lluvia sobre el cerramiento de orientación θ analizado.

Al no se dispone en los datos de partida del presente estudio, indicación alguna referente a la dirección del viento, el cálculo estricto de este parámetro direccional para cada posible orientación θ del cerramiento, es inaplicable. En su lugar se recurre al cálculo escalar, obviando el término “ $\cos(D-\theta)$ ” y obteniendo así una magnitud no asimilable a una orientación concreta del cerramiento en el edificio, sino al emplazamiento global del mismo. Se obtiene por lo tanto el valor sumatorio de la lluvia incidente sobre cualquier cerramiento del edificio, independientemente de su orientación. Debido a ello el resultado escalar obtenido, presenta una magnitud mayor a la que se obtendría de acuerdo a la norma UNE, ya que representa un concepto no totalmente idéntico.

No obstante, de esta forma el resultado permite una ágil utilización en mapas de zonificación adoptando un valor de referencia asociado al emplazamiento y permite el cálculo de la magnitud con los datos disponibles. La expresión utilizada en base a datos diarios, queda así adaptada de la siguiente forma:

$$I_A = \frac{2}{9} \frac{\sum v \text{ prep}^{0,888}}{N}$$

Siendo:

- v Velocidad media diaria del viento en m/s.
- prep Lluvia total diaria expresada en mm.
- N Número de años total que integran la serie de datos (50 si la serie está completa 1962-2011).

Este valor se incluye en las fichas elaboradas para cada estación meteorológica y que se muestran en el Anejo A.1.

Queda igualmente en consecuencia del lado de la seguridad respecto a la estimación direccional. En cualquier caso, el valor cuantitativo obtenido, posibilita también aproximaciones posteriores a valores asociados a un edificio concreto, aplicando los coeficientes locales pertinentes.

Para el reparto direccional de la exposición entre las diferentes orientaciones de los cerramientos de un edificio, pueden utilizarse otros procedimientos, que con la ayuda de otros datos climáticos permiten aproximar con bastante precisión estos valores direccionales. Dicha aproximación se abordará a lo largo del apartado IV.5.3 del presente capítulo.

Como se aprecia, el valor I_A representa la acumulación anual de lluvia sobre la vertical del edificio, promediada entre el número de años que integra la serie. En las hojas de resultados y mapas, este valor se ha asociado a una zonificación elaborada en base a los resultados obtenidos, que viene a sustituir a las zonas pluviométricas de promedios utilizadas por el DB-HS1, que no representan la cantidad de lluvia incidente sobre los cerramientos verticales ni caracterizan adecuadamente la exposición.

Para ello se ha adoptado un criterio paralelo al utilizado por el CTE para determinar las zonas pluviométricas de promedios, configurando con similar amplitud los grupos o grados de exposición planteados: exposición “V” en caso de cuantificarse un valor $I_A < 155$ mm/año; “IV” entre 155 y 310 mm/año; “III” entre 310 y 620 mm/año; “II” entre 620 y 1240 mm/año y “I” para valores mayores.

- Zona I cuando $I_A > 1240$ mm/año
- Zona II cuando $620 \text{ mm/año} < I_A \leq 1240$ mm/año
- Zona III cuando $310 \text{ mm/año} < I_A \leq 620$ mm/año
- Zona IV cuando $155 \text{ mm/año} < I_A \leq 310$ mm/año
- Zona V cuando $I_A < 155$ mm/año

Las restantes variables calculadas y mostradas en las fichas de resultados, no son tan simples y precisan de un análisis estadístico previo que permita determinar su ocurrencia en base a un periodo de retorno establecido.

Tal es el caso de la lluvia batiente máxima de referencia I_S o lluvia máxima acumulada sobre un cerramiento vertical, durante un determinado periodo de

humedecimiento, definida en el punto 3.3 de la norma UNE y cuyos conceptos fundamentales han sido desarrollados a lo largo del Capítulo III:

$$I_S = \frac{2}{9} \sum v \text{ prep}^{0,888} \cos(D - \theta)$$

En este cálculo, se desprecian aquellos resultados del sumatorio con un valor inferior a 0, considerando así únicamente aquellos intervalos de precipitación en los que el viento impulsa cierta cantidad de lluvia sobre el cerramiento de orientación θ analizado.

La norma considera la existencia de periodos de humedecimiento solo limitados por periodos de al menos 96 horas sin aporte de lluvia batiente sobre el cerramiento de orientación analizada. La norma considera que durante dicho intervalo, existe riesgo de penetración de agua a través de la fábrica de albañilería, puesto que la aportación de lluvia batiente es superior a la pérdida debida a la evaporación.

Un periodo de 96 horas carentes de precipitación sobre el cerramiento pone fin a tal periodo, ya que es estimado como límite máximo a partir del cual las pérdidas por evaporación inician el secado del cerramiento.

Como se deduce, esta consideración es especialmente adecuada en cerramientos pesados de fábrica de albañilería, donde el material poroso tiende a retener y almacenar agua líquida y a cederla al ambiente exterior de forma diferida en el tiempo. La propia norma, corrobora esta afirmación al hacer referencia específica a este tipo de fachadas cerámicas.

Es necesario no obstante definir otro tipo de periodo de humedecimiento para cerramientos más ligeros, como ya identificó Rydock (2005), estimación que se ha atendido aquí, definiendo otras amplitudes para dicho periodo:

- Estimación de la lluvia batiente asociada al periodo de humedecimiento asociado a un único día de precipitación.
- Estimación de la lluvia batiente asociada al periodo de humedecimiento asociado a un intervalo ininterrumpido de días de precipitación (se considera acabado al producirse una jornada carente de lluvia).

A partir de los datos climáticos disponibles, la estimación horaria del periodo de humedecimiento según norma UNE se hace imposible, definiéndose en su sustitución un periodo limitado por 4 días (96 horas) carentes de lluvia batiente sobre el cerramiento, que se ha llamado “*Periodo Absoluto de Humedecimiento*”.

Este hecho conlleva una ligera disminución de la precisión en los resultados, que no obstante, queda del lado de la seguridad, ya que se incrementa la duración de los periodos de humedecimiento, respecto a los obtenidos utilizando mediciones horarias (véase figura IV.3).

Por otro lado, la definición del periodo de humedecimiento va asociada a la orientación del cerramiento, como corresponde a la magnitud direccional que la norma presenta, aspecto que tampoco puede ser considerado.

Por ello solo la completa ausencia de precipitación sobre el edificio (independientemente de la orientación del cerramiento), puede poner fin al periodo absoluto de humedecimiento, siendo mayores las posibilidades de que éste se prolongue

y el valor escalar de I_{AS} se vea mayorado. En consecuencia, los periodos absolutos de humedecimiento así calculados no son estrictamente comparables con los definidos en la norma por la mayor duración de los primeros.

Aun así, el resultado presentado queda del lado de la seguridad, permite su ágil utilización a partir de los datos disponibles y es suficientemente representativo de la sollicitación asociada al emplazamiento.

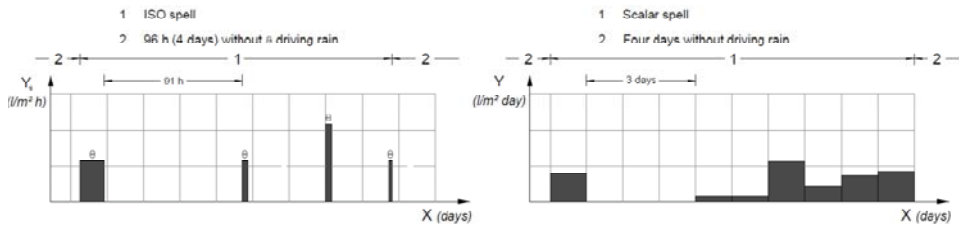


Figura IV.3.- Comparación del periodo de humedecimiento definido por la norma (izq.) y el considerado escalarmente (absoluto) según la definición propuesta para un mismo intervalo de tiempo teórico (der.).

Para calcular la magnitud de lluvia batiente que incide sobre el cerramiento durante cada periodo de humedecimiento, la norma asocia dicho valor a cada posible orientación θ del cerramiento.

Como en el caso anterior, tampoco es viable esta distinción direccional, al no disponerse de los datos necesarios, por lo que se hace necesario eliminar de nuevo el componente direccional de la expresión. Así, para el cálculo de la variable, se toman únicamente valores de precipitación diarios y valores de velocidad eólica media diaria a lo largo de todo el periodo absoluto de humedecimiento, obteniendo un valor escalar asociado a dicho periodo absoluto:

$$I'_{AS} = \frac{2}{9} \sum v \text{ prep}^{0,888}$$

Los resultados de I'_{AS} [mm/periodo absoluto] son obtenidos para cada uno de los periodos absolutos de humedecimiento detectados en cada año de la serie histórica analizada. Lógicamente ni la duración del periodo ni la magnitud de lluvia batiente calculada, se asocian a una orientación concreta del cerramiento, siendo valores escalares asociados a cualquiera de los cerramientos del edificio y por lo tanto, mayores a los valores calculado según cálculo UNE.

Partiendo de ellos, se recopila una serie histórica anual de valores, con el valor máximo I'_{AS} registrado en cada uno de los años.

Con esta serie, es posible determinar tal y como se presenta en la ficha de cada estación, el valor de lluvia batiente máxima de referencia escalar (I_{AS}), es decir, el valor máximo de I'_{AS} que se espera se produzca para un periodo de retorno de 3 años (propuesto por la norma). El mismo análisis estadístico se realiza también para 10, 30 y 50 años, utilizando para ello la distribución de Gumbel.

El anterior cálculo se realiza partiendo de la serie histórica de máximos anuales, correspondientes en este caso a series de más de 30 años en el periodo 1962-2011. Sobre estos datos es posible aplicar un modelo de distribución de variables aleatorias, que permita determinar la frecuencia de repetición en el tiempo (periodo de retorno), de un fenómeno de magnitud determinada (en este caso, valor de I'_{AS}).

Son múltiples las distribuciones probabilísticas utilizables a tal fin (Gauss, Pearson, Anhert, Log-normal, Gamma, Exponencial...), si bien es la distribución de Gumbel (1958), el modelo universalmente aceptado y de mayor implantación para la determinación de variables aleatorias extremas (máximos y mínimos). Su distribución en forma de campana asimétrica, proporciona una buena adaptación a la ocurrencia de fenómenos extremos, como es el caso que nos ocupa.

Su uso para la determinación de magnitudes de precipitación en base a periodos de retorno, cuenta con una amplia tradición, incluso en nuestro país (Catala, 1992) y las predicciones realizadas mediante esta metodología han ido probando con el tiempo su adecuada precisión.

Del mismo modo, la propia norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, recomienda el uso de dicha construcción matemática para la estimación del periodo de retorno en el método de determinación cualitativo (véase el capítulo III).

Partiendo de una muestra de valores extremos, en este caso máximos anuales de I'_{AS} , la construcción de esta distribución permite determinar la frecuencia de aparición en el tiempo de una determinada intensidad del fenómeno, así como determinar la intensidad de la variable que se espera se repita cada periodo de tiempo específico.

La naturaleza estadística y probabilística de este cálculo, viene a minimizar las anteriores limitaciones del método, en cuanto a la pérdida de precisión en la elaboración de los resultados.

La formulación matemática de la distribución de Gumbel, se desarrolla del siguiente modo:

Dada una serie histórica de datos máximos correspondientes a la variable aleatoria ψ , la probabilidad $F(x)$, de dicha variable sea inferior a un valor determinado x , puede determinarse según la expresión siguiente, siendo α y u , valores de ajuste característicos de la propia distribución y de la muestra de datos utilizada:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{\sigma_g}{\sigma}$$

Siendo:

σ *Desviación típica de la serie de datos, dependiente por lo tanto de la muestra de datos utilizada. El valor para la serie se muestra en la ficha de resultados para cada parámetro analizado.*

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\bar{x} - \psi_i)^2}{N}}$$

σ_g Variable dependiente de la propia distribución, determinada en función del número de datos que integran la muestra, N . Su valor puede aproximarse de forma somera a 1,2825 (Wanielista, Kersten y Eaglin, 1997), si bien su cálculo exacto (tal y como se ha realizado en este estudio), se obtiene como la desviación típica de N valores y_i , con $i = 1 \dots N$, calculados del siguiente modo:

$$y_i = -\ln(\ln(\frac{N+1}{i}))$$

N Número de datos que integran la muestra. Se indican en la ficha de resultados para cada parámetro analizado, siendo su valor 50 si la serie 1962-2011 está completa.

\bar{x} Promedio del valor de la serie de datos que integran la muestra analizada. Su valor se presenta en la ficha de resultados de cada estación, para cada parámetro estudiado.

$$\bar{x} = \frac{\sum \psi_i}{N}$$

Y donde:

$$u = \bar{x} - u_g \frac{\sigma}{\sigma_g} = \bar{x} - u_g \frac{1}{\alpha}$$

Siendo:

u_g Variable dependiente de la propia distribución, determinada en función del número de datos que integran la muestra, N . Su valor puede aproximarse de forma somera a 0,5772 (Wanielista, Kersten y Eaglin, 1997), si bien su cálculo exacto (tal y como se ha realizado en este estudio), se obtiene como el promedio de N valores y_i , con $i = 1 \dots N$, calculados del siguiente modo:

$$y_i = -\ln(\ln(\frac{N+1}{i}))$$

Para el caso concreto de la determinación de periodos de retorno de valores máximos de la variable, los N datos utilizados en la serie, corresponden a los máximos anuales detectados para la variable analizada ψ y lo que se pretende es determinar la probabilidad $P(x)$ de que la variable ψ no supere un determinado valor fijado x :

$$P(x) = 1 - F(x) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

Si la serie histórica de datos máximos se elabora de forma anual, la probabilidad $TR(x)$, de que un valor de magnitud igual o superior a “ x ” se repita en un determinado periodo de años, puede expresarse como la inversa de la probabilidad de que dicho valor sea superado anualmente:

$$TR(x) = \frac{1}{P(x)} = \frac{1}{1-F(x)} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

$$TR(x) = N^{\circ} \text{ de años de ocurrencia}$$

Así, las probabilidades de ocurrencia de un fenómeno mayor que el indicado, serán, para los diferentes periodos de retorno utilizados:

$$TR_{3 \text{ años}}(x) = 3 = \frac{1}{0,333} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

$$TR_{10 \text{ años}}(x) = 10 = \frac{1}{0,1} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

$$TR_{30 \text{ años}}(x) = 30 = \frac{1}{0,033} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

$$TR_{50 \text{ años}}(x) = 50 = \frac{1}{0,02} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

Las anteriores expresiones pueden utilizarse por lo tanto de forma bidireccional: Determinando el periodo de retorno $TR(x)$ que se pretende analizar y resolviendo la variable “ x ” que caracteriza a dicho periodo de retorno; o resolviendo el número de años TR , asociado a la probabilidad de ocurrencia de un determinado valor “ x ” en la variable.

Será la primera aproximación, la más interesante en este estudio, determinando de este modo, el valor de la variable, que se espera se vea únicamente superado cada 3, 10, 30 y 50 años. Despejando de la ecuación anterior dicha variable “ x ”, se obtiene:

$$x = \frac{-\ln(-\ln(1 - \frac{1}{TR(x)}))}{\alpha + u}$$

Siendo:

$TR(x)$ El valor conocido asociado a la probabilidad de ocurrencia anual de un fenómeno (0,333; 0,1; 0,033 y 0,02 para los periodos de retorno estimados).

En la tabla mostrada a continuación (Tabla IV.2), se desarrolla el anterior proceso de cálculo del valor I'_{AS} asociado a un determinado periodo de retorno de 3 años (I_{AS}), mediante la llamada distribución de Gumbel, en este caso para la estaciones meteorológica analizada a lo largo del presente trabajo, de mayor exposición (Santiago de Compostela).

Tabla IV.2.- Proceso esquemático de cálculo mediante la distribución de Gumbel de la exposición a lluvia batiente asociada a periodos de humedecimiento absoluto I_{AS} para un periodo de retorno de 3 años (Pérez-Bella et al., 2012a).

Aeropuerto de Santiago de Compostela. Estación 1428. 42°53'16"N 08°24'39"W			
Año	Máximo valor anual I'_{AS} (mm/periodo absoluto)	Año	Máximo valor anual I'_{AS} (mm/periodo absoluto)
1962	1069,87	1987	916,57
1963	1385,52	1988	676,20
1964	594,99	1989	737,81
1965	361,90	1990	378,84
1966	2339,14	1991	471,57
1967	577,99	1992	428,83
1968	450,66	1993	528,32
1969	477,18	1994	583,82
1970	771,33	1995	584,46
1971	539,41	1996	628,76
1972	937,45	1997	401,24
1973	319,98	1998	443,48
1974	647,88	1999	285,58
1975	465,12	2000	338,12
1976	613,10	2001	1554,31
1977	1175,57	2002	647,77
1978	776,22	2003	486,72
1979	780,55	2004	356,46
1980	356,61	2005	496,18
1981	292,80	2006	593,93
1982	749,51	2007	363,86
1983	453,98	2008	243,12
1984	363,56	2009	406,32
1985	361,71	2010	300,79
1986	859,29	2011	206,73

Variable	Valor	Comentario
N	50	Numero de datos x_i en la serie.
\bar{x}	615,622	Promedio de la serie: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$
σ_x	370,981	Desviación estándar: $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}$
u_y	0,548	Promedio de 1 a N valores y_i de la variable reducida: $y_i = -\ln(\ln(\frac{N+1}{i}))$ (Depende del valor N y puede ser aproximada como la cte. de Euler, 0,5772)
σ_y	1,161	Desv. estándar de 1 a N valores y_i de la variable: $y_i = -\ln(\ln(\frac{N+1}{i}))$ (Depende del valor N y puede ser aproximada como 1,2856 constante)
u	440,292	Moda: $u = \bar{x} - u_y \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$
α	0,003129	Parámetro de dispersión: $\alpha = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$

Función acumulativa de la distribución. $F(x) = \exp(-\exp^{-y}) = \exp(-\exp^{-\alpha(x-u)})$

TR	3 years	Tomado de forma semejante al parámetro I_S de la norma UNE
$1 - F(x)$	0,3333	Probabilidad anual de exceder el valor x .
Valor x	728,828	Valor I_{AS} (máximo I'_{AS} que puede darse una vez cada 3 años, expresado en mm/periodo absoluto).

Se recuerda en este punto, que tal y como se presentó en el Capítulo III, el apartado de la norma UNE referido cálculo del valor de I_s asociado al periodo de retorno de 3 años, ha sido mal adaptado o traducido a partir del estándar ISO 15927-3:2009, presentando una definición confusa y ambigua, que precisa de una rápida corrección.

A pesar de la confusión existente en la norma para la aplicación de los procedimientos matemáticos que determinan el valor asociado a un periodo de retorno (analizada en el capítulo III), es obligado trabajar con series anuales de valores máximos de dicha variable.

De no hacerse así, el percentil del 67% de los valores de I'_s (tal y como indica la norma), no representaría el valor máximo de I'_s que puede producirse una vez cada tres años, sino aquel que puede producirse una vez, cada tres periodos de humedecimiento, de los múltiples existentes en un año.

El mismo tratamiento matemático definido anteriormente, se utiliza para determinar la duración esperada del periodo absoluto de humedecimiento en diferentes periodos de retorno. Para ello, la duración máxima que llega a alcanzar uno de dichos periodos cada año, es recopilado en una serie histórica anual.

De de esta forma, aplicando la distribución de Gumbel, se ha obtenido en este trabajo, para periodos de retorno diferentes, la estimación de la duración escalar máxima del periodo absoluto de humedecimiento por lluvia batiente, expresada en días.

Para el cálculo de la presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante el periodo absoluto de humedecimiento, se ha seguido un planteamiento similar, en el que intervienen algunos datos climáticos secundarios recopilados en las estaciones meteorológicas de la AEMET.

La presión eólica diaria puede obtenerse de forma simple a través de la siguiente expresión:

$$\text{Presión eólica} = \frac{1}{2} \rho_{\text{aire}} v^2 \quad [\text{Pa}]$$

Siendo:

v El valor medio de velocidad de viento registrado diariamente, expresado en m/s.

ρ_{aire} Densidad media del aire registrada diariamente, expresada en kg/m^3 . Este valor puede determinarse de forma exacta a partir de los valores extremos de presión atmosférica registrada y de la temperatura media diaria, supuesto el mismo como un gas idea. En aquellos casos en los que la estación carece de datos de presión o temperatura, su valor se ha aproximado a $1,2 \text{ kg/m}^3$.

$$\rho_{\text{aire}} = \frac{P_{\text{atm}} M}{R T}$$

Donde:

P_{atm} es la presión atmosférica media expresada en Pa (J/m^3).

M es la masa molecular del aire, aproximada a 0,0288503 Kg/mol.

R es la constante de los gases ideales, igual 8,31434 J/mol K.

T es la temperatura media del aire, expresada en grados Kelvin.

$$\rho_{aire} = \frac{2,88503 \left(\frac{P_{max} + P_{min}}{2} \right)}{8,31434 (T_{med} + 273,15)}$$

Para la estimación de la presión eólica media correspondiente a cada periodo absoluto de humedecimiento, se han promediado los valores de presión eólica diarios correspondientes a cada uno de los días que integran dicho periodo.

Recopilando una serie histórica elaborada a partir de la máxima presión eólica identificada en cada periodo anual, puede utilizarse la distribución de Gumbel para estimar los valores de presión eólica esperados en diferentes periodos de retorno. Así, se han presentado para cada estación, los valores de presión eólica por periodo [N/m^2 periodo absoluto], esperados para periodos de retorno de 3, 10, 30 y 50 años.

Ha de recordarse que dicho valor de presión eólica no representa la presión eólica esperada sobre el edificio, sino la presión eólica esperada simultáneamente a la precipitación, durante un periodo absoluto de humedecimiento. Consecuentemente, dichos valores de presión eólica son muy inferiores a los máximos recogidos por otros documentos normativos, como CTE DB-SE-AE, que no establecen tal distinción.

El mismo procedimiento se ha llevado a cabo para la obtención de las restantes magnitudes analizadas en este trabajo:

Tras determinar la lluvia batiente que se produce cada día en el que se registra precipitación las expresiones ya presentadas, se ha elaborado una serie histórica de máximos anuales, correspondientes a la máxima intensidad escalar de lluvia batiente recogida en un único día sobre el edificio (se ha eliminado la distinción direccional).

$$I'_D = \frac{2}{9} \sum v \text{ prep}^{0,888}$$

La aplicación de la distribución de Gumbel a dicha serie histórica de máximos diarios, permite presentar en las fichas de resultados, la lluvia batiente escalar máxima diaria I_D , esperada para periodos de retorno de 3, 10, 30 y 50 años.

Se establece así por lo tanto la solicitud asociada al mínimo periodo de tiempo analizable a partir de los datos diarios disponibles para la realización del estudio, constituyendo un valor de interés para el estudio de la exposición sobre la envolvente: lluvia máxima recogida sobre el edificio de forma puntual durante un día de precipitación, en base a diferentes periodos de retorno.

Siguiendo el mismo proceso, a partir de la presión eólica diaria simultánea a la precipitación calculada según anteriores expresiones, se determina una serie histórica de valores máximos anuales y mediante la distribución estadística, el valor de presión eólica

escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria, para los mismos periodos de retorno mencionados.

En este caso el periodo de humedecimiento de la exposición no es analizable ya que el mismo se fija siempre en un único día.

Puede también estimarse un periodo de humedecimiento de mayor simplicidad y menor duración que el adaptado a partir del anexo B de la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, más apto por lo tanto para cerramientos de menor masa y capacidad de retención de humedad que los cerramientos pesados de fábrica de albañilería.

Para ello se define el periodo limitado al presentarse un día carente de precipitación sobre el edificio. Este periodo que ha denominado en este estudio “*Periodo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida*” y dadas sus características (no puede contener periodos secos de más de 24 horas), presenta duraciones más reducidas que el calculado según la norma UNE y que el “absoluto” adaptado a partir de la misma en este trabajo.

Se desprecia en el mismo, la posibilidad de que en ausencia de lluvia sobre la fachada, las condiciones de humedad se mantengan en la misma durante 96 horas (4 días), por insuficiente evaporación. Por el contrario, se considera que dicha evaporación comienza a producirse al no registrarse incidencia de agua por lluvia batiente sobre el cerramiento durante un día.

La utilización de este periodo de humedecimiento ininterrumpido es de especial interés en tipologías de cerramientos más ligeros y en los que por lo tanto, no se produce la absorción de agua y lenta cesión de humedad al ambiente característica de los cerramientos pesados de albañilería.

La definición de periodos de este tipo había sido demandada con anterioridad por diversos investigadores (Rydock, 2005), que veían excesiva la consideración general de la norma a todos los cerramientos (incluidos los no cerámicos). El periodo definido, condicionado por lo datos disponibles, constituye por lo tanto una caracterización de indudable relevancia, no recogida por la norma actual.

La determinación de la duración, intensidad de lluvia batiente y presión eólica durante la ocurrencia de estos periodos, sigue la misma metodología descrita ya anteriormente. Así, se determina la intensidad de lluvia batiente acumulada para cada periodo absoluto de lluvia ininterrumpida y se establece una serie histórica con los valores máximos anuales registrados en cada uno de dichos periodos:

$$I'_{S_{ii}} = \frac{2}{9} \sum v \text{ prep}^{0,888}$$

Aplicando la distribución de Gumbel a los valores máximos anuales, es posible obtener el valor de lluvia batiente escalar máxima ininterrumpida $I_{S_{ii}}$ para los periodos de retorno estudiados (3, 10, 30 y 50 años).

Desarrollando el mismo proceso con la presión eólica simultánea durante los periodos escalares de lluvia ininterrumpida (promedio de la presión diaria registrada durante todos los días que integran el periodo ininterrumpido), se obtiene del mismo modo la presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente ininterrumpida, para diferentes periodos de retorno.



Figura IV.4.- Proceso de cálculo cuantitativo de la sollicitación por humedad a partir de datos diarios, utilizado en este estudio.

La duración escalar del periodo de humedecimiento ininterrumpido admite similar tratamiento que el periodo absoluto, siendo los resultados obtenidos de menor duración que los determinados para este último (el periodo se ve interrumpido por la ocurrencia de un único día carente de precipitación, a diferencia del periodo absoluto que precisa de 4 días carentes de precipitación).

Los resultados de presión eólica y lluvia batiente, se muestran como todos los anteriores, en las fichas de resultados elaboradas (anexo A.1).

Como resultado de las operaciones y análisis estadísticos necesarios en la elaboración de las variables expuestas, se ha obtenido también para la serie histórica tratada (1962-2011) y para series inferiores (1980-2011, 2001-2011 y 2008-2011), algunos datos estadísticos de interés, que ya han sido especificados al inicio de este apartado.

Ha de recordarse que dichos valores corresponden a situaciones puntuales que se han producido en momentos concretos, que se caracterizan por representar situaciones máximas o extremas de lluvia, viento o duración de los periodos considerados. Dichos valores no han sido sometidos a tratamiento estadístico alguno que permita su utilización como referencia para determinar valores asociados a periodos de retorno.

Constituyen por lo tanto únicamente datos anecdóticos, que pretenden ilustrar las situaciones puntuales más desfavorables registradas, con fines estadísticos o de simulación realista. Del mismo modo, permiten interpretar de forma intuitiva, la sensibilidad, para cada estación, a la utilización de series de datos de mayor o menor antigüedad. Todos estos datos estadísticos anecdóticos se recogen igualmente en la ficha de resultados, configurando un bloque diferenciado para cada estación meteorológica.

IV.3.1.3.- Proceso de cálculo escalar cualitativo

Para aquellos casos en los que los datos disponibles no posibiliten una estimación adecuada de la sollicitación por humedad sobre el cerramiento (datos no horarios), la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 prevé un método alternativo, que permite una estimación cualitativa de la sollicitación en intervalos de medias jornadas, a partir del viento medio y lluvia expresados según el código meteorológico. Para ello pueden utilizarse registros sinópticos procedentes de las estaciones meteorológicas, recopilados cada 3 horas (véase capítulo III).

Este método alternativo, basado en el cómputo de medias jornadas diarias “*húmedas*”, “*secas*” o “*neutras*” según las condiciones registradas a lo largo de dicho medio día. A cada media jornada “*húmeda*” se le asigna un valor “+1”, a cada media jornada “*seca*” un valor -1 y a cada jornada “*neutra*”, un valor de 0. La progresión de la humedad en el cerramiento se representa anualmente, considerando como única restricción la imposibilidad de alcanzar valores menores a 0.

Una mayor exigencia se identifica por un mayor número de medias jornadas “*húmedas*” acumuladas a lo largo de un año.

Un periodo de 12 horas o media jornada, se califica como “*húmedo*”, siempre y cuando se den las siguientes circunstancias:

- Se registra una precipitación pluviométrica de más de 4 mm.
- La velocidad media del viento es superior a 2 m/s.
- La dirección del viento esta dentro del rango de 60° respecto a la perpendicular al cerramiento analizado.
- Se produce algún tipo de precipitación, para al menos tres de los 5 registros realizados cada tres horas en la media jornada analizada.

Por su parte, un periodo de 12 horas o media jornada, se califica como “*seco*”, siempre y cuando se den las siguientes circunstancias:

- La humedad relativa media ambiental registrada es inferior al 70%.
- La velocidad media del viento es superior a 2 m/s.
- La dirección del viento esta dentro del rango de 60° respecto a la perpendicular al cerramiento analizado.

En caso de no satisfacerse las condiciones anteriores, el día es considerado como “*neutro*”, no produciéndose ni el humedecimiento ni la evaporación de agua en el muro (supuesto éste de fábrica pesada de albañilería, en consonancia con la definición de la propia norma UNE del periodo de humedecimiento). Como en casos anteriores, el cálculo habría de realizarse para cada posible orientación del cerramiento, asociando a cada una de ellas un valor o número de medias jornadas máximo anual.

Posteriormente, el valor máximo (pico) que se llega a acumular cada año es registrado en una serie histórica de máximos. Mediante la aplicación de las operaciones matemáticas expuestas para la distribución de Gumbel, puede estimarse el periodo de humedecimiento de referencia por lluvia batiente (medias jornadas húmedas máximas) para un periodo de retorno de 10 años y con él, indirectamente o de forma cualitativa, la solicitud por humedad sobre el cerramiento.

La utilización de datos diarios y el desconocimiento de la direccionalidad del viento y de la humedad relativa diaria, obliga, no obstante a adaptar las anteriores consideraciones para tratar de establecer una evaluación escalar y cualitativa de esta solicitud lo más aproximada al resultado de la norma.

En España no se dispone de un número significativo de estaciones con mediciones sinópticas realizadas en intervalos de tres horas y de la suficiente antigüedad

o cuando sí se dispone, las mediciones atmosféricas importantes solo son recopiladas cada 6 horas, haciendo que los datos sean igualmente insuficientes para la aplicación del método definido por la norma UNE.

Con objeto de desarrollar una medición equivalente en la medida de las posibilidades de los datos disponibles, se define en el presente estudio como día “*húmedo*”, con un valor “+1”, a aquel día que cumpla con las condiciones marcadas a continuación; tal y como se observa, se pretende contabilizar las condiciones mínimas que ha de registrar una media jornada “*húmeda*” y otra “*neutra*”, según el criterio previo, dentro del día analizado.

- Se registra una precipitación pluviométrica de más de 4 mm.
- La velocidad media del viento es superior a 1 m/s.

Se define del mismo modo como día “*húmedo*”, con un valor “+2”, a aquel día que cumpla con las siguientes condiciones. Tal y como se observa, se pretende contabilizar las condiciones mínimas que han de registrar dos medias jornadas “*húmedas*”, según el criterio previo.

- Se registra una precipitación pluviométrica de más de 8 mm.
- La velocidad media del viento es superior a 2 m/s.

La caracterización realizada es escalar, despreciando la direccionalidad del viento, considerando todo viento cuya velocidad sea mayor que la establecida, independientemente de su dirección. Como en parámetros anteriores, este hecho mejora la condición de humedad en el cerramiento.

Del mismo modo, la continuidad de la precipitación en la media jornada o día, tampoco puede medirse, por lo que no se toma en consideración en este análisis. Como el parámetro anterior, redundará en una ligera mayoración de la cualificación de humedad.

Un día “*seco*”, con un valor asociado “-1” se define por su parte, como aquel que satisface las siguientes condiciones. Como en el caso anterior, se pretende contabilizar las condiciones mínimas que ha de registrar una media jornada “*seca*” y otra “*neutra*”, según el criterio anterior.

- La precipitación es inapreciable (inferior a 0,1 mm).
- La humedad relativa media ambiental registrada es igual o inferior al 70%.
- La velocidad media del viento es superior a 1 m/s.

Se define como día “*seco*”, con un valor “-2”, a aquel día que cumpla con las siguientes condiciones. Tal y como se observa, se pretende contabilizar las condiciones mínimas que han de registrar dos medias jornadas “*secas*”, según el criterio previo.

- La precipitación es inapreciable (inferior a 0,1 mm).
- La humedad relativa media ambiental registrada es igual o inferior al 70%.
- La velocidad media del viento es superior a 2 m/s.

Como en el caso anterior, los parámetros calculados son escalares, produciendo en este caso tiene un efecto inverso y compensador del producido en días “*húmedos*” sobre el resultado y aproximaciones posteriores posibles. Así, igual que se tiende a adoptar jornadas “*húmedas*” independientemente de la dirección del viento, lo mismo pasa con las jornadas “*secas*”, compensándose ambos efectos.

Puesto que los datos diarios disponibles no ofrecen valores de humedad relativa diarios, se hace necesario aproximar dicho valor a partir de otras fuentes más inexactas. A tal fin se emplea de forma aproximada la caracterización establecida por el Atlas Nacional de España, elaborado por el Instituto Geográfico Nacional y el Ministerio de Fomento, en base a datos suministrados por AEMET.

Dicha caracterización establece la humedad relativa media registrada por estación climatológica, para todo el territorio español en los últimos años, lo que permite asociar un valor de humedad relativa estacional a cada estación meteorológica analizada.

Dado que la caracterización es estacional, se producen largos periodos en los que las condiciones impiden jornadas “*secas*” (humedad relativa estacional superior al 70%) y largos periodos que impiden jornadas “*húmedas*” (humedad relativa estacional inferior al 70%), que en términos generales, coincide con las condiciones diarias existentes en cada estación climática.



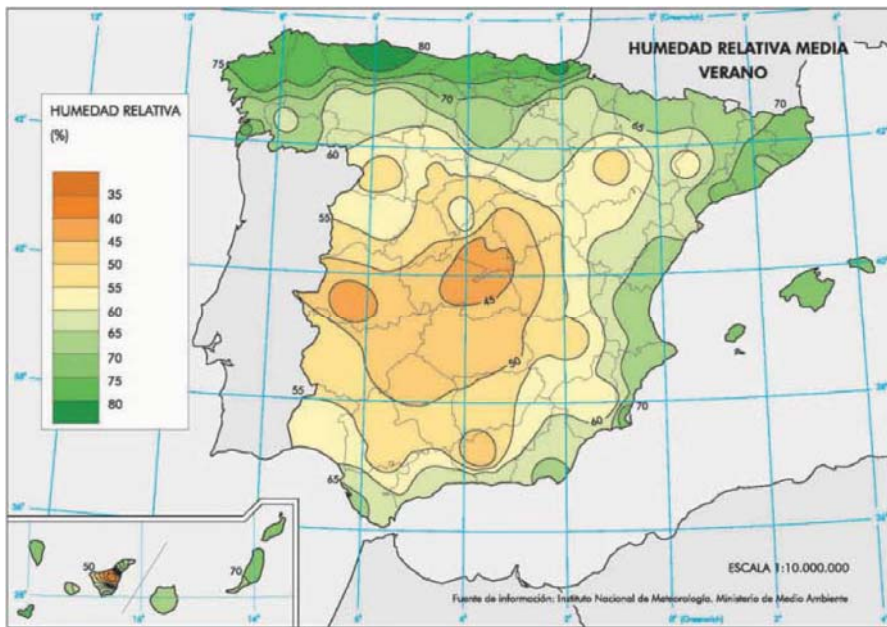




Figura IV.5.- Caracterización de la humedad relativa por estaciones climáticas, recogida por el Atlas Nacional de España y utilizada para el cálculo escalar cualitativo. Fuente: Instituto Geográfico Nacional y Ministerio de Fomento, 2011.

El valor cualitativo así calculado es una somera aproximación al establecido por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, que hay que utilizar con relativas cautelas.

En aquellos casos en los que el emplazamiento se caracteriza por elevados valores de humedad relativa (localizaciones costeras, clima atlántico, bajas temperaturas...), puede darse el caso de que la estimación estacional de la humedad relativa, impida procesos de evaporación en las fachadas a lo largo de todo el año. En estos casos, la serie acumulada anual aumenta de forma progresiva año tras año, siendo el máximo anual siempre mayor al correspondiente al año anterior.

El mismo efecto puede producirse aplicando el método estrictamente definido por la norma, como consecuencia de una predominancia anual de jornadas “*húmedas*” en el emplazamiento. La disponibilidad de datos más precisos de humedad relativa, contribuiría a la mejora en la aproximación de éste parámetro.

En cualquier caso, aun con datos mensuales de humedad relativa, el método no presenta mejor comportamiento. Así por ejemplo, en el periodo 1971-2000, las humedades relativas mensuales medias en San Sebastián, no fueron en ningún caso inferiores al 72%, con máximos que alcanzan el 77% (según datos AEMET). Ello implica que de media, no se producen condiciones que permitan el secado anual de los cerramientos, en relación a los criterios marcados por la norma.

En caso de producirse esta circunstancia, ha sido indicada con un sombreado en la hoja de resultados de la estación, interpretándose en ese caso que la estimación del periodo de humedecimiento escalar de referencia por lluvia batiente, adquiere un valor

“máximo”, no cuantificable. Bajo estas condiciones de ausencia de jornadas “secas”, el periodo de humedecimiento acumulado crece sin parar anualmente, lo que hace carente de sentido la utilización de la distribución de Gumbel para la caracterización de periodos de retorno y la asignación de un valor cuantitativo a dicho periodo. Por ello se prefiere la caracterización de sollicitación “máxima”, sin valor numérico asociado. Este hecho se ha detectado fundamentalmente en la cornisa cantábrica, por la combinación de bajas temperaturas y climatología húmeda atlántica durante todo el año.

Por último, se define como día “*neutro*”, aquel cuyas características no corresponden con ninguno de los conjuntos anteriores.

La asignación a cada día, de los valores correspondientes a su condición, permite elaborar la progresión de la humedad en el cerramiento anual, considerando como única restricción la imposibilidad de alcanzar valores menores a 0. La evolución de dicha progresión, aunque elaborada diariamente, presenta una sensibilidad similar a la elaborada según medias jornadas, gracias a los convenios adoptados.

El registro en serie histórica del valor máximo que se llega a acumular cada año, permite mediante la distribución de Gumbel, estimar el periodo de humedecimiento de referencia por lluvia batiente, tanto para un periodo de retorno de 10 años, como de 3, 30 y 50 años. Los resultados correspondientes a los diferentes periodos de retorno, se exponen como el resto de los parámetros en la ficha de resultados asociada a cada estación de medición (anejo A.1).

Huelga decir que en aquellos casos en los que la serie anual analizada se ve interrumpida por falta de datos correspondientes a algunos años, el contador de acumulación de periodo de humedecimiento vuelve a iniciarse en un valor de 0 al retomarse de nuevo la serie anual, evitando así saltos de difícil justificación en la serie.

Lógicamente, la precisión del método definido es menor a la obtenida a partir del procedimiento UNE, como también lo son los datos disponibles de partida. No obstante, aun a pesar de no ser comparables, los resultados son convergentes entre sí, sirviendo el indicador igualmente para caracterizar cualitativa y comparativamente, la sollicitación existente en diferentes cerramientos del territorio español.

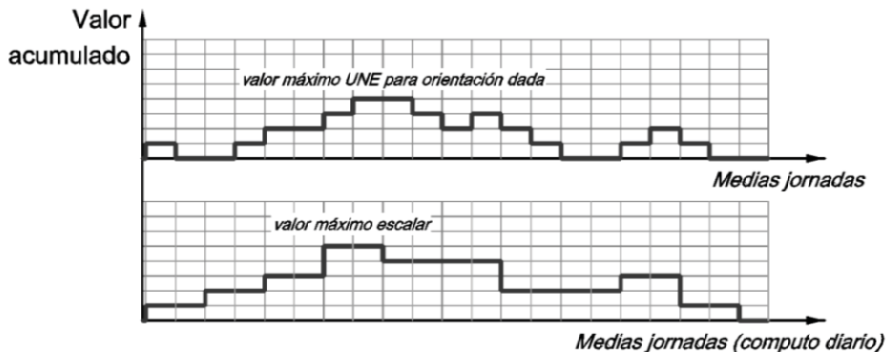


Figura IV.6.- Comparación entre una serie cualitativa teórica obtenida mediante el procedimiento UNE, horarios y direccional (*sup.*) y la misma serie obtenida mediante el procedimiento escalar propuesto (*diario y estacional*) (*inf.*).

IV.4.- PRESENTACIÓN Y UTILIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos se muestran en el anejo A.1 para cada uno de los emplazamiento estudiados, mediante dos hojas resumen por estación, distribuidas tal y como se indica en las imágenes siguientes.

En el primer bloque de la primera de las hojas, se describen los datos correspondientes a la estación meteorológica analizada, reflejando su indicativo, coordenadas, altura, amplitud de la serie histórica considerada y los valores de humedad relativa estacional adoptados para el cálculo del método cualitativo.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias			
ESTACION 76 AEROP. DE BARCELONA Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Perce, J.M.		41° 17' 34N 02° 04' 12E Altitud: 4 m	H. relativa media primavera: 70 H. relativa media verano: 70 H. relativa media otoño: 73 H. relativa media invierno: 70
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedio: CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos
611,72	III		
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.	
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI	
425,05	Protección	Leve(s)	
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Mediana aritmética en muestra: 113,4421	
		Desviación típica en muestra: 60,1542	
Ia [mm/periodo] TR=3 años	Ia [mm/periodo] TR=10 años	Ia [mm/periodo] TR=30 años	Ia [mm/periodo] TR=50 años
132,00	201,54	260,61	307,44
Duración máxima escalar de periodo de humedecimiento por lluvia batiente (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Mediana aritmética en muestra: 19,9400	
		Desviación típica en muestra: 6,9409	
Periodo [días] TR=3 años	Periodo [días] TR=10 años	Periodo [días] TR=30 años	Periodo [días] TR=50 años
22	30	37	40
Presión edica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo de humedecimiento (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Mediana aritmética en muestra: 31,4809	
		Desviación típica en muestra: 12,5200	
N[mm] periodo TR=3 años	N[mm] periodo TR=10 años	N[mm] periodo TR=30 años	N[mm] periodo TR=50 años
33,31	49,87	62,12	67,71
Estratificación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Mediana aritmética en muestra: 13,2000	
		Desviación típica en muestra: 6,2354	
I/2 [jora.] TR=3 años	I/2 [jora.] TR=10 años	I/2 [jora.] TR=30 años	I/2 [jora.] TR=50 años
15	22	28	31
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Mediana aritmética en muestra: 59,9575	
		Desviación típica en muestra: 21,8074	
Ia [mm/día] TR=3 años	Ia [mm/día] TR=10 años	Ia [mm/día] TR=30 años	Ia [mm/día] TR=50 años
98,49	100,82	128,04	140,47
Presión edica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Mediana aritmética en muestra: 76,5611	
		Desviación típica en muestra: 23,2958	
N[mm] día TR=3 años	N[mm] día TR=10 años	N[mm] día TR=30 años	N[mm] día TR=50 años
85,67	110,72	133,48	143,87

Datos de partida

Resultados anuales

Periodo UNE Anexo B

Cálculo cualitativo

Resultados diarios

Datos de distribución Gumbel
Datos para periodos de retorno

Figura IV.7.- Disposición de resultados en la primera hoja de resultados correspondiente a cada estación y presentación de datos utilizados para la distribución Gumbel y resultados para periodos de retorno.

En el segundo bloque se presentan los datos relativos a la precipitación pluviométrica anual y su zona pluviométrica asociada, caracterizada de acuerdo a los criterios establecidos por el DB-HS1 del CTE.

Dado que la serie considerada en este trabajo analiza un mayor número de años que la empleada por el CTE para definir las zonas pluviométricas, en caso de que haya una disparidad de resultados entre ambas, este hecho se muestra en la ficha de resultados. Se considera en todo caso más adecuado el resultado aportado por este trabajo, al basarse en datos recogidos a lo largo de un periodo de tiempo mayor que el CTE en todo caso (el número mínimo de años utilizados siempre es superior a 30, máximo utilizado por el Código Técnico).

En el mismo bloque se muestra otro indicador basado en un periodo anual: la lluvia batiente anual de referencia escalar I_A . En base a este valor anual, se indica la zona de referencia asociada al valor, tal y como se ha descrito anteriormente, estableciendo así una zonificación de la geografía española basada en este parámetro. Del mismo modo, se presenta la zonificación correspondiente según la escala creada por Lacy, asociada al valor daDRI calculado para el emplazamiento.

Ya en el tercer bloque de resultados, aparecen los datos relativos a la solicitud registrada durante periodos absolutos de humedecimiento, indicando la cantidad de lluvia batiente recogida sobre la vertical, la duración máxima del periodo absoluto de humedecimiento y la presión eólica máxima durante dicho periodo, para diferentes periodos de retorno de interés (3, 10, 30 y 50 años).

Dado que el cálculo se realiza en base a diferentes periodos de retorno, se incluyen igualmente el número de datos máximos anuales empleados para calcular la distribución de Gumbel (número de datos anuales máximos o N), el promedio de los datos que componen la serie (valor medio de la variable en los años analizados) y la desviación típica de esa misma la serie de datos (σ).

Ocupando el cuarto bloque, con una única familia de resultados, se presenta la duración, expresada en medias jornadas, del periodo de humedecimiento de referencia, calculado de forma cualitativa a partir de las adaptaciones realizadas sobre el método propuesto por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011. Como en el caso anterior, dicho valor se presenta en base a diferentes periodos de retorno de interés.

En estos primeros bloques de resultados pueden observarse algunas variables marcadas con una casilla de color más oscuro. Las mismas representan aquellos parámetros adaptados directamente de los establecidos por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011: la lluvia batiente anual de referencia I_A , la lluvia batiente máxima de referencia I_{AS} , la duración máxima del periodo absoluto de humedecimiento por lluvia batiente y la estimación cualitativa del periodo de humedecimiento de referencia por lluvia batiente, para los periodos de retorno fijados por la norma.

Hemos de recordar que los resultados presentados son escalares, no siendo por lo tanto estrictamente comparables con los definidos por la norma, a pesar de que su cálculo se realiza con la mayor aproximación posible,

Junto a todas ellas, aparece referencia al apartado concreto de la norma en la cual se define su significado. Adicionalmente a estos valores estrictamente reflejados en

la norma, se han calculado también las variables asociadas a otros periodos de retorno no indicados en la norma (salvo para la lluvia batiente anual de referencia I_A , que por ser un valor promediado, no admite este tipo de consideración).

Por último y como aporte no específicamente presente en la norma UNE, el quinto bloque muestra la solicitación asociada a un único día de precipitación, valorada para diferentes periodos de retorno posible. Se establece así el mínimo intervalo de duración analizable a partir de los datos disponibles, junto con la presión eólica máxima simultánea a lluvia que se identifica para una duración de un día de precipitación.

Este valor puntual de solicitación resulta de interés para evaluar la solicitación sobre cerramientos ligeros, con una muy baja capacidad de almacenamiento de agua en su matriz porosa y en los que por tanto, las condiciones más desfavorables de humedecimiento terminan al cesar el aporte directo de agua sobre los mismos, iniciándose una rápida evaporación de los materiales.

Del mismo modo, permite caracterizar la máxima solicitación puntual por aporte de agua en la fachada que puede producirse, en contraposición con los valores anuales que dan información acerca de las condiciones medias de aporte de agua sobre el cerramiento, distribuidas a lo largo de todo un año completo.

En la segunda hoja de resultados, se terminan de presentar los datos obtenidos en el primer bloque, mostrando la solicitación asociada a un periodo de lluvia ininterrumpida durante varios días y que concluye al presentarse un día completo carente de precipitación. A este respecto se muestra la cantidad de lluvia recogida sobre el cerramiento vertical para dicho periodo, su duración máxima y la presión eólica máxima durante el mismo, todo ello, calculado para diferentes periodos de retorno de interés en el ámbito edificatorio. Como en los casos anteriores, se presentan también los datos que permiten caracterizar la distribución de Gumbel empleada para la estimación de los valores asociados a periodos de retorno.

Este periodo de humedecimiento, de duración superior a un día y duración inferior al periodo de humedecimiento absoluto que precisa de 4 días carentes de precipitación para su término, permite caracterizar las condiciones de exposición más desfavorables en cerramientos ligeros, en los que el proceso de evaporación y secado del material se inicia antes de que transcurran cuatro días carentes de aporte de agua sobre la fachada.

En el segundo bloque aparecen datos estadísticos puntuales, obtenidos a partir del proceso de cálculo de las magnitudes previas analizadas y referidos a diferentes periodos de análisis. A diferencia de los resultados anteriores, que han sido obtenidos mediante cálculos estadísticos y que por lo tanto no se corresponden con solicitaciones reales ocurridas sino con solicitaciones esperadas, en este apartado se exponen datos reales extremos de solicitación registrados en los años analizados.

Así, se reflejan, para el análisis de series de 3, 10, 30 y 50 años de antigüedad, los datos máximos encontrados de:

- Lluvia batiente máxima en un periodo absoluto de humedecimiento y la presión eólica durante el periodo de humedecimiento anterior.

- Duración máxima de un periodo absoluto de humedecimiento.
- Presión eólica máxima en un periodo absoluto de humedecimiento y la lluvia batiente durante el periodo de humedecimiento anterior.
- Lluvia batiente máxima en un día y la presión eólica durante el día anterior.
- Presión eólica máxima en un día y la lluvia batiente durante el día anterior.
- Lluvia batiente máxima en un periodo ininterrumpido de días de precipitación y la presión eólica durante el periodo ininterrumpido anterior.
- Duración máxima de un periodo de lluvia ininterrumpida.
- Presión eólica máxima en un periodo ininterrumpido de días de precipitación y la lluvia batiente durante el periodo ininterrumpido anterior.
- La máxima duración en medias jornadas de un periodo de humedecimiento de referencia calculado cualitativamente.

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	49
		Media aritmética en muestra:	56,9984
		Desviación típica en muestra:	27,9752
I _{ii} [mm/per. ii] TR=3 años	I _{ii} [mm/per. ii] TR=10 años	I _{ii} [mm/per. ii] TR=30 años	I _{ii} [mm/per. ii] TR=60 años
65,56	98,00	125,46	137,95
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	49
		Media aritmética en muestra:	5,9796
		Desviación típica en muestra:	1,9324
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=60 años
7	9	11	12
Presión eólica escalara máxima simultánea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	49
		Media aritmética en muestra:	53,8353
		Desviación típica en muestra:	42,6447
[N/m ² periodo ii] TR=3 años	[N/m ² periodo ii] TR=10 años	[N/m ² periodo ii] TR=30 años	[N/m ² periodo ii] TR=60 años
66,88	116,47	158,19	177,24

Periodo
ininterrumpido

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Es max. [mm/periodo]	Es max. [mm/periodo]	Es max. [mm/periodo]	Es max. [mm/periodo]
148,42	148,42	138,03	138,03
Pv.viento simult. [N/m ² per.]	Pv.viento simult. [N/m ² per.]	Pv.viento simult. [N/m ² per.]	Pv.viento simult. [N/m ² per.]
17,13	17,13	7,69	7,69
Periodo max. [días]	Periodo max. [días]	Periodo max. [días]	Periodo max. [días]
41	41	41	41
Pv.viento max [N/m ² periodo]	Pv.viento max [N/m ² periodo]	Pv.viento max [N/m ² periodo]	Pv.viento max [N/m ² periodo]
156,78	141,53	41,49	41,49
T's simultaneas [mm/periodo]	T's simultaneas [mm/periodo]	T's simultaneas [mm/periodo]	T's simultaneas [mm/periodo]
0,46	3,40	0,22	0,22
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
98,32	98,32	74,62	63,98
Pd.viento simult. [N/m ² día]	Pd.viento simult. [N/m ² día]	Pd.viento simult. [N/m ² día]	Pd.viento simult. [N/m ² día]
1,20	1,20	1,18	1,21
Pd.viento max [N/m ² día]	Pd.viento max [N/m ² día]	Pd.viento max [N/m ² día]	Pd.viento max [N/m ² día]
200,86	189,30	83,05	45,45
T'd simultaneas [mm/día]	T'd simultaneas [mm/día]	T'd simultaneas [mm/día]	T'd simultaneas [mm/día]
0,85	0,50	0,18	3,06
I _{ii} max. [mm/periodo ii]	I _{ii} max. [mm/periodo ii]	I _{ii} max. [mm/periodo ii]	I _{ii} max. [mm/periodo ii]
139,38	139,38	105,63	105,63
P _{ii} viento simult. [N/m ² per. ii]	P _{ii} viento simult. [N/m ² per. ii]	P _{ii} viento simult. [N/m ² per. ii]	P _{ii} viento simult. [N/m ² per. ii]
35,89	35,89	25,48	25,48
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
12	12	12	7
P _{ii} viento max [N/m ² periodo ii]	P _{ii} viento max [N/m ² periodo ii]	P _{ii} viento max [N/m ² periodo ii]	P _{ii} viento max [N/m ² periodo ii]
200,86	147,86	45,35	25,48
T _{ii} simultaneas [mm/periodo ii]	T _{ii} simultaneas [mm/periodo ii]	T _{ii} simultaneas [mm/periodo ii]	T _{ii} simultaneas [mm/periodo ii]
6,85	6,41	7,70	105,63
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
19	19	19	17

Datos
estadísticos
puntuales

Figura IV.8.- Disposición de resultados y datos estadísticos en la segunda hoja correspondiente a cada estación.

Como se aprecia, además de los resultados referidos al periodo absoluto de humedecimiento aproximado a partir del de la norma (adecuado para cerramientos de fábrica pesada de albañilería), se incluyen resultados adecuados para otros cerramientos más ligeros, definiendo un periodo de humedecimiento por lluvia ininterrumpida, más corto que el anterior e incluso un periodo de humedecimiento diario.

Asociados a todos estos valores de lluvia batiente y para los diferentes periodos analizados, se determina la presión eólica simultánea a todos ellos, valor éste de influencia sobre las condiciones de penetración de la humedad en el interior del cerramiento de fachada.

Se recuerda que la utilización de los resultados presentados ha de realizarse adoptando ciertas cautelas, debido a las limitaciones de los datos de partida utilizados en relación a los indicados por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 (disponibles de forma generalizada solo en Reino Unido):

- I_A** Su valor contabiliza la lluvia batiente total recibida por todos los cerramientos, independientemente de su orientación. El valor se encuentra mayorado respecto al definido según la norma, que solo se refiere a la lluvia batiente recibida por un cerramiento de orientación concreta.
- I_{AS}** El periodo absoluto de humedecimiento considerado tiene una duración superior al definido por la norma, ya que se contabiliza cualquier lluvia batiente que incida sobre cualquier cerramiento independientemente de su orientación y se adoptan rangos diarios en lugar de horarios para la duración del mismo. El cómputo de lluvia batiente durante dicho periodo, se encuentra por lo tanto igualmente mayorado respecto a lo definición en la norma, que solo considera la lluvia batiente recibida por un cerramiento de orientación concreta.
- ½ jorn.** La estimación cualitativa de la solicitación por humedad en base a medias jornadas se ha adaptado en la medida posible a la disponibilidad de datos existentes. El resultado obtenido presenta una menor precisión que el referido por la norma, dada la utilización de valores medios estacionales de humedad relativa en el cálculo. Del mismo modo, la no consideración de la direccionalidad del viento mayorará el número de días “*húmedos*”, en similar medida que lo hace para el número de días “*secos*”.

El resto de los coeficientes definidos (presión eólica, lluvia batiente diaria, lluvia batiente por periodo ininterrumpido, duración de periodo de lluvia ininterrumpido), se han elaborado igualmente partiendo de datos diarios, al no disponerse registros horarios con la suficiente antigüedad y en suficiente número para la elaboración de series históricas representativa de todo el país.

En el ámbito nacional, cualquiera de los datos presentados de lluvia batiente, presión eólica y duración de los periodos de humedecimiento, puede ser utilizado para caracterizar la solicitación por humedad de una localización con respecto a otras.

La decisión sobre la utilización de los resultados correspondientes a uno u otro periodo de análisis, corresponde al lector e investigador en relación al tipo de cerramiento estudiado y periodo de retorno marcado como idóneo, todo ello a la espera de directrices a establecer en la normativa española.

Los datos presentados reflejan un amplio abanico de caracterización para la solicitud por humedad (muros de fábrica cerámica pesada, fachadas ligeras, índices anuales, estimaciones cualitativas, evaluación de la presión eólica simultánea...), que posibilitan el desarrollo de un amplio espectro de actividades e investigaciones de carácter técnico, normativo e investigador.

Del mismo modo, los datos presentados admiten aproximaciones ulteriores, direccionales y en base a datos horarios, que permitirían estimar con mayor precisión la solicitud local incidente sobre un cerramiento concreto situado en una localización concreta. Una línea posible de ampliación y generalización de la metodología se aborda en este mismo capítulo IV, en su apartado IV.5.

IV.4.1.- ELABORACIÓN DE DOCUMENTACIÓN GRÁFICA

A continuación se desarrolla el procedimiento empleado para la realización de un Sistema de Información Geográfica a partir de los resultados obtenidos de las hojas de cálculo correspondientes a cada estación, que ha servido para graficar estos resultados en diversos mapas informativos y de solicitud, que permiten la ágil utilización comparativa de los resultados recopilados.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés Geographic Information System) son el resultado de la aplicación de las llamadas Tecnologías de la Información a la gestión de la Información Geográfica. El término Sistema de Información Geográfica (SIG) tiene tres acepciones: el SIG como disciplina; el SIG como proyecto, cada una de las realizaciones prácticas, de las implementaciones existentes; el SIG como software, es decir los programas y aplicaciones de un proyecto SIG.

La acepción principal es la de SIG como proyecto o Sistema de Información que gestiona Información Geográfica, es decir información geo-referenciada. La definición más extendida de SIG, con pequeñas variaciones, es la establecida por Burrough, Goodchild, Rhin y otros (DoE), que se puede sintetizar definiendo un SIG como un: *“Conjunto integrado de medios y métodos informáticos, capaz de recoger, verificar, almacenar, gestionar, actualizar, manipular, recuperar, transformar, analizar, mostrar y transferir datos espacialmente referidos a la Tierra”*

Sin embargo un SIG debe verse también como un modelo del mundo real, por lo que se podría definir también como: *“Modelo informatizado del mundo real, en un sistema de referencia ligado a la Tierra para satisfacer unas necesidades de información concretas”*. En cualquier caso, se compone de datos, hardware, software, recursos humanos y un esquema organizativo.

La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica puede ser utilizada para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, gestión de activos, la evaluación de impacto ambiental, la planificación urbana, el marketing o la logística por nombrar algunas aplicaciones. En este caso, permitirá evaluar previsiones de solicitud asociadas a humedad en cerramientos españoles.

Un SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos

e inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no se podría obtener de otra forma.

Sin embargo estos sistemas, más o menos depurados, se han llevado utilizando a lo largo de toda la historia de la humanidad. Hace unos 15.000 años en las paredes de las Cuevas de Lascaux (Francia), los hombres de Cro-Magnon pintaban en las paredes los animales que cazaban, asociando estos dibujos con trazas lineales que, se cree, cuadraban con las rutas de migración de esas especies. Aunque se trate de un ejemplo bastante simplista en comparación con las nuevas tecnologías, estos antecedentes imitan a dos elementos de los Sistemas de Información Geográfica modernos: una imagen asociada con un atributo de información.

En 1854, el epidemiólogo Dr. John Snow, proporcionaría otro clásico ejemplo cuando cartografió la incidencia de los casos de cólera en el distrito de Soho (Londres). Este prototipo de SIG permitió a Snow localizar con precisión un pozo de agua contaminado como la fuente causante del brote.



Figura IV.9.- Rudimentario sistema de información geográfica elaborado por Snow en 1854, indicando la ubicación de los contagios por cólera.

Ya en el año 1962 se dio la primera utilización real de los SIG en el mundo, cuando en Ottawa (Canadá) y a cargo del Departamento Federal de Silvicultura y Desarrollo Rural, el llamado Canadian Geographic Information System (CGIS) fue desarrollado por Roger Tomlinson para almacenar, analizar y manipular datos recogidos

para el Inventario de Tierras de Canadá, iniciativa orientada a la gestión de los recursos naturales del país con información relativa a tipos y usos de suelo, agricultura, espacios de recreo, aves, silvicultura...

En 1964, Howard T. Fisher formó en la Universidad de Harvard el Laboratorio de Computación Gráfica y Análisis Espacial, donde se desarrollaron una serie de importantes conceptos teóricos en el manejo de datos espaciales. En la década de los 70 se había difundido código de software y sistemas germinales que sirvieron de base conceptual para su posterior desarrollo comercial.

En la década de los 80, empresas como ESRI emergen como proveedores comerciales de software SIG. Incorporaron con éxito muchas de las características de CGIS, combinando el enfoque de primera generación relativo a la separación de información espacial y los atributos de los elementos gráficos representados con un enfoque de segunda generación que organiza y estructura estos atributos en bases de datos. En los años 90, se inicia una etapa comercial para profesionales, donde los SIG empezaron a difundirse al nivel del usuario doméstico debido a la generalización de los ordenadores personales.

En la actualidad la información geográfica puede ser consultada, transferida, transformada, superpuesta, procesada y mostrada utilizando numerosas aplicaciones de software. Dentro de la industria, empresas comerciales como ESRI, Intergraph, MapInfo, Bentley Systems, Autodesk o Smallworld ofrecen un completo conjunto de aplicaciones. Sin embargo, los gobiernos suelen optar por modificaciones ad-hoc de programas SIG, productos de código abierto o software especializado que responda a una necesidad concreta. También existen herramientas gratuitas para ver información geográfica como Google Earth y otros basados en tecnología web mapping.

IV.4.1.1.- Tratamiento de los datos del trabajo

En primer lugar, se han recopilado las coordenadas geográficas de cada una de las 80 estaciones objeto de estudio, a partir de la información suministrada por AEMET. Estas coordenadas geográficas (latitud y longitud) aparecen en formato ggmms (grados, minutos y segundos) e indicador de la orientación (N o S para la latitud y E o W para la longitud). Para su correcto tratamiento, es conveniente pasar estas coordenadas geográficas a coordenadas UTM (en metros), preferiblemente según el sistema ETRS89 y en huso 30. Para ello, se utiliza una aplicación de uso libre para transformación de coordenadas, similar a Global Mapper.

El ETRS89, (European Terrestrial Reference System-1989), es un sistema de referencia geodésico ligado a la parte estable de la placa continental europea. Este datum geodésico espacial es consistente con los modernos sistemas de navegación por satélites GPS, GLONASS y el europeo GALILEO.

Su origen se remonta a la resolución de 1990 adoptada por EUREF (Subcomisión de la Asociación Internacional de Geodesia para el Marco de Referencia Europeo) y trasladada a la Comisión Europea en 1999, por lo que está siendo adoptado sucesivamente por todos los países europeos.

Desde el 29 de agosto de 2007, el Real Decreto 1071/2007 regula la adopción en España del sistema de referencia geodésico global ETRS89 sustituyendo al sistema geodésico de referencia regional ED50, en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas

Baleares y el sistema REGCAN95 (a efectos prácticos, el WGS84) en el ámbito de las Islas Canarias, permitiendo una completa integración de la cartografía oficial española con los sistemas de navegación y la cartografía de otros países europeos. Para adaptarse a la norma, se dispone de un periodo transitorio hasta el 2015 en el que podrán convivir los dos sistemas.

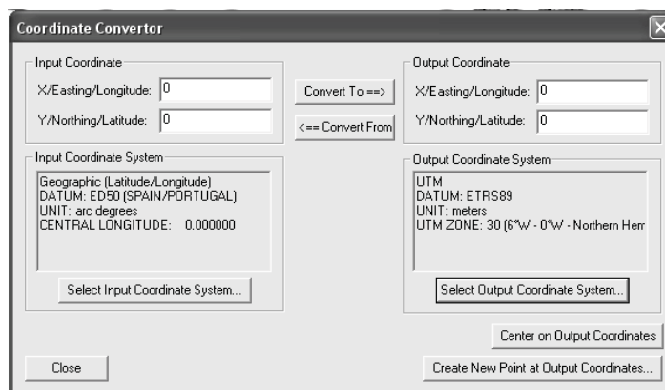


Figura IV.10.- Ejemplo de transformación de coordenadas a sistema de proyección UTM bajo la referencia (datum) ETRS89.

El WGS84, (World Geodetic System 84 en castellano) es un sistema de referencia terrestre único para referenciar posiciones y vectores. Se estableció este sistema utilizando observaciones Doppler al sistema de satélites de navegación NNSS o Transit, de tal forma que se adaptará lo mejor posible a toda la Tierra. Se basa en el elipsoide del mismo nombre. Es utilizado por el sistema GPS (Global Positioning System).

En la práctica, WGS84 y ETRS89 son equivalentes para la gran mayoría de aplicaciones topográficas o cartográficas, por lo que se va a utilizar el segundo para la referenciación del sistema de proyección (UTM en este caso), asumiendo el ligero error producido en la localización de las estaciones canarias como asumible.

El sistema de proyección UTM (Proyección Universal Transversa de Mercator), es uno de los más conocidos y utilizados en todo el mundo. Se trata de una proyección cilíndrica transversa (la generatriz del cilindro no es paralela al eje de rotación sino perpendicular). Pueden identificarse las siguientes ventajas frente a otros sistemas de proyección:

- No distorsiona las superficies en grandes magnitudes por debajo de los 80° de latitud. Para todos los husos el sistema cubre desde los 80° S hasta los 84° N. Para la cartografía de zonas existentes en los polos se emplea normalmente el sistema de coordenadas UPS (Universal Polar Stereographic).
- Conserva los ángulos, designando un punto o zona de manera concreta y fácil de localizar.

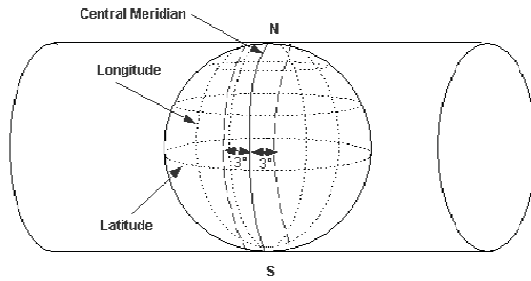


Figura IV.11.- Proyección cilíndrica transversa del sistema de proyección UTM.

El sistema UTM divide el globo terráqueo en un total de 60 husos, con una anchura de 6 grados de longitud, empezando desde el meridiano de Greenwich. Se define un huso como las posiciones geográficas que ocupan todos los puntos comprendidos entre dos meridianos. La representación cartográfica en cada huso se genera a partir de un cilindro diferente siendo cada uno de ellos secante al elipsoide.

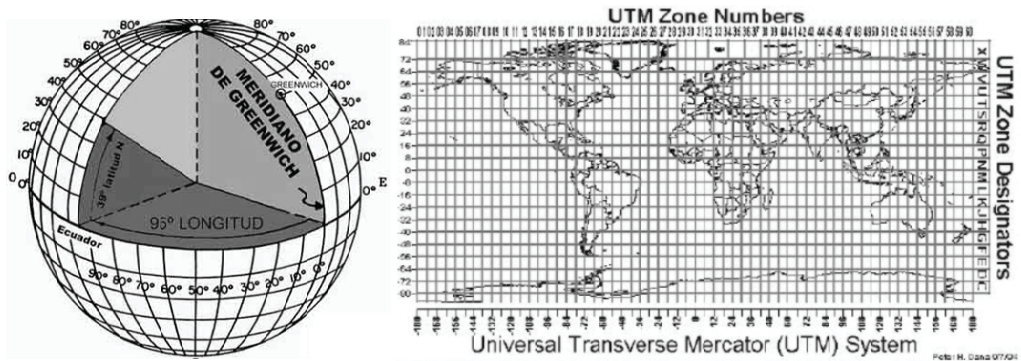


Figura IV.12.- Sistema de coordenadas geográficas y división en husos y zonas mediante la proyección UTM.

Cada huso está notado con un número y una letra que indica la zona. España se encuentra localizada en un total de 5 husos diferentes (27, 28, 29, 30 y 31) y tres zonas (R, S y T). En los husos 27 y 28 se encuentra todo el Archipiélago Canario. Comprende la zona existente entre los 12° y los 18° de longitud Oeste (W). La zona donde se localizan las islas es la R. El resto de la Península Ibérica, Islas Baleares y Ceuta y Melilla se encuentran entre los husos 29, 30 y 31, zonas S y T.

Una vez derivadas las coordenadas UTM de las estaciones, se ha generado una nueva hoja de cálculo en la que se tabulan además de las coordenadas, todos los datos relevantes obtenidos de las hojas de cálculo para cada estación meteorológica (precipitación media anual, valores de lluvia batiente, duraciones de periodo de humedecimiento, valores de presión eólica...).

IV. Parametrización de la exposición a la humedad en cerramientos verticales

Las diferentes estaciones aparecen en las filas de la tabla y los datos (que van a ser los diferentes campos a graficar en los mapas) en las columnas de la misma, de la siguiente forma:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
X	Y	NOMBRE	PROVINCIA	INDICATIV	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD	INOSINOP	AÑOS	Prep. anual
61247	4909022	A CORUÑA AEROPUERTO	A CORUÑA	1387E	98	438225N	082220W	8002	38	101,5
60852	4905946	A CORUÑA	A CORUÑA	097	58	432302N	082510W	8001	50	107,82
89101	4762651	SANTIAGO DE COMPOSTELA AEROPUERTO	A CORUÑA	128	370	425361N	082435W	8002	50	104,93
521642	4747824	VITORIA GASTES AEROPUERTO	ALAVA	3090D	510	425255N	024406W	8000	21	739,5
558522	431262	ALEACETE/ILANOS	ALBACETE	1175	704	385708N	015117W	8230	45	357,71
70477	4240053	ALICANTE/ALCANT AEROPUERTO	ALICANTE	8019	43	398559N	003415W	8300	44	284,57
78394	4250100	ALICANTE/ALCANT	ALICANTE	8025	81	382218N	020239W	8359	50	332,87
557334	4978901	ALMERIA AEROPUERTO	ALMERIA	6320D	21	365147N	022255W	8447	43	203,95
254151	4928337	ASTURIAS AEROPUERTO	ASTURIAS	1212E	127	433940N	060239W	8011	43	109,82
267119	4904272	OVIEDO	ASTURIAS	1248E	336	432169N	095222W	8005	39	979,93
357395	4902337	AVILA	AVILA	2444	130	403333N	044404W	8200	43	384,79
16784	4300876	BADAJOS AEROPUERTO	BADAJOS	4452	185	385300N	064545W	8330	50	473,61
344534	4583730	BARCELONA AEROPUERTO	BARCELONA	76	4	417344N	02012E	8181	50	111,72
147938	4689563	BURGOS/MILAFRIA	BURGOS	2331	830	422122N	033257W	8075	47	567,39
22719	4374581	CÁDICES	CÁDICES	3468A	405	393200N	062222W	8261	50	522,32
208239	4944531	CADIZ	CADIZ	5973	1	363004N	061824W	8452	43	968,42
227169	4971623	JEREZ DE LA FRONTERA AEROPUERTO	CADIZ	5960	27	361502N	060221W	8451	50	610,47
249913	3968918	TARIFA	CADIZ	4911	29	363055N	063351W	8458	41	890,84
452725	4908838	SANTANDER AEROPUERTO	CANTABRIA	109	5	435548N	034253W	8021	47	1258,87
435305	491554	SANTANDER	CANTABRIA	1111	52	435330N	034253W	8023	50	1172,16
750198	4426281	CASTELLÓN DE LA PLANA/CASTELLÓ DE LA PLANA	CASTELLÓN	8503A	35	395700N	000417W	8236	50	458,82
420344	4316100	CIUDAD REAL	CIUDAD REAL	1121	628	385322N	035511W	8348	45	424,04
327550	4900240	CÓRDOBA AEROPUERTO	CÓRDOBA	5902	30	375339N	045046W	8400	41	618,02
573538	4435539	CUENCA	CUENCA	8036	945	400400N	020617W	8231	48	534,52
378094	4656111	GIROÑA AEROPUERTO	GIROÑA	367	143	419442N	024148E	8164	37	737,44
143930	4116278	GRANADA AEROPUERTO	GRANADA	5538E	667	371123N	034722W	8409	39	363,18
143930	4110078	GRANADA/ESA/ÁFEEA	GRANADA	5514	687	370813N	033753W	8420	42	374,44
503995	4522166	MOLINA DE ARABÓN	GUADALAJARA	2013	1056	405104N	015037W	8232	45	500,11
557877	4801249	SAN SEBASTIÁN AEROPUERTO	GUIPUZCOA	1014	4	432828N	014732W	8029	50	1637,09
577936	4795438	SAN SEBASTIÁN IGUELDO	GUIPUZCOA	1024E	251	438271N	020222W	8027	50	1561,77
163320	4133173	HUELVA	HUELVA	4642E	19	376489N	065435W	8393	50	517,24
721101	4562591	HUESCA AEROPUERTO	HUESCA	9698	541	423500N	001935W	8094	47	532,39
590463	4312277	IVISSA AEROPUERTO	ILLES BALEARS	8954	6	385239N	012234E	8373	42	427,64
117591	4436730	MEÑORCA AEROPUERTO	ILLES BALEARS	8963	91	385117N	041256E	8394	37	953,44
942261	4344838	PALMA DE MALLORCA AEROPUERTO	ILLES BALEARS	8276	8	393339N	02412E	8306	37	421,5

Figura IV.13.- Disposición de datos para la elaboración de un Sistema de Información Geográfica.

Introducidos todos los datos, la hoja de cálculo resultante se guarda en formato *.txt (texto delimitado por tabulaciones), para su posterior tratamiento informático.

Este último paso de tratamiento de los datos es la transformación de este archivo de texto a formato vectorial (puntos, líneas o polígonos) y su posterior utilización en un software SIG. Esta operación se realiza con un software dedicado, similar a Gopal Mapper, obteniéndose 4 archivos con el mismo nombre, pero con diferentes extensiones, que funcionan de forma conjunta:

- El primero de ellos tiene extensión .shp (shapefile) y contiene la geometría a representar. En este caso, se han utilizado puntos para representar las estaciones. Evidentemente, no tiene mucho sentido representar las estaciones con líneas o polígonos. Éste archivo se carga en el software SIG empleado, pero necesita de los otros para funcionar correctamente.
- El archivo con extensión .shx contiene la geo-referenciación, es decir, las coordenadas de cada punto representado.
- El archivo con extensión .dbf contiene la base de datos, es decir, la información asociada a cada estación. Contendrá toda la información de la hoja de cálculo en la que se han recogido todos los datos significativos de cada estación meteorológica estudiada en lo que el programa llama una tabla de atributos.
- El último archivo, de extensión .prj, no es necesario para el correcto funcionamiento del shapefile, pero contiene información acerca de la proyección en la que se encuentran los datos. Echar un vistazo a este archivo puede ayudar a no cometer errores al trabajar en una proyección equivocada.

Tras la captura u obtención de los datos, su correspondiente tratamiento y la creación de la base de datos, solamente queda el análisis de la información y la representación gráfica de los resultados.

IV.4.1.2.- Elaboración de los mapas de información

Para la elaboración de los mapas incluidos en el Anejo I, se ha utilizado el software de uso libre gvSIG versión 1.11.0. Se trata de la última versión completa disponible de este programa. En el momento de realización de este trabajo, existe una versión más reciente (gvSIG 2.0 alpha2), pero ésta se encuentra todavía en vías de desarrollo.

El software gvSIG v1.11.0 Desktop es un potente Sistema de Información Geográfica diseñado para dar solución a las necesidades relacionadas con el manejo de información geográfica. Se caracteriza por ser una solución completa, de fácil utilización y adaptado a las necesidades de cualquier usuario de SIG.

Es capaz de acceder a los formatos más comunes, vectoriales, raster, locales o remotos y cuenta con un amplio número de herramientas para trabajar con información de naturaleza geográfica (consulta, creación de mapas, geo-procesamiento, redes...). Todo ello lo convierte en una herramienta funcional para usuarios que trabajen con la componente territorial.

El software ha sido cedido para su uso libre por la Generalitat Valenciana a través de la Consejería de Infraestructuras y Transporte, siendo desarrollado por varias empresas y contando con la colaboración de varias universidades y centros de investigación (Universidad Jaime I, Universidad Politécnica de Valencia, Universidad de Valencia, Universidad Politécnica de Madrid...).

Para la elaboración de los mapas de información, el primer paso a llevar a cabo en gvSIG es la creación de un proyecto nuevo. El proyecto (un archivo de extensión .gvp), no contiene los datos espaciales y atributos asociados en forma de tablas, sino que almacena referencias al lugar donde se conservan las fuentes de los datos (la ruta que hay que seguir en el disco para llegar a los archivos).

Aunque no sea necesario, se ha creado un proyecto por cada mapa que se quiere realizar, para facilitar la elaboración de los mismos. En gvSIG toda la actividad se localiza en un proyecto, el cual está formado por diferentes documentos. Estos documentos son de 3 tipos: vistas (documentos donde se trabaja con datos gráficos), tablas (donde se trabaja con datos alfanuméricos) y mapas (donde se permite insertar los distintos elementos cartográficos que componen un plano, como la leyenda, escala...).

En cada vista se van cargando las capas (archivos shapefile) que se vayan a utilizar en cada proyecto. Para este trabajo, además de la capa creada a partir de los resultados de las hojas de cálculo de cada estación, a la que se ha llamado "Datos_estaciones.shp", se necesitarán las capas correspondientes a los límites administrativos de las provincias españolas.

Además de éstas, se cargarán también capas con los límites administrativos de Portugal, Francia, Andorra y el norte de África, para una mejor representación y para

comprobar que las estaciones están correctamente geo-referenciadas. Estas capas se pueden obtener de cualquier servidor de mapas libre disponible. Las capas que se van a mantener invariables para todos los mapas son:

- Datos de las estaciones
- Límite administrativo de España
- Límites administrativos de las Comunidades Autónomas españolas
- Límites administrativos de cada provincia española
- Límite administrativo de Portugal
- Límite administrativo de Francia
- Límites administrativos del norte de África

Será necesario que todas las capas cargadas en la vista estén en el mismo sistema de coordenadas, sistema de referencia y huso. Es decir, todas las capas deben estar en coordenadas UTM, sistema ETRS89, huso 30.

Como las capas descargadas de los servidores no se encontraban en la proyección que se requería, se realizó un proceso de transformación de estas capas a la proyección mencionada.

Una vez cargadas las capas, y tras los correspondientes cambios para una óptima visualización, se obtiene un mapa preliminar similar al mostrado:

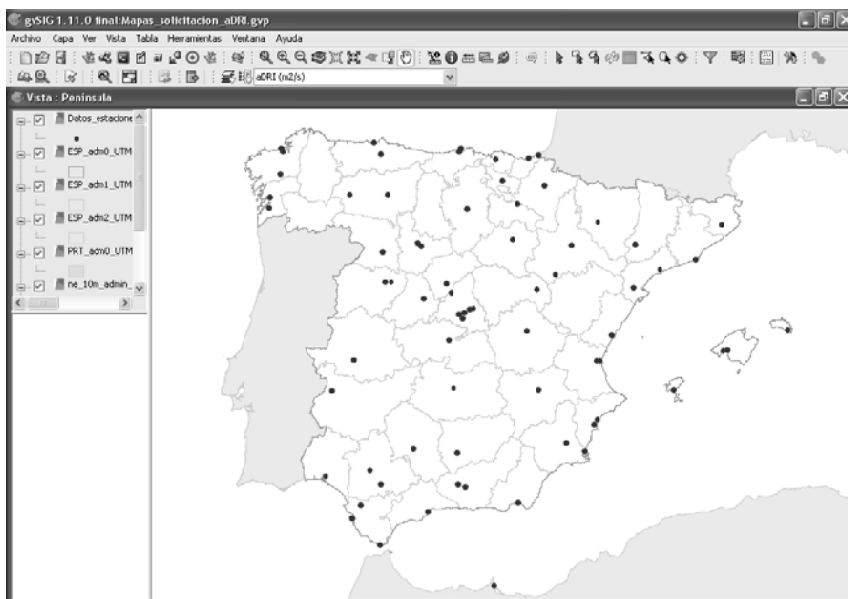


Figura IV.14.- Configuración de capas para la elaboración de mapas de información en software gvSIG 1.11.0.

En este caso, cada uno de los puntos representa una estación meteorológica y como se puede apreciar en la imagen siguiente, dentro del software tiene asociada toda la información recopilada en las hojas de cálculo:

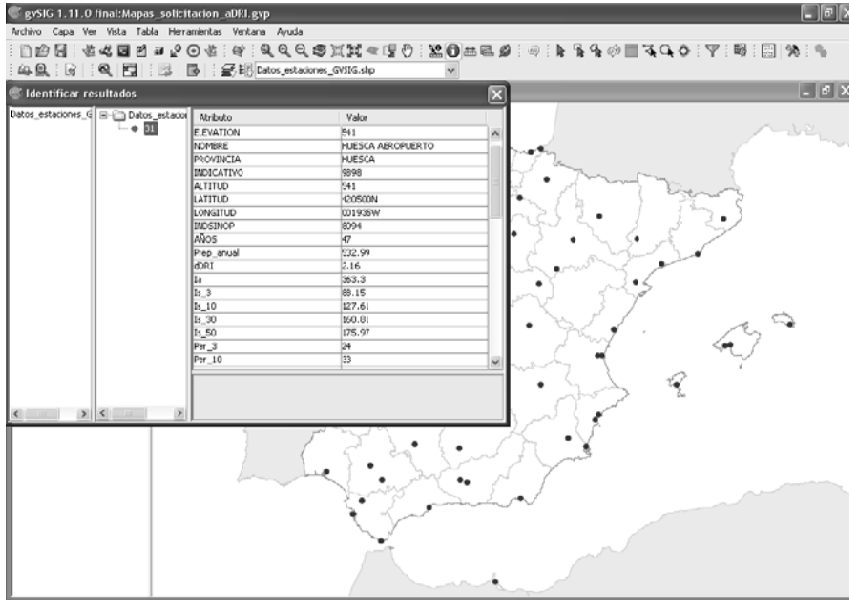


Figura IV.15.- Información asociada al cada punto de representación en el mapa, derivada de las hojas de resultados.

El siguiente ha consistido en simbolizar y etiquetar el mapa. El software dispone de diferentes tipos de simbologías y etiquetados para utilizar en su biblioteca interna, para asociar a los valores numéricos representados para cada magnitud:

- Simbolizar por intervalos de valores asignando a cada intervalo una forma geométrica (cuadrados, triángulos, círculos...)
- Gráficos de barras de longitud variable
- Simbología de tamaño proporcional a la variable a representar
- Gráficos de sectores
- ...

Para este estudio, se han considerado más adecuados los dos primeros tipos, en función de la variable a representar. Así, en la mayoría de los mapas se utilizan gráficos de barras de longitud variable acompañadas del valor numérico, para representar cada una de las variables que se han ido recopilando en las fichas de resultados. Solo para mapas zonificados o en los que se representa el grado de exposición en relación a una determinada escala se utiliza la representación simbolizada.

Por último, se han realizado las labores propias de adecuación de la presentación: inclusión de leyendas, escala, norte geográfico, textos complementarios...

con el fin de conseguir un mapa claro y legible. Estas operaciones pueden igualmente realizarse a través de software externos a gvSIG, como pudiera ser Allplan o Adobe Pdf Professional.

El resultado es la amplia variedad de planos de solicitud incluidos en el anejo A.2 de este trabajo, que proporcionan una información útil y funcional acerca de las condiciones de solicitud frente a la humedad a la que se someten los cerramientos verticales de las edificaciones españolas.

En total se presentan 45 planos, que representan en los 80 emplazamientos españoles analizados cada una de las magnitudes de exposición que han sido recopiladas en las hojas de resultados, para los diferentes periodos de retorno analizados.

Además de la simple representación gráfica de estos resultados se aportan otros planos de interés que ofrecen información acerca de otras variables no incluidas en las fichas de resultados:

- **Mapa 3.-** Información de la pluviometría anual que se produce de forma simultánea al viento. No se contabiliza en este computo de pluviometría por tanto, la precipitación caída durante calmas eólicas y que por lo tanto, no incide sobre la superficie vertical de los cerramientos.
- **Mapa 4.-** Presión eólica media anual simultánea a precipitación. No se consideran por lo tanto las presiones eólicas asociadas a aquellos días en los que no se produce lluvia, obteniendo como resultado presiones eólicas muy inferiores a las consideradas por otros Documentos Básicos de la norma, que no tienen en cuenta dicha condición, como el DB-SE-AE.
- **Mapa 10.-** Representación conjunta de la exposición anual a lluvia batiente I_A y la exposición asociada a un periodo de humedecimiento absoluto con periodo de retorno de 3 años I'_{AS} . El mapa permite evaluar comparativamente tanto la exposición a la humedad tanto a largo plazo como a corto plazo sobre cualquier emplazamiento español, apreciando significativas diferencias comparativas en ambas magnitudes, dentro de un mismo emplazamiento. Mientras que la solicitud a largo plazo puede emplearse para evaluar las condiciones de almacenamiento y contenido de humedad del cerramiento a largo plazo, las condiciones a corto plazo están relacionadas de forma más acusada con penetraciones indebidas de agua en el interior de la envolvente.

Varios de los planos presentados son directamente utilizables por el CTE DB-HS1 para determinar la exposición a la humedad y a través de los mismos definir los rangos adecuados para el grado de impermeabilidad necesario. El criterio a elegir no obstante, queda por ser fijado por parte del ente legislador.

Así, si nos centramos en una solicitud a largo plazo (anual) y con un elevado grado de seguridad, el mapa 03 (véase anejo A.2), puede ser utilizado en sustitución del actual mapa de zonas pluviométricas de promedios (figura 2.4 del DB-HS1), mientras que el plano 04 puede sustituir a la figura 2.5 del mismo Documento Básico. Ambos planos están referidos a la lluvia batiente y presión eólica, respectivamente registradas durante un periodo de humedecimiento absoluto (por lo tanto adecuado para cerramientos de albañilería) y para un periodo de retorno de 50 años.

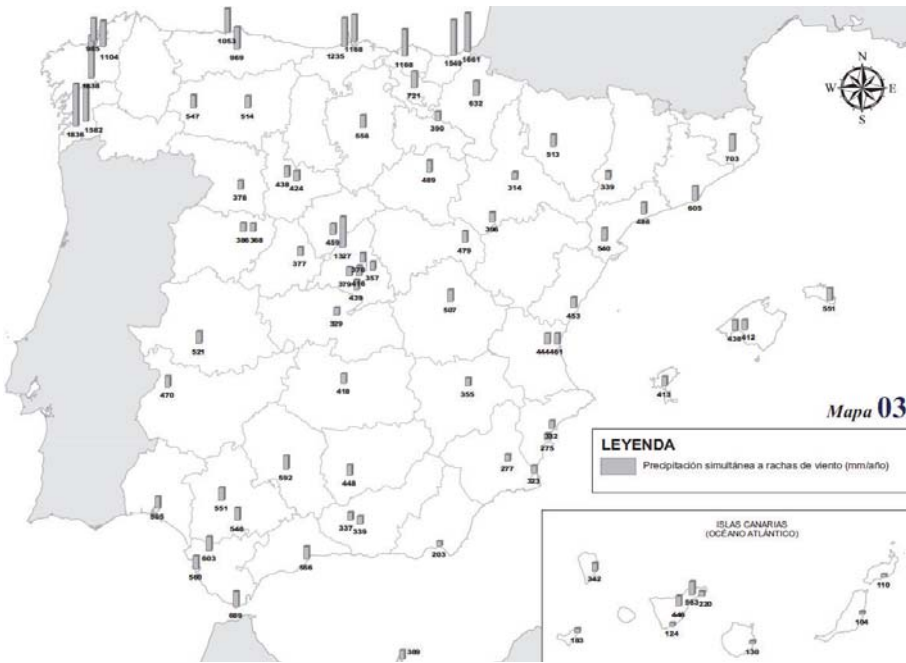


Figura IV.16.- Lluvia media anual simultánea a viento no en calma y por lo tanto de influencia para la penetración de agua en el cerramiento, en 80 emplazamientos españoles (véase anejo A.2).

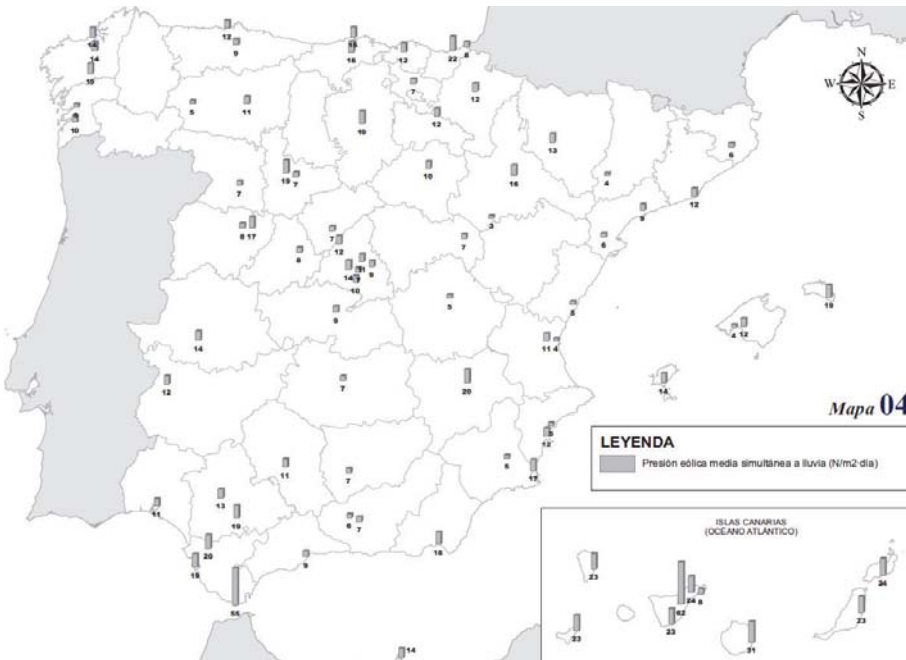


Figura IV.17.- Presión eólica media anual, simultánea a la lluvia y por lo tanto de influencia para la penetración de agua en el cerramiento, en 80 emplazamientos españoles (véase anejo A.2).

Si se opta por la caracterización de una sollicitación a corto plazo y con un moderado grado de seguridad, los planos 42 y 43 pueden igualmente sustituir a los empleados actualmente por el Código Técnico de la Edificación.

En ese caso, la lluvia batiente y presión eólica máxima esperada respectivamente durante un día y para un periodo de retorno de 30 años, puede ser una buena estimación de la sollicitación puntual por humedad razonable en los emplazamientos españoles.

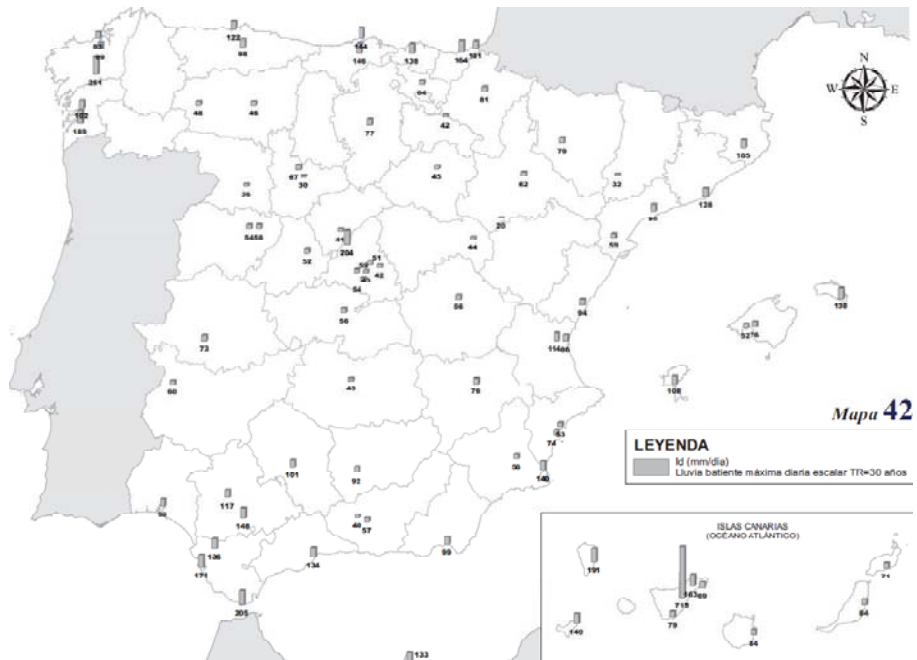


Figura IV.18.- Lluvia batiente máxima diaria, para un periodo de retorno considerado de 30 años (véase anejo A.2).

Otros dos intervalos (además del diario presentados en la figura precedente y posterior), pueden ser también utilizados para caracterizar la sollicitación a corto plazo:

- La sollicitación basada en un periodo de humedecimiento absoluto, utilizando el mapa 16 para caracterizar la lluvia batiente en dicho periodo y el mapa 17 para caracterizar la presión eólica simultánea a dicha lluvia batiente, ambos asociados a un periodo de retorno de 30 años.
- La sollicitación basada en un periodo de humedecimiento de días ininterrumpidos de precipitación, utilizando el mapa 32 para caracterizar la lluvia batiente en dicho periodo y el mapa 33 para caracterizar la presión eólica simultánea a dicha lluvia batiente, ambos asociados a un periodo de retorno de 30 años.

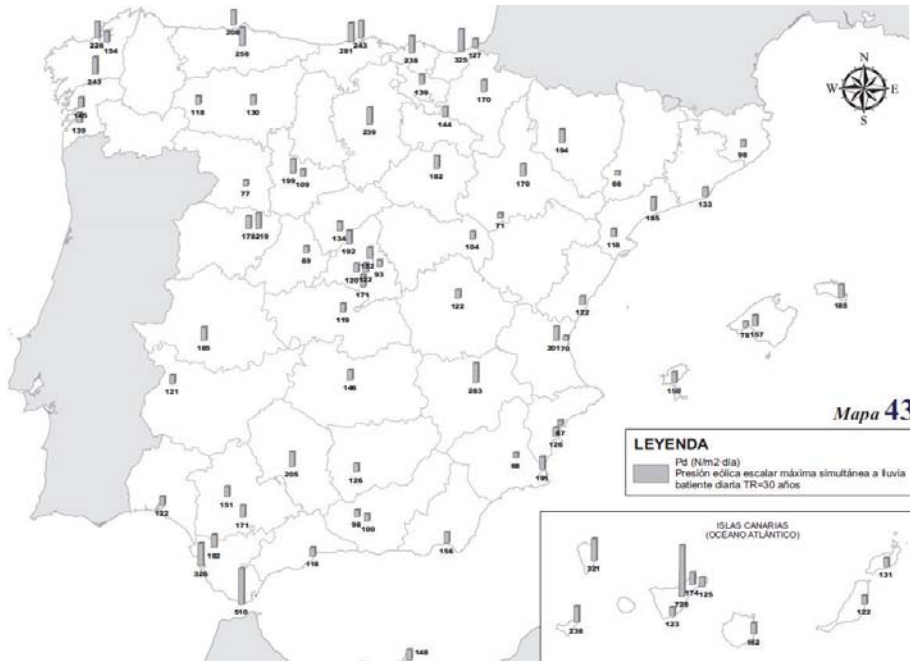


Figura IV.19.- Presión eólica máxima diaria, simultánea a la precipitación, para un periodo de retorno considerado de 30 años (véase anejo A.2).

Una estimación más sencilla de la sollicitación podría igualmente basarse únicamente en el valor del índice daDRI obtenido en cada emplazamiento o en la variable I_A , ambas referidas a la exposición a largo de plazo del cerramiento, obviando la caracterización de las condiciones de sollicitación a corto plazo.

No obstante, dado que ambas sollicitaciones a largo y corto plazo son relevantes para el comportamiento del cerramiento (contenido de humedad a largo plazo y sollicitación puntual de penetración de agua líquida), es conveniente articular mecanismos que posibiliten utilizar todos los resultados obtenidos.

Es por ello que los diferentes mapas y tablas de resultados presentados en este apartado, constituyen en su conjunto una herramienta de partida imprescindible para el desarrollo de caracterizaciones normativas rigurosas, objetivas y orientadas a diferentes requerimientos prestacionales en relación a la protección frente a la humedad de los cerramientos verticales edificatorios.

En relación a la valoración de la influencia específica de cada uno de los parámetros analizados (lluvia batiente, presión eólica, duración de la exposición) sobre el riesgo de penetración de la humedad en el cerramiento, en el apartado IV.5.7 de este capítulo se aporta una primera aproximación a un único índice unificado de sollicitación. Este índice podría suplantar a los dos aspectos hasta el momento considerados (pluviometría y presión), al integrarlos bajo una misma magnitud en base a un criterio subjetivo.

De esta forma cualquiera de los mapas I, II y III (véase capítulo IV.5.7 y anejo A.2) podrían sustituir a ambas figuras 2.4 y 2.5 recogidas en el DB-HS1, permitiendo definir el grado de impermeabilidad simplemente graduando la magnitud contenida en uno de esos mapas (referidos al riesgo de penetración de agua en un periodo diario, ininterrumpido o absoluto respectivamente, para un periodo de retorno de 3 años).

No se quiere terminar este apartado sin reconocer la contribución a la realización de los mapas informativos derivados de los resultados previos, del Ingeniero Industrial D. Javier Escuer Gracia, cuyo conocimiento de los sistemas de software utilizados ha sido de vital importancia.

IV.5.- AMPLIACIÓN Y GENERALIZACIÓN DE LA PARAMETRIZACIÓN

En el presente apartado se desarrollan a nivel teórico algunas posibilidades no tratadas anteriormente para la obtención de los resultados presentados referidos a 80 emplazamientos españoles, que permitirán valorar la validez de los resultados anteriores, ampliar su ámbito de aplicación y obtener resultados con mejores prestaciones.

Así en primer lugar se procederá a verificar la validez de los resultados obtenidos, comparándolos con los resultados obtenidos en algunos emplazamientos con disponibilidad de los datos horarios precisados para la aplicación de la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011.

Posteriormente se planteará la metodología a aplicar para obtener, a partir de los valores anteriormente obtenidos para condiciones de referencia (altura de 10 m y entorno libre de obstáculos), los valores de exposición referidos a edificios de altura y entornos definidos y concretos.

Apoyándonos en datos climáticos sinópticos, se planteará también una metodología que permite determinar la distribución direccional de los valores escalares de exposición obtenidos en los apartados anteriores, entre las diferentes orientaciones posibles de cada cerramiento del edificio.

El análisis de la convergencia y coherencia de los resultados obtenidos y el desarrollo de un indicador integrado capaz de evaluar el riesgo de penetración de agua a través del cerramiento por el análisis conjunto de la lluvia batiente, presión eólica y duración de la exposición, completan la parte final de este capítulo.

IV.5.1.- VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados escalares obtenidos mediante los procedimientos descritos anteriormente han sido validados en relación a los resultados direccionales que se hubieran obtenido de utilizarse estrictamente el estándar ISO o la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011.

Para ello, se ha contado con las series horarias históricas facilitadas por la Agencia Estatal de Meteorología, referentes a 7 estaciones operadas por personal de la agencia, que incluyen datos de precipitación, viento y dirección del mismo en un periodo que cubre los años 1998 a 2011 (la antigüedad del registro es muy inferior a la de los datos diarios inicialmente utilizados).

Contando con datos horarios referidos a las magnitudes señaladas, es posible aplicar íntegramente los procedimientos recogidos por la norma UNE para determinar los valores de solicitación direccional anual I_A y a corto plazo o por periodo de humedecimiento I_S , así como la duración del periodo de humedecimiento, comparando los resultados obtenidos con los establecidos mediante el procedimiento aproximativo escalar.

Las estaciones seleccionadas para llevar a cabo esta validación se caracterizan por diferentes grados de exposición anual a lluvia batiente (dadRI), analizada previamente para las 80 estaciones estudiadas y por lo tanto son representativas de diferentes grados de solicitación por humedad en el ámbito nacional:

- Santiago de Compostela aeropuerto. Exposición daDRI severa.
- San Sebastián (Igueldo). Exposición daDRI alta.
- Vigo aeropuerto. Exposición daDRI alta.
- Jerez de la Frontera aeropuerto. Exposición daDRI moderada.
- Bilbao aeropuerto. Exposición daDRI moderada.
- Madrid aeropuerto. Exposición daDRI protegida.
- Barcelona aeropuerto. Exposición daDRI protegida.

Analizadas conjuntamente, en todas ellas puede observarse una convergencia entre los resultados escalares obtenidos y los resultados derivados del cálculo UNE, lo que verifica la validez de la aproximación escalar que se ha propuesto en anteriores apartados, para caracterizar objetiva y unívocamente los niveles de exposición:

IV.5.1.1.- Exposición anual

En todos los casos y como ya se adelantó, la estimación escalar mayoraría la exposición anual calculada en la orientación de cerramiento más solicitada, dando por lo tanto una aproximación del lado de la seguridad. En los 7 emplazamientos analizados, el valor medio de mayoración se sitúa en un 39,1%, oscilando entre una mayoración del 63,6% en el aeropuerto de Jerez y una mayoración del 16% en la estación de Igueldo.

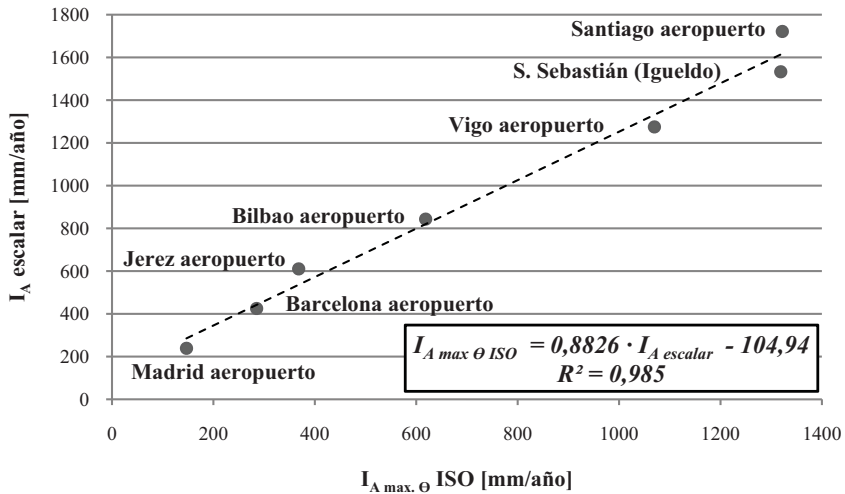


Figura IV.20.- Ajuste obtenido entre el valor de solicitud anual escalar planteado y la máxima solicitud direccional anual calculado según estándar ISO, para 7 emplazamientos representativos españoles

A pesar de ello, tal y como se observa en la figura anterior, existe una acusada relación de convergencia entre ambas estimaciones, siendo correlativo un mayor valor de

la magnitud escalar obtenida, con una mayor solicitación anual en la orientación más desfavorable del emplazamiento. Tal relación correlativa matemática, que verifica la validez de la aproximación escalar, se representa igualmente en la figura. Aplicando tal relación a partir de los valores escalares obtenidos a partir de datos diarios, es posible aproximar el máximo resultado direccional basado en datos horarios con un error medio del 10,1%, oscilando entre un error de 26,2% para el aeropuerto de Madrid y del 4% para el aeropuerto de Jerez.

Dada la influencia del término independiente en el ajuste (-104,94), esta expresión es sensiblemente menos precisa en emplazamientos de baja solicitación como Madrid (donde menos necesaria es la precisión en la aproximación). Por el contrario, el error del ajuste disminuye cuanto mayor es la solicitación en el emplazamiento.

Indudablemente, la disponibilidad de un mayor número de datos recopilados en más estaciones meteorológicas y de mayor antigüedad, permitirá en el futuro incrementar el grado de precisión de este ajuste matemático y por lo tanto mejorar la aproximación planteada. No obstante, el ajuste planteado se considera representativo para todo el territorio nacional.

Con todo ello, la relación obtenida permite con un error moderado, establecer aproximaciones cuantitativas a la exposición máxima anual en una orientación del emplazamiento, a partir de una aproximación cualitativa, escalar y de obtención mucho más simple que la magnitud definida por la norma ISO; cada estación precisaba de unas 18.000 entradas en la hoja de cálculo para la estimación de la magnitud escalar en el periodo 1952-2011; la magnitud direccional precisaba de más de 122.000 entradas para el periodo 1998-2011, a calcular 36 veces, una por cada 10° de variación en la orientación del cerramiento, un esfuerzo de cálculo unas 250 mayor.

Independientemente del desconocimiento de la orientación sobre la cual se produce esta solicitación máxima en el emplazamiento (si bien suele situarse en un rango de $\pm 45^\circ$ respecto de los vientos más habituales en la zona, representados por la rosas de viento habitualmente disponibles), el valor así aproximado (bien sea el índice escalar o su aproximación al máximo direccional), ofrece:

- Un valor aproximativo y cuantitativo de la solicitación máxima anual en el emplazamiento.
- Un valor válido para comparar la solicitación entre diferentes emplazamientos españoles.
- Un valor unívoco a partir del cual establecer caracterizaciones a nivel normativo, con un grado de prestacionalidad muy superior al actualmente presente en la caracterización establecida por la norma española.
- Un valor cuantitativo concreto, susceptible de aplicar coeficientes de exposición locales, como los recogidos por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, para establecer una exigencia local concreta en cada fachada del edificio.

Dado que en los valores diarios no se recoge la dirección del viento (y aunque así fuera, su precisión no sería muy elevada, dado que el viento puede cambiar acusadamente de dirección en el transcurso de una jornada), no es posible a partir de los mismos llegar a resultados direccionales de solicitación. Será necesario pues recurrir a un estudio horario, como el realizado para las siete estaciones anteriores y cuyo valor máximo ha permitido elaborar la figura IV.20. A continuación se presenta la distribución direccional de la lluvia batiente anual I_A , calculada de acuerdo al procedimiento recogido

por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 para cada uno de los 7 emplazamientos y cada una de las orientaciones posibles del cerramiento, tabuladas en intervalos de 10°.

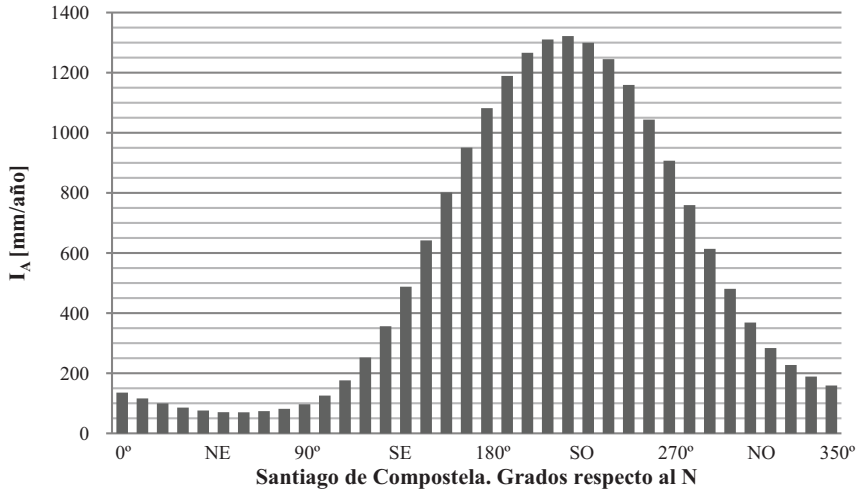


Figura IV.21.- Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en Santiago de Compostela, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

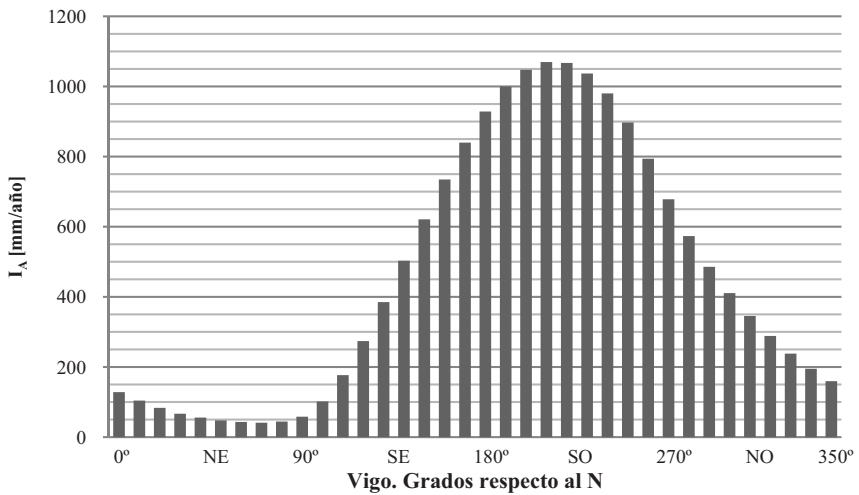


Figura IV.22.- Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en Vigo, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

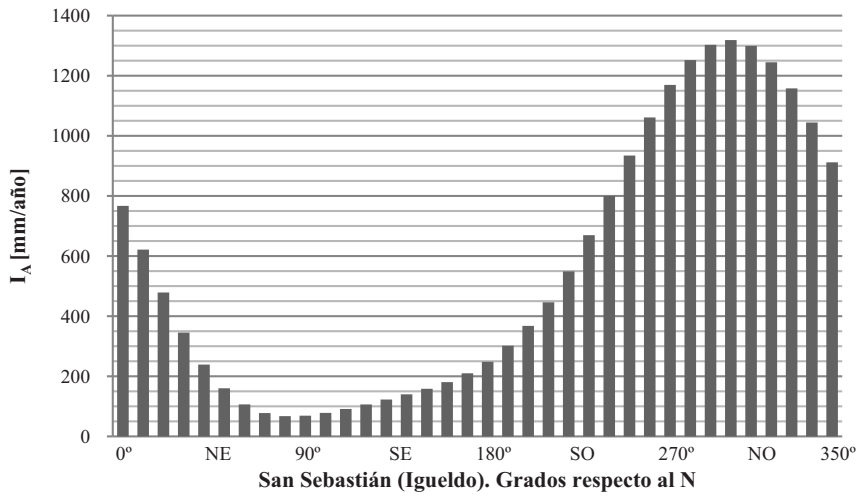


Figura IV.23.- Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en San Sebastián (Igueldo), según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

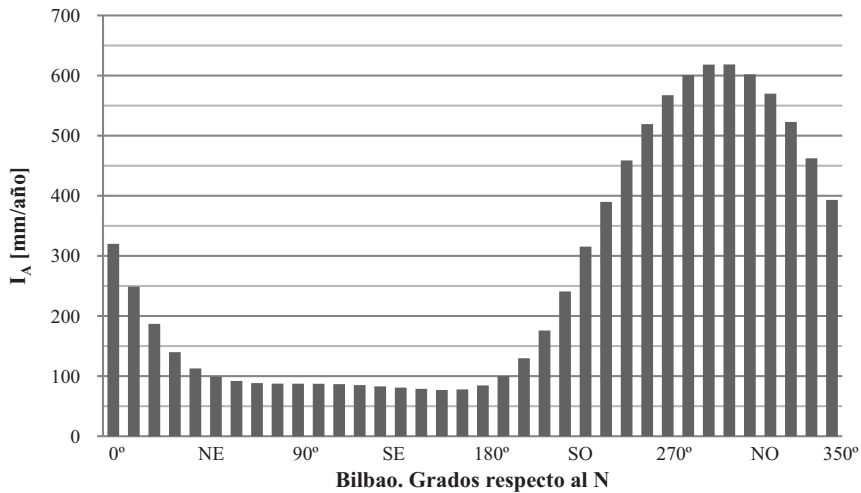


Figura IV.24.- Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en Bilbao, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

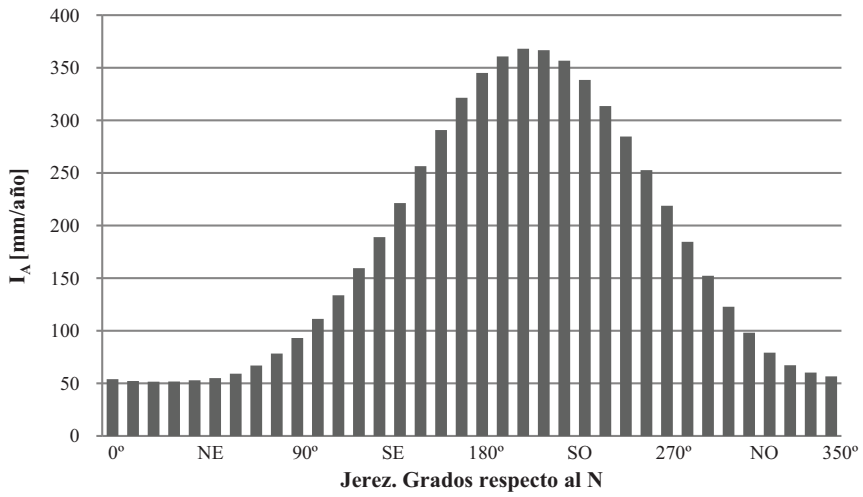


Figura IV.25.- Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en Jerez, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

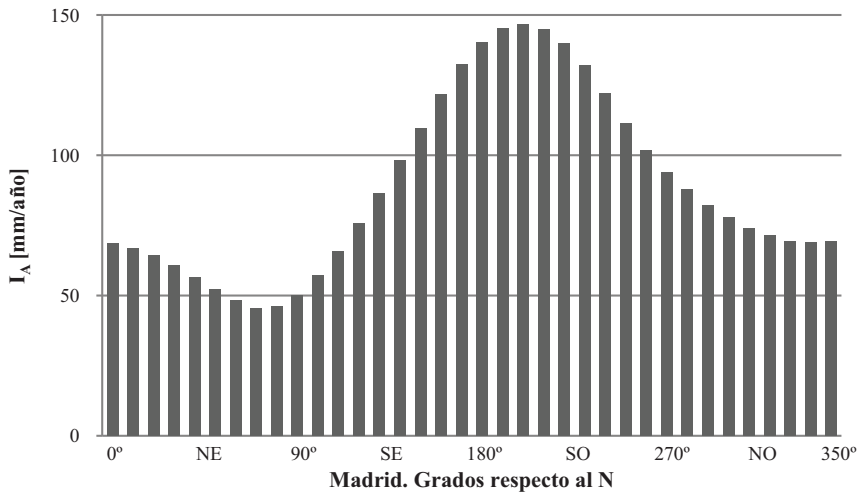


Figura IV.26.- Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en Madrid, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

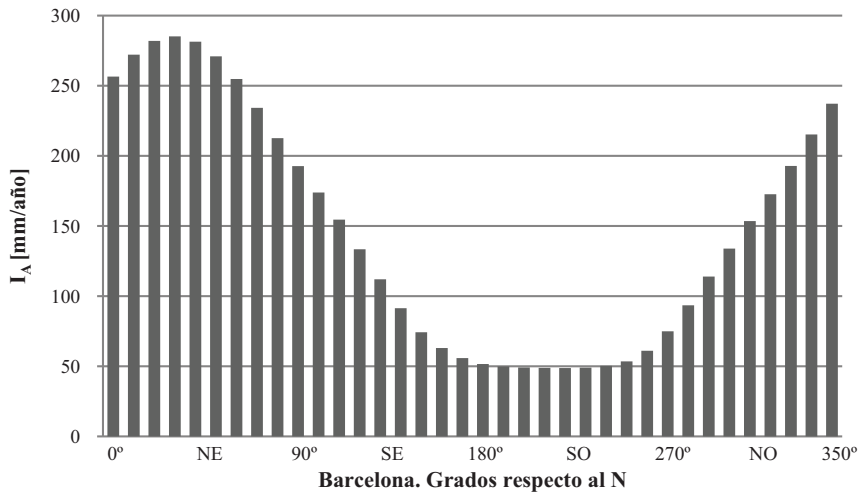


Figura IV.27.- Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en Barcelona, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

De esta representación pueden sacarse algunas conclusiones significativas:

- Emplazamientos cercanos poseen patrones de distribución similares (Santiago de Compostela-Vigo y Bilbao-San Sebastián), lo que indica una cierta relación de la distribución direccional de la solicitación asociada a patrones regionales.
- No es posible establecer una caracterización directa e inmediata del reparto direccional de lluvia batiente a partir de los datos recopilados por rosas de viento, como se puede observar en el caso de Barcelona, donde la mayor exposición se da en un emplazamiento NE (30°), mientras que la rosa de vientos indica una velocidad media del viento en dicha dirección similar a otras direcciones y una ocurrencia, casi despreciable (véase la figura IV.28).
- Existen grandes variaciones de exposición entre las diferentes orientaciones de las fachadas de un edificio, tanto más acusadas cuanto mayor es el grado de solicitación del emplazamiento.
- La exposición identificada es tanto más desfavorable para el cerramiento cuanto más cerca se sitúe de la orientación norte (0°), por la menor radiación solar recibida por dicha orientación de fachada y por ello, por la permanencia más prolongada en el tiempo de la humedad en el cerramiento. A este respecto, serían San Sebastián, Bilbao y Barcelona los emplazamientos más afectados de entre los estudiados. Inversamente, la exposición a lluvia batiente en orientación sur es menos relevante, dada la mayor radiación solar habitual sobre esta orientación de fachada, que contribuye a reducir los niveles de humedad almacenada por el cerramiento. A este respecto, serían Barcelona, Bilbao y Madrid los emplazamientos menos solicitados.
- Salvo en el caso de Madrid, caracterizado por un bajo nivel de solicitación general, la solicitación suele concentrarse fundamentalmente en un arco de $\pm 90^\circ$ respecto de la dirección de máxima exposición.

- La exposición máxima se da en una sola orientación, de forma muy acusada respecto a las restantes orientaciones, caracterizadas siempre por valores inferiores.

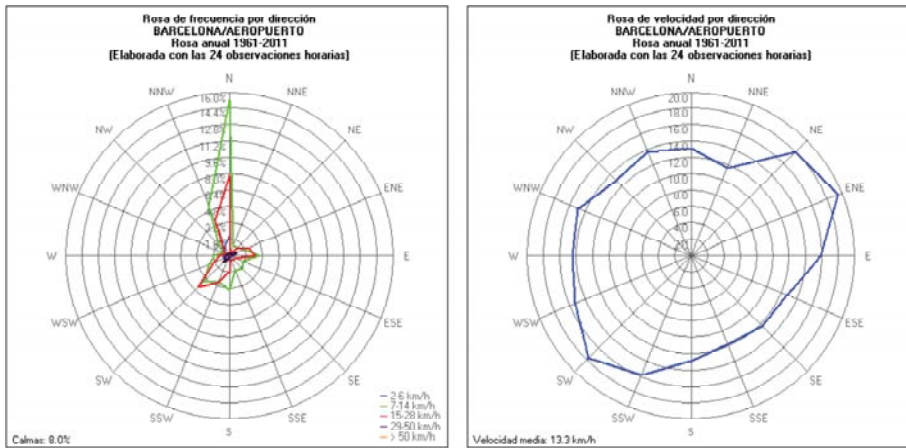


Figura IV.28.- Rosa de vientos con distribución de direcciones y velocidades referidas al aeropuerto de Barcelona. Como se aprecia, no puede establecerse una relación directa e inmediata entre ninguno de los dos factores y la distribución direccional de la lluvia batiente. Fuente: AEMET, 2011.

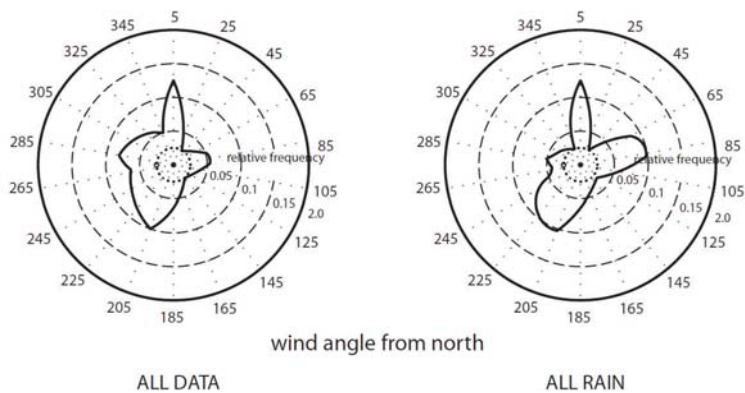


Figura IV.29.- Rosa de vientos para la ciudad de Ottawa (Canadá), a la izquierda, frente a la rosa de ciento simultáneos a eventos de precipitación en el mismo emplazamiento (derecha). Ambas distribuciones no guardan relación alguna entre sí. Fuente: Kerr, 2004.

Como se aprecia en la figura IV.28, la máxima ocurrencia de viento en Barcelona se produce en dirección norte, seguida de dirección suroeste. Sin embargo, mientras que la dirección norte no presenta el grado de exposición máximo a lluvia batiente, la orientación suroeste presenta a su vez el mínimo de exposición.

Por otro lado, la máxima velocidad se da en dirección este-noreste y suroeste, lo que tampoco coincide con la dirección de máxima exposición. No existe por lo tanto

(al menos de forma directa e inmediata), una relación directa entre las rosas de viento del emplazamiento y la dirección de la solicitación por lluvia batiente.

Similares análisis se han realizado en emplazamientos de otros países (figura IV.29), llegando a conclusiones similares: No es posible estimar la distribución direccional de la lluvia batiente en los cerramientos a partir de las rosas de viento elaboradas a partir de mediciones indiscriminadas de viento (incluyendo los vientos no simultáneos a lluvia).

Igualmente se deduce, que la estimación de la solicitación por humedad en base a la velocidad del viento o a las presiones eólicas medidas (como hace el DB-HS1), sin tener en cuenta su simultaneidad a la precipitación, no tiene ningún valor para estimar la solicitación por lluvia batiente.

IV.5.1.2.- Exposición por periodo de humedecimiento

Como sucedía para la solicitación anual, la solicitación escalar asociada a periodos de humedecimiento escalares, mayoría la estimación calculada según la norma UNE. Así de media, el valor escalar obtenido es un 33,1% más alto que la solicitación máxima direccional (para la orientación de mayor exposición), oscilando entre el 4,1% del aeropuerto de Vigo y 59,1% del de Bilbao.

De nuevo no obstante, se aprecia la convergencia entre ambas magnitudes, lo que valida el parámetro escalar como un indicador igualmente válido para adoptar comparaciones estimativas de solicitación entre diferentes emplazamientos, también para exposiciones a corto plazo o durante periodos de humedecimiento.

Como imagen representativa de esta convergencia se presenta el ajuste matemático obtenido entre ambas magnitudes escalar y vectorial. La estimación de la magnitud vectorial máxima I_S a partir de los valores escalares calculados, permite un reducir el error medio hasta el 21,3% desde el 0,6% de Santiago de Compostela hasta el 59,9% del aeropuerto de Madrid.

Dada la influencia del término independiente en el ajuste (-53,155), este ajuste es sensiblemente menos preciso en emplazamientos de baja solicitación como Madrid (donde menos necesaria es la precisión en la aproximación). Por el contrario, el error del ajuste disminuye cuanto mayor es la solicitación asociada al emplazamiento.

El ajuste en todo caso resulta de peor calidad que el efectuado para la solicitación anual, como consecuencia del menor número de datos utilizados para establecer la solicitación a corto plazo (error menos promediado a lo largo del tiempo).

En todo caso, la relación propuesta permite con error moderado, establecer aproximaciones cuantitativas a la exposición máxima por periodo de humedecimiento en un emplazamiento, a partir de una aproximación cualitativa y escalar, con un menor coste de cálculo aparejado que la norma UNE.

A pesar del desconocimiento de la orientación concreta sobre la cual se produce esta solicitación máxima (suele situarse en un rango de $\pm 45^\circ$ respecto de los vientos más habituales en la zona, representados por la rosas de viento), el valor así aproximado (bien sea el índice escalar o su aproximación al máximo direccional), ofrece de nuevo:

- Un valor aproximativo y cuantitativo de la sollicitación máxima por periodo de humedecimiento a corto plazo en el emplazamiento.
- Un valor válido para comparar la sollicitación entre diferentes emplazamientos españoles.
- Un valor unívoco a partir del cual establecer caracterizaciones a nivel normativo, ante la carencia actual en la normativa española de la estimación de sollicitaciones asociadas a cortos periodos de tiempo.
- Un valor cuantitativo concreto, susceptible de aplicar coeficientes de exposición locales, como los recogidos por la norma UNE, para establecer una exigencia local concreta en cada fachada del edificio.

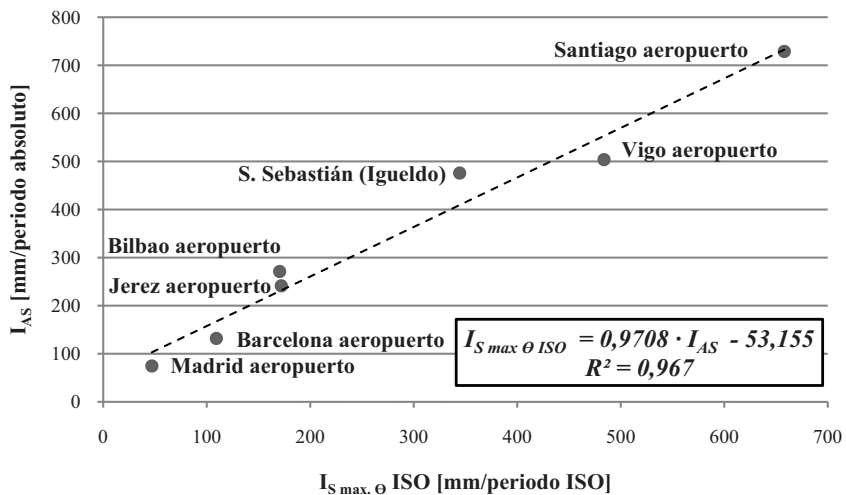


Figura IV.30.- Ajuste obtenido entre el valor de sollicitación puntual escalar planteado y la máxima sollicitación direccional por periodo de humedecimiento calculado según estándar ISO, para 7 emplazamientos representativos españoles

Como en el caso anterior, no es posible llegar a resultados direccionales de sollicitación a partir de los datos diarios inicialmente disponibles. Es necesario recurrir al estudio horario, realizado en las siete estaciones anteriores y que han permitido elaborar la gráfica anterior utilizando los valores máximos en cada uno de los emplazamientos.

A continuación se presenta la distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_S , calculada de acuerdo al procedimiento recogido por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 para cada uno de los 7 emplazamientos para los cuales se ha accedido a datos horarios que permiten el cálculo:

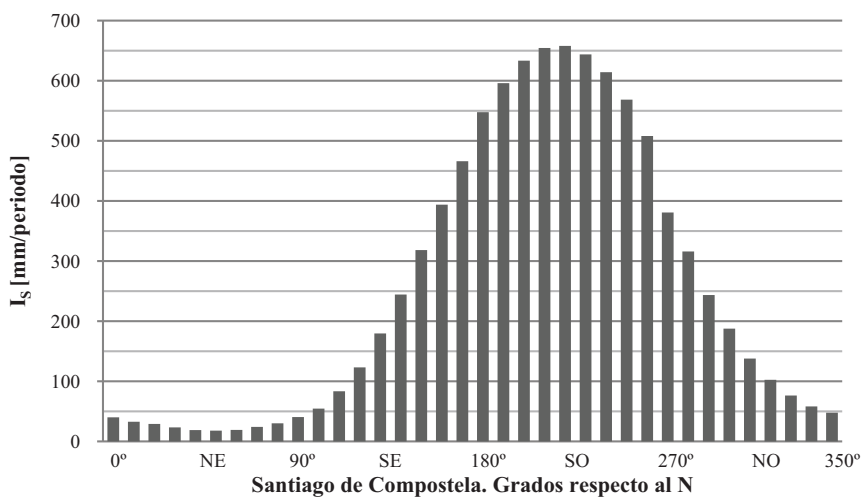


Figura IV.31.- Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_s en Santiago de Compostela, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

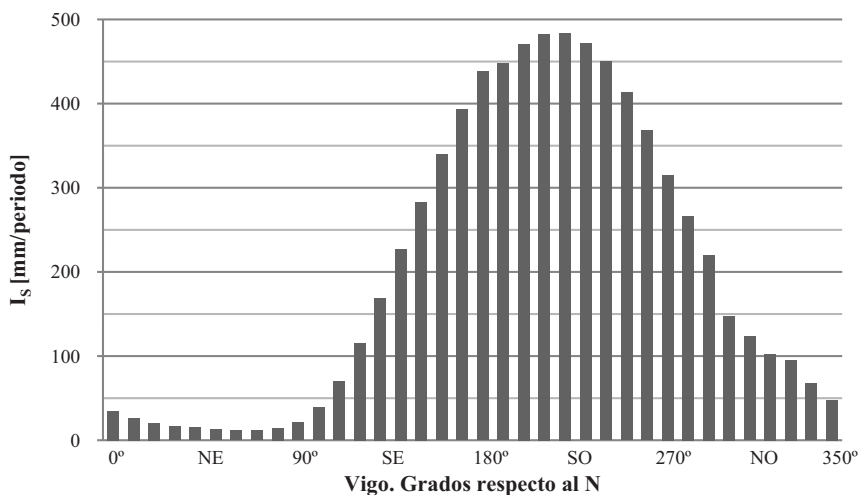


Figura IV.32.- Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_s en Vigo, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

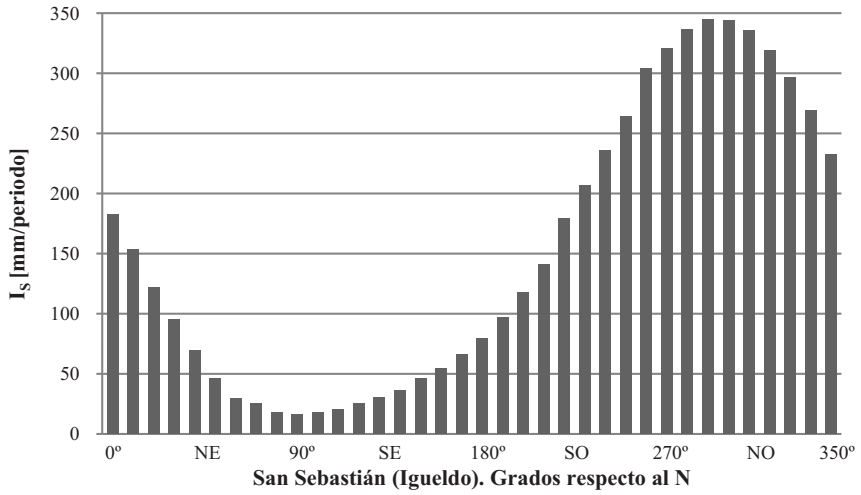


Figura IV.33.- Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_s en San Sebastián, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

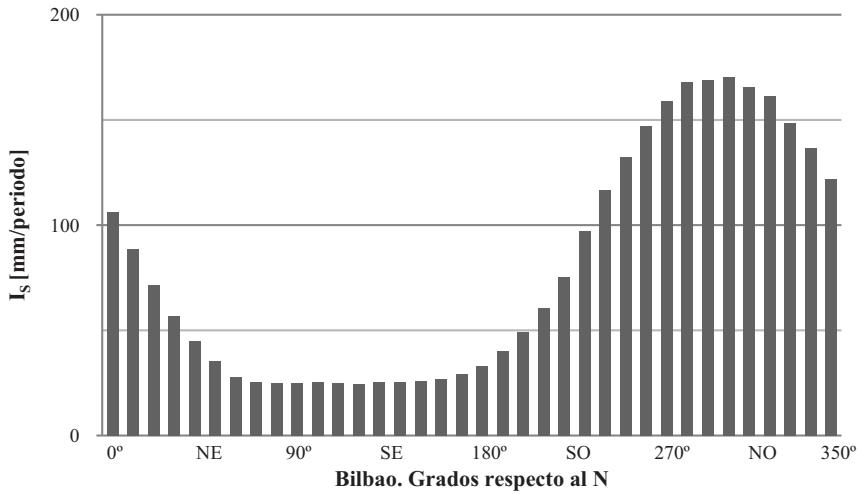


Figura IV.34.- Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_s en Bilbao, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

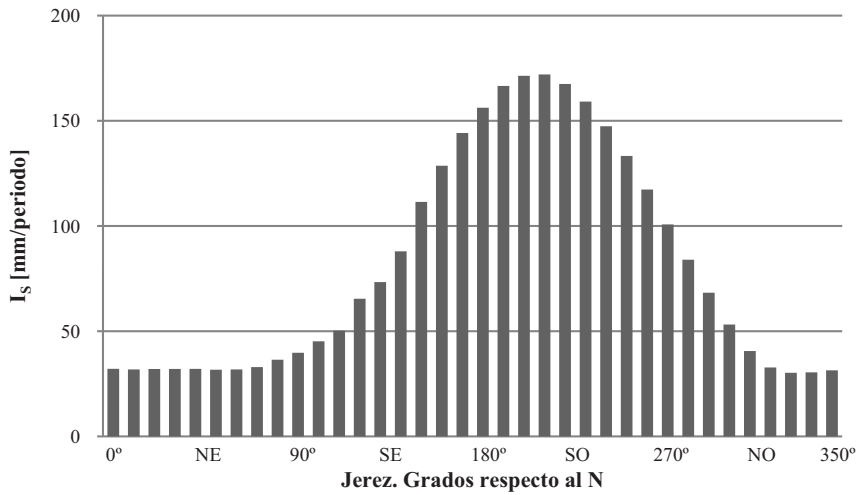


Figura IV.35.- Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_s en Jerez, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

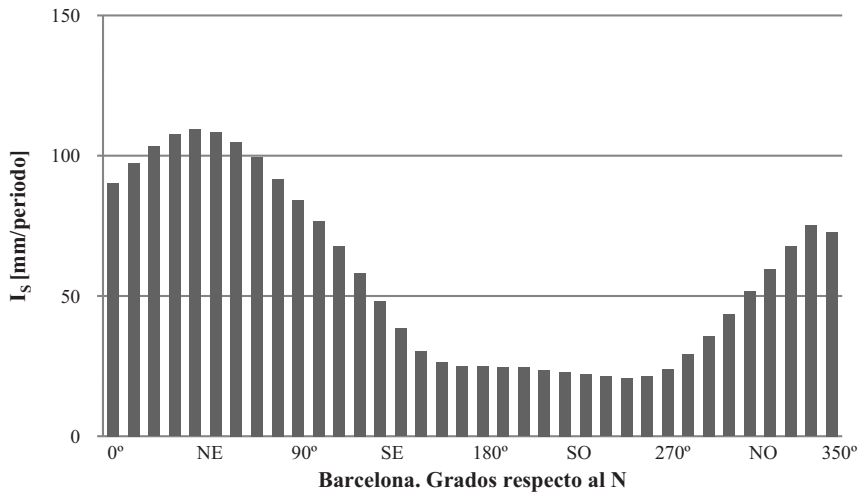


Figura IV.36.- Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_s en Barcelona, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

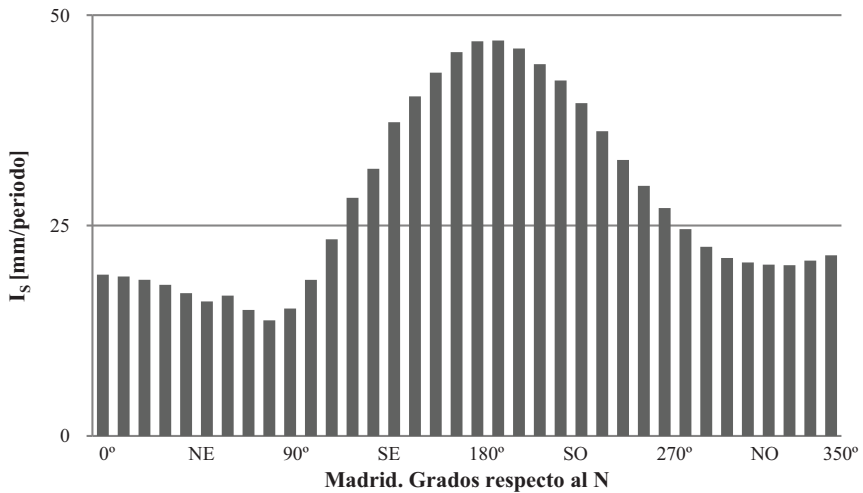


Figura IV.37.- Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_s en Madrid, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

De esta representación pueden extraerse de nuevo, algunas conclusiones significativas:

- De nuevo se identifica la distribución direccional de la solicitación asociada a patrones regionales.
- Como en el caso anterior, no es posible establecer una caracterización directa e inmediata del reparto direccional de lluvia batiente a partir de los datos recopilados por rosas de viento.
- Existen variaciones de exposición todavía más acusadas entre las diferentes orientaciones de las fachadas de un edificio, mayores cuanto mayor es el grado de solicitación del emplazamiento.
- De nuevo son San Sebastián, Bilbao y Barcelona los emplazamientos más afectados por una solicitación con orientación norte.
- Inversamente, vuelven a ser Barcelona, Bilbao y Madrid los emplazamientos menos solicitados, por una exposición sur.
- Salvo en el caso de Madrid, caracterizado por un bajo nivel de solicitación general, ésta suele concentrarse fundamentalmente en un arco de $\pm 90^\circ$ respecto de la dirección de máxima exposición.
- Como en el caso anterior, el valor máximo se asocia a una única orientación sobre el cerramiento, con un valor de exposición muy diferente del registrado en otras orientaciones diferentes del cerramiento.

IV.5.1.3.- Duración del periodo de humedecimiento

La duración estimada escalarmente para los periodos absolutos de humedecimiento también incrementa como ya se adelantó, la longitud de los valores de

humedecimiento definidos según el estándar ISO o norma UNE. De media, la duración de este periodo se incrementa un 15,7% en su estimación escalar, entre el 29,1% de Barcelona y el 0,6% del aeropuerto de Vigo. Como en casos anteriores, una menor sollicitación se asocia a un mayor error en la aproximación escalar.

A pesar de esto es posible establecer un ajuste matemático que representa la convergencia de ambas magnitudes con un grado de error moderado. Se verifica así la validez de la aproximación escalar, también para determinar la longitud del periodo de humedecimiento más desfavorable sobre cualquier orientación posible del cerramiento.

La estimación de la duración vectorial máxima del periodo de humedecimiento a partir de los valores escalares, permite un reducir el error medio hasta el 7,7% desde el 12% de Vigo hasta el 2,6% de Santiago de Compostela.

En todo caso, la relación propuesta permite con error moderado, establecer aproximaciones cuantitativas a la duración máxima de exposición por periodo de humedecimiento en un emplazamiento, a partir de una aproximación cualitativa y escalar, con un menor coste de cálculo aparejado que la norma UNE.

A pesar del desconocimiento de la orientación concreta sobre la cual se produce este periodo de humedecimiento (que suele situarse en un rango de $\pm 45^\circ$ respecto de los vientos más habituales en la zona, representados por la rosas de viento), el valor así aproximado (bien sea el índice escalar o su aproximación al máximo direccional), demuestra igualmente su perfecta validez para la caracterización de los emplazamientos.

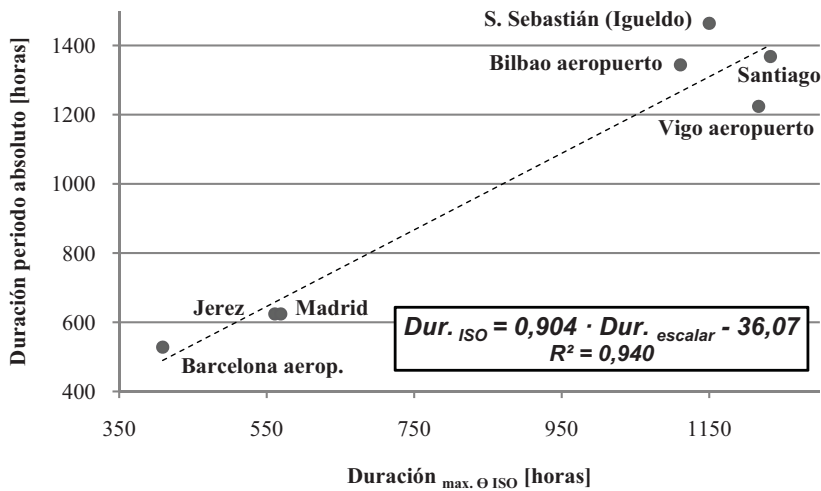


Figura IV.38.- Ajuste obtenido entre la duración del periodo absoluto de humedecimiento planteada y la máxima duración direccional de dicho periodo, calculado según estándar ISO para 7 emplazamientos representativos españoles

Como en los casos anteriores, no es posible llegar a resultados direccionales de sollicitación a partir de los datos diarios. Es necesario recurrir al estudio horario, realizado en las siete estaciones anteriores y que han permitido elaborar la gráfica anterior a partir

de los periodos de humedecimiento más largos identificados. A continuación se presenta la distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento, calculado de acuerdo al Anexo B de la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 para cada uno de los 7 emplazamientos:

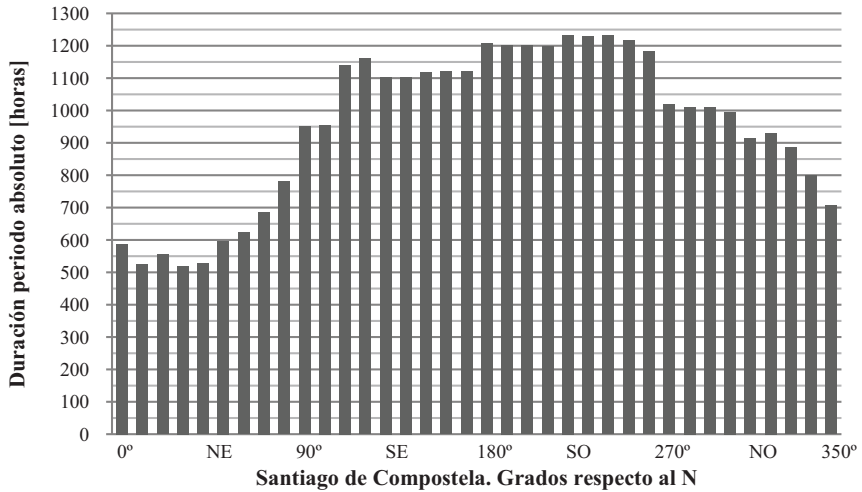


Figura IV.39.- Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en Santiago de Compostela, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

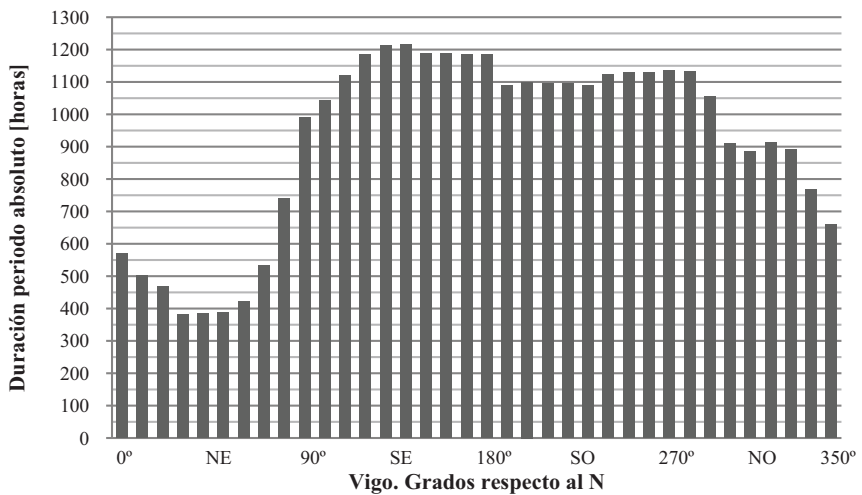


Figura IV.40.- Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en Vigo, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

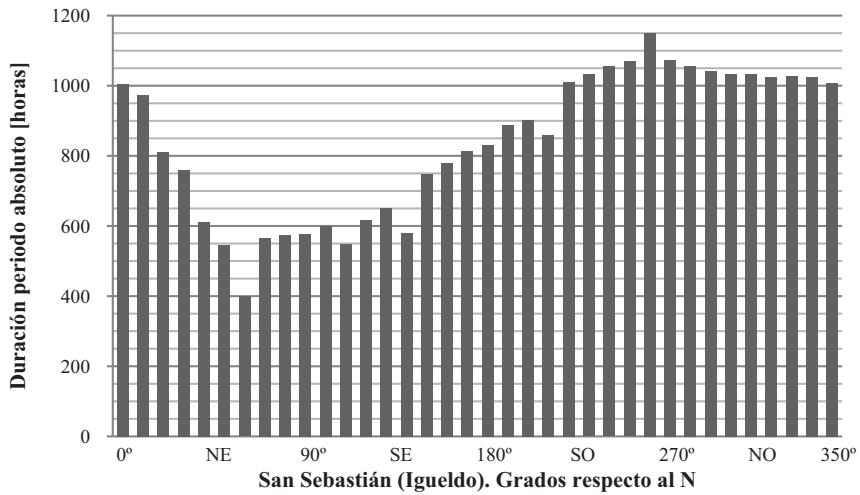


Figura IV.41.- Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en San Sebastián (Igueldo), según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

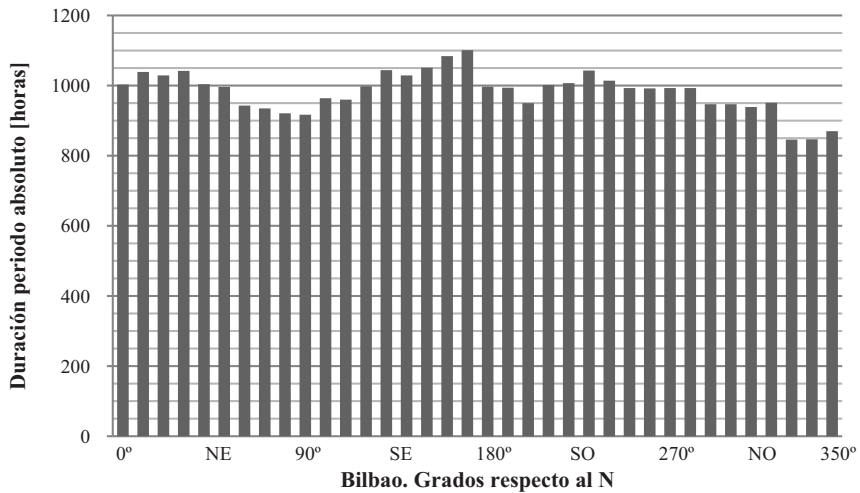


Figura IV.42.- Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en Bilbao, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

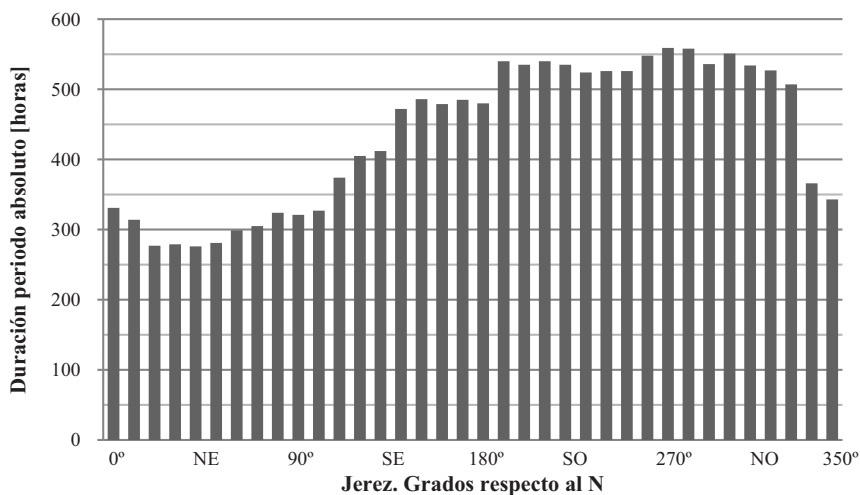


Figura IV.43.- Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en Jerez, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

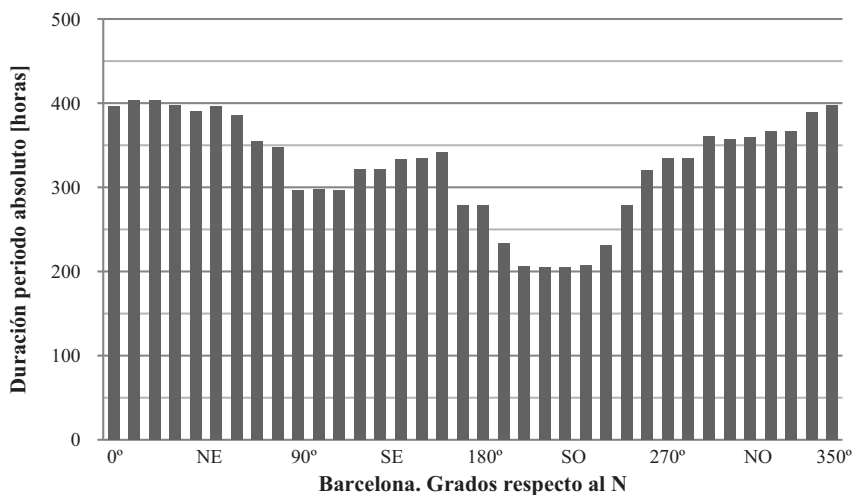


Figura IV.44.- Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en Barcelona, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

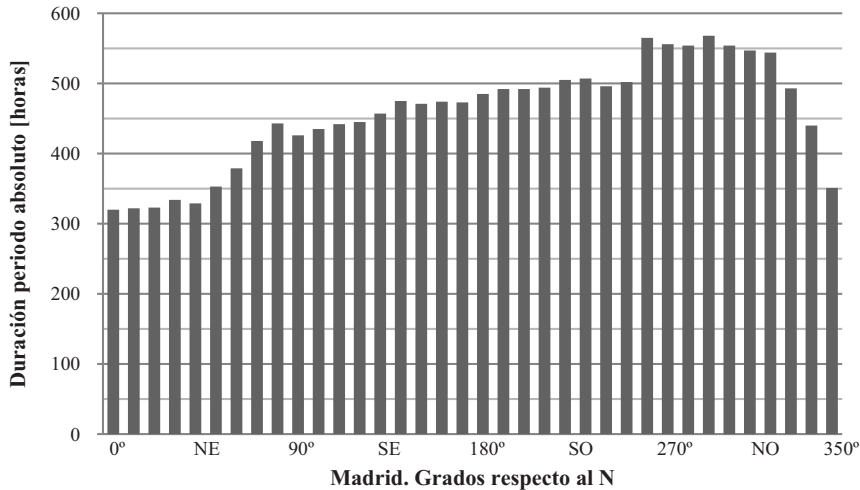


Figura IV.45.- Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en Madrid, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.

De esta representación pueden extraerse también algunas conclusiones de interés:

- La distribución direccional de la solicitación asociada a patrones regionales, es mucho más débil, hasta el punto que en el caso de Bilbao y San Sebastián llega a desaparecer.
- Como en los casos anteriores, no es posible establecer una caracterización directa e inmediata de la duración de los periodos de humedecimiento a partir de los datos recopilados por rosas de viento.
- No existen variaciones de longitud de dichos periodos entre las diferentes orientaciones de las fachadas de un edificio, tan significativas como para los parámetros de lluvia batiente analizados anteriormente.
- Son San Sebastián y Bilbao los emplazamientos más afectados por una mayor duración de periodos de humedecimiento en la orientación norte.
- Inversamente, vuelven a ser Barcelona, Jerez y Madrid los emplazamientos menos solicitados, por una exposición sur.
- La longitud de los periodos de humedecimiento en una orientación no puede por sí sola, asociarse con la severidad de la exposición en dicha orientación. La variabilidad en la dirección del viento durante las precipitaciones hace que en emplazamientos como Bilbao, no pueda identificarse un periodo máximo claramente definido. En esos casos, es la intensidad de la precipitación simultánea, la que determina la orientación de mayor exposición.
- No puede establecerse una única orientación sobre la que se detecten los periodos de humedecimiento de mayor extensión, siendo varias las direcciones, no cercanas a la máxima, en las que se producen valores cercanos o similares al máximo.

IV.5.2.- APROXIMACIÓN A VALORES DE EXPOSICIÓN LOCALES

En este apartado se presenta un método de posible aproximación a los resultados locales sobre un edificio concreto a partir de los datos escalares aportados anteriormente por este estudio.

Para ello, se desarrollará un ejemplo de aplicación, siguiendo la misma metodología recogida por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, utilizando los coeficientes locales aportados por la misma.

Así, se pretende determinar la sollicitación por humedad esperada para un periodo de retorno de 30 años, sobre un edificio situado en la ciudad de Barcelona.

Partiendo de la aproximación a los datos de la estación meteorológica más cercana analizada (Estación 0076, Aeropuerto del Prat), los resultados obtenidos se muestran a continuación, asumiendo un periodo de retorno de 30 años. Los datos correspondientes a otros periodos de retorno, pueden igualmente consultarse en la ficha de resultados correspondiente a esta estación (anejo A.1).

Tabla IV.3.- Caracterización de referencia obtenida en base a los datos de la estación 0076 del Aeropuerto de Barcelona, para TR igual a 30 años.

Magnitud	Valor	Unidades
daDRI	2,66	m ² /s
I _{AS}	260,61	mm/periodo ab.
Periodo absoluto hum.	37	días
P _{AS} . eólica	62,12	N/m ² periodo ab
Caracterización cualitativa	28	½ jornadas
I _D	128,04	mm/día
P. eólica	133,48	N/m ² día
I _{S ii}	218,72	mm/periodo ii
Periodo ii	9	días
P. eólica ii	95,74	N/m ² periodo ii
I _A escalar	425,05	mm/año
Zona de lluvia batiente anual de referencia	III	-

A este respecto, es posible estimar con mayor precisión los valores máximos direccionales asociados al emplazamiento para I_A, I_S y duración del periodo de humedecimiento, simplemente aplicando las expresiones de correlación presentadas en las gráficas anteriores:

Tabla IV.4.- Caracterización de referencia obtenida en base a los datos de la estación 0076 del Aeropuerto de Barcelona, para TR igual a 30 años.

Magnitud	Correlación	Magnitud ajustada
$I_{AS} = 260,61$ mm/periodo absoluto	$I_S \text{ max.} = 0,9709 \cdot 260,61 - 53,65$	$I_{S \theta \text{ MAX}} \approx 199,4$ mm/periodo
Periodo ab. hum. = 37 días	$\text{Per. ISO} = 0,904 \cdot 37 \cdot 24 - 36,07$	Periodo máx. hum. $\approx 766,7$ horas
$I_A \text{ escalar} = 425,05$ mm/años	$I_A \text{ max.} = 0,8865 \cdot 425,05 - 103,28$	$I_{A \theta \text{ MAX}} \approx 273,5$ mm/año

Más allá de la caracterización escalar o direccional máxima, el valor de sollicitación puede ajustarse también a las condiciones específicas del entorno que rodea al edificio.

Adoptando los procedimientos recogidos en la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, los valores de lluvia batiente sobre el edificio concreto pueden modificarse del siguiente modo:

$$I_{\text{lluvia batiente local}} = I_{\text{lluvia batiente}} \cdot C_R \cdot C_T \cdot O \cdot W$$

siendo C_R , C_T , O y W , coeficientes que dependen de la rugosidad del entorno, altura del edificio, topografía del entorno, obstáculos al flujo de viento, presencia de elementos arquitectónicos en la fachada y posición del punto a analizar, tal y como se analizó en los capítulos II y III.

Suponiendo una altura de 20 m para el edificio, situado en la zona urbana de Barcelona, con un entorno llano, edificaciones cercanas a menos de 40 m de distancia y carencia de aleros de cubierta, los resultados esperables para el edificio definido, partiendo de los datos presentados en este estudio y de los coeficientes recogidos por la norma, serían los representados en la tabla IV.5:

Con la simple aplicación de los coeficientes locales recogidos por la norma UNE, ha sido posible aproximar los datos de referencia (obtenidos en condiciones controladas fuera de núcleos urbano), a valores locales, asociados a un edificio concreto como el del ejemplo presentado. Con ello se ha podido obtener:

- Una estimación aproximada de la exposición máxima sobre cualquier cerramiento, asociada a un intervalo anual (I_A), un periodo de humedecimiento (I_S) y a la longitud de dicho periodo de humedecimiento, con una precisión adecuada.
- La precisión de estas estimaciones es aceptable respecto al resultado obtenido aplicando estrictamente la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, habiendo partido de datos mucho más disponibles, tal y como demuestran los coeficientes de determinación (R^2) identificados en los anteriores ajustes.
- Una estimación escalar, cualitativa y comparativa de la sollicitación asociada al edificio concreto (no a un cerramiento concreto del mismo), para las condiciones de exposición durante días de precipitación y periodos de lluvia ininterrumpida.

- En este caso, la estimación escalar permite comparar niveles de solicitud entre diferentes emplazamientos y edificios concretos, si bien los resultados obtenidos no identifican el valor cuantitativo real de lluvia batiente sobre ninguno de los cerramientos, sino sobre el total del edificio.

Tabla IV.5.- Caracterización de referencia, obtenida mediante datos de la estación 0076 del Aeropuerto de Barcelona, para TR=30 años. I_S , I_A y periodo, corresponden a valores asociados a la dirección de máxima exposición. El resto son valores escalares sobre el edificio.

Magnitud	Valor de referencia	Conversión	Valor local	Unidades
daDRI	2,66	$0,72 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,2$	0,19152	m ² /s
$I_{S \theta}$ max.	199,4	$0,72 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,2$	14,36 aprox.	mm/periodo
Periodo hum. θ max.	766,7	-	766,7 aprox.	horas
P_{AS} eólica	62,12	-	62,12	N/m ² periodo ab.
Caracterización cualitativa	28	-	28	½ jornadas
I_D	128,04	$0,72 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,2$	9,22	mm/día
P. eólica	133,48	-	133,48	N/m ² día
$I_{S ii}$	218,72	$0,72 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,2$	15,75	mm/periodo ii
Periodo ii	9	-	9	días
P. eólica ii	95,74	-	95,74	N/m ² periodo ii
$I_{A \theta}$ max.	273,5	$0,72 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,2$	19,69 aprox.	mm/año

IV.5.3.- APROXIMACIÓN A LOS ÍNDICES DIRECCIONALES

Los anteriores resultados han permitido establecer con una buena precisión tanto los valores escalares de solicitud sobre el edificio, como los valores cuantitativos asociados a la máxima solicitud sobre un cerramiento de dicho edificio. No obstante, se desconoce la distribución angular de estos valores escalares, así como la orientación del edificio sobre la cual se produce la exposición máxima calculada (que habría de definir las condiciones mínimas exigibles para todo el edificio).

Autores como Rydock (2005), han propuesto métodos para estimar el reparto direccional de solicitud a partir de datos diferentes a los horarios exigidos por la norma y que como se ha mencionado, raramente se encuentran disponibles de forma generalizada salvo para Reino Unido.

Para ello Rydock recurre a mediciones sinópticas realizadas cada 6 horas siguiendo el Código Meteorológico Mundial para el tiempo existente en el momento del registro.

Así, las previsiones meteorológicas realizadas en los diferentes países se basan en mediciones sinópticas, realizadas cada 3, 6 u 8 horas según el país y que codifican la

nubosidad, dirección de viento, visibilidad, presión, precipitación registrada, temperatura, fenómenos atmosféricos significativos...

Rydock utiliza este último parámetro (fenómenos significativos relevantes en el momento del registro), para establecer la dirección y velocidad del viento simultánea a fenómenos de precipitación. Estos fenómenos se identifican en la codificación meteorológica dentro del grupo 7wwW₁W₁, correspondiendo a la codificación ww las observaciones sobre el tiempo atmosférico en el momento del registro. Lógicamente, la codificación de uno u otro valor, depende de la subjetividad del personal de la estación meteorológica encargado del registro, siendo los rangos en ocasiones un tanto difusos:

Codes for rain or rain showers used to select rain events in the synoptic observation data

CodeSynoptic weather description

60	Rain, not freezing, intermittent, slight at time of observation
61	Rain, not freezing, continuous, slight at time of observation
62	Rain, not freezing, intermittent, moderate at time of observation
63	Rain, not freezing, continuous, moderate at time of observation
64	Rain, not freezing, intermittent, heavy at time of observation
65	Rain, not freezing, continuous, heavy at time of observation
80	Rain shower(s), slight
81	Rain shower(s), moderate or heavy
82	Rain shower(s), violent

Figura IV.46.- Codificación sinóptica del grupo ww, utilizada por Rydock para determinar la presencia de lluvias en el momento de medición. Desprecia la presencia de lloviznas (grupo 50-59) y de precipitaciones en estado sólido simultáneas a nieve o granizo (grupos 66-69; 70-79 y 83-99)
Fuente: Rydock et al., 2005.

Simultáneamente, en otro grupo de codificación (Nddff), se registra la dirección del viento en el momento de medición (dd) en decenas de grados y su velocidad (ff) en nudos.

Recopilados durante un número significativo de años los fenómenos meteorológicos de precipitación en el momento de registro (grupos 60-65 y 80-82), es posible distribuir el número de eventos en los cuales el viento se da en cada dirección (adoptando intervalos de 10°), así como determinar la velocidad media del viento en los eventos dados en cada dirección.

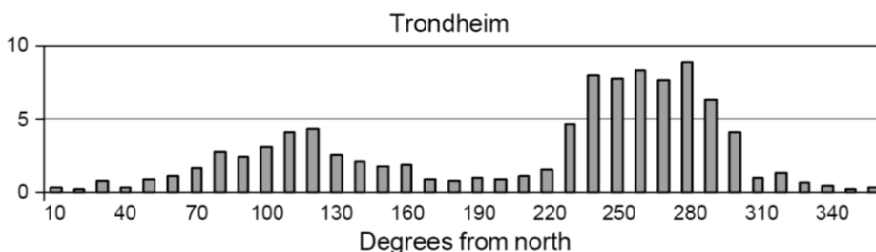


Figura IV.47.- Reparto del número de eventos de precipitación, según dirección del viento simultáneo a la misma, para la ciudad noruega de Trondheim. Fuente: Rydock et al., 2005.

Conocida esta distribución direccional de los eventos de lluvia ($\%_D$), la velocidad media del viento asociada a los eventos en cada dirección ($v_{med D}$) y la pluviometría media anual del emplazamiento $I_{med\ anual}$, Rydock estima el reparto direccional de lluvia en el emplazamiento aplicando la siguiente formulación, muy similar en su concepción a la empleada por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011:

$$I_{A\theta Rydock} \approx 0,206 \sum \%_D \cdot I_{med\ anual} \cdot v_{med D} \cdot \cos(D - \theta)$$

$$\%_D = \frac{\sum \text{eventos}_D}{\sum \text{eventos}}$$

Tal y como se aprecia, para estimar la magnitud de la lluvia batiente anual I_A utiliza el mismo coeficiente utilizado por Lacy en sus aproximaciones semi-empíricas, igual al valor 0,206.

La anterior expresión, calculada para cada intervalo de 10° en el ángulo del cerramiento θ , permite estimar el reparto direccional de la exposición a lluvia batiente en el cerramiento, sin necesidad de disponer de valores horarios climáticos en el emplazamiento.

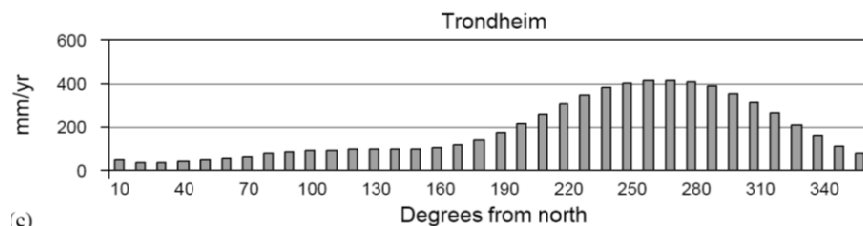


Figura IV.48.- Reparto de la exposición anual a lluvia batiente I_A , para la ciudad noruega de Trondheim. Fuente: Rydock et al., 2005.

Este método de aproximación direccional, permite caracterizar el reparto de exposición de los diferentes cerramientos de un edificio en un emplazamiento, a partir de datos habitualmente disponibles en múltiples emplazamientos y que son utilizados para establecer previsiones meteorológicas. La disponibilidad de estas codificaciones climatológicas es mucho mayor que la de datos diarios, por lo que este reparto puede analizarse en un número mucho más significativo de lugares, obteniendo mapas mucho más tupidos que los recopilados en este trabajo.

En nuestro país, los registros sinópticos se remontan a 1972 en la mayoría de las estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología, por lo que su utilización es mucho más representativa que el uso de datos horarios (solo disponibles desde 1998 en algunos emplazamientos).

La codificación empleada en España (clave FM 12-XIV SYNOP), es sensiblemente similar a la utilizada por Rydock en sus trabajos, albergando los mismos grupos utilizados por él (grupo 7wwW₁W₂ para la observación de fenómenos meteorológicos relevantes y Nddff para la observación de dirección y velocidad de

viento). La codificación está regulada por el manual de claves internacionales de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2010), siendo común a todos los países.

Es por lo tanto posible utilizar la aproximación desarrollada por Rydock para establecer el reparto direccional de la lluvia batiente anual en un emplazamiento. No obstante, la metodología empedada por Rydock adolece de ciertas carencias, que pueden ser mejoradas en esta investigación, para ofrecer una estimación direccional de mayor precisión:

- La utilización del grupo $7wwW_1W_2$, identifica únicamente el estado climatológico en el momento de medición, no en las 6 horas previas, dando como resultado un registro bastante pobre del viento simultáneo a la lluvia.
- Se ponderan en igual medida todos los eventos de precipitación, a pesar de su intensidad es muy diferente (por ejemplo codificación 60 y 65).
- La estimación de un fenómeno de llovizna (no considerado) o lluvia (sí considerado), queda a discreción objetiva del observador de la estación.
- $V_{med D}$, es un valor medio, promedio de la velocidad del viento simultaneo a precipitación en dicha dirección, no un valor real como el utilizado horariamente por la norma UNE.
- $I_{media\ anual}$ se reparte en las direcciones según el número de eventos asociado a cada dirección, sin considerar que la precipitación se da de forma más intensa en ciertas orientaciones del emplazamiento, siendo por lo tanto este reparto no homogéneo.

Todo ello da como resultado una estimación adecuada del reparto direccional, pero meramente estimativa y aproximada, respecto del reparto real u obtenido aplicando los métodos horarios contenidos en la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, y que por lo tanto puede alejarse significativamente de los valores cuantitativos reales:

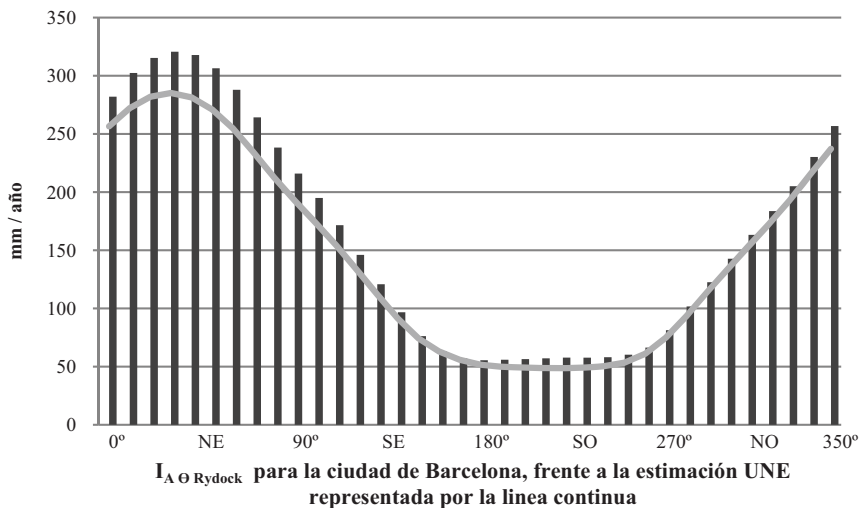


Figura IV.49.- Comparación de la estimación de lluvia batiente de Rydock, realizado en base a datos sinópticos y el valor de solicitud obtenido mediante datos diarios, según el estándar ISO.

A partir de los mismos registros sinópticos utilizados para elaborar previsiones meteorológicas, puede elaborarse una estimación de mejor precisión, minimizando la mayor parte de las deficiencias identificadas en la aproximación Rydock.

Del mismo modo, será posible igualmente estimar la distribución direccional de la solicitación a partir de los valores escalares anteriormente elaborados, de un ámbito de duración anual.

Para la estimación de la distribución direccional de la solicitación en intervalos temporales menores, también analizados escalaramente en este trabajo (diarios, de lluvia ininterrumpida, por periodo absoluto de humedecimiento), nos remitimos a estudios previos (Rydock y Gustavsen, 2007) y a las gráficas anteriores para emplazamientos españoles, que determinan una importante similitud entre las distribuciones anuales y durante periodos de tiempo más concretos.

Para elaborar una distribución direccional de mayor precisión, será necesario considerar el grupo $6RRRt_R$ en lugar del grupo $7wwW_1W_2$ utilizado por Rydock, en la misma codificación sinóptica.

El grupo $6RRRt_R$ registra en intervalos de 6 horas, la cantidad de precipitación recogida (RRR), durante el periodo indicado por el valor t_R . El grupo por lo tanto, permite identificar la presencia de precipitaciones de forma similar a como Rodyck lo hacía mediante el grupo $7wwW_1W_2$, pero eliminando muchos de los inconvenientes intrínsecos que se han analizado anteriormente.

La codificación RRR, indica la cantidad de precipitación (mm), caída durante el periodo indicado por el valor t_R . Así, entre 000 y 989, el valor expresado se interpreta directamente en mm. Para valores mayores a 990, la última cifra se interpreta como décimas de mm de precipitación, siendo por ejemplo 995, equivalente a 0,5 mm de precipitación.

El valor indicado por t_R hace referencia al periodo durante el cual se ha recopilado la precipitación que se presenta en el informe codificado, de acuerdo a la siguiente tabla de equivalencia:

Cifra de clave	
1	Precipitación total durante las 6 horas que preceden a la observación
2	Precipitación total durante las 12 horas que preceden a la observación
3	Precipitación total durante las 18 horas que preceden a la observación
4	Precipitación total durante las 24 horas que preceden a la observación
5	Precipitación total durante la hora que precede a la observación
6	Precipitación total durante las 2 horas que preceden a la observación
7	Precipitación total durante las 3 horas que preceden a la observación
8	Precipitación total durante las 9 horas que preceden a la observación
9	Precipitación total durante las 15 horas que preceden a la observación

Figura IV.50.- Codificación del valor t_R dentro del grupo de precipitación. Fuente: WMO, 2011.

En nuestro país, las mediciones de precipitación se presentan únicamente cada 6 horas, a las 00:00, 6:00, 12:00 y 18:00 h. De ellas, a las 0:00 y 12:00 h suelen

presentarse los datos relativos a las 6 horas anteriores (el valor t_R coincide con un 1). A las 6:00 y 18:00 h, la práctica habitual es recopilar la precipitaciones en las 12 horas previas, incluyendo una cifra $t_R = 2$. El resto de intervalos no suelen ser utilizados por las estaciones españolas.

Utilizando una hoja de cálculo, es sencillo determinar la cantidad de lluvia recogida en el periodo comprendido entre registro y registro de 6 horas, a partir de los datos anteriores.

Así por ejemplo:

12:00 h 60051 equivale a 5 mm recogido en las 6 horas previas.

18:00 h 60112 equivale a 11 mm recogido en las 12 horas previas, es decir, 7 mm en las 6 horas previas ($11-5=7$).

Registrando además de la precipitación, la dirección y velocidad del viento en aquellos registros que presentan una precipitación previa, es posible establecer una aproximación similar a la de Rydock, que elimina algunas de las indeterminaciones del primero mejorando la precisión obtenida:

- La utilización del grupo $6RRRt_R$, identifica la precipitación tanto en el momento de la medición como en el intervalo previo, dando como resultado un registro muy fiable del viento y lluvia simultáneos.
- Utilizando este grupo, se estiman los fenómenos de llovizna, no considerados anteriormente, no quedando el registro de la precipitación, sometida a la subjetividad del observador.
- Puede establecerse tanto la $V_{med D}$ o valor medio, promedio de la velocidad del viento simultáneo a precipitación en dicha dirección, como la $I_{med D}$ o lluvia anual promedio caída cuando el viento sopla en cada dirección.
- No es necesario repartir una $I_{media anual}$ en las direcciones, ya que se conoce el reparto de lluvia en cada dirección, obtenido de los propios datos, incrementándose la precisión.
- Las precipitaciones pueden ponderarse en su justa medida, ya que no se evalúan eventos de precipitación, sino mm de lluvia recogidos en cada intervalo de tiempo o evento de precipitación.

Así pues, pueden plantearse diferentes estimaciones del reparto direccional de exposición, aplicando progresivamente las potencialidades del método que se presenta:

IV.5.3.1.- Reparto direccional en base a la lluvia batiente y e índices escalares

El método de Rydock se basa en el reparto del número de eventos de precipitación que se producen de forma simultánea al viento en cada dirección. No obstante, este reparto no atiende a la magnitud de la precipitación (que se considera homogénea en todos los eventos de lluvia), ni del viento, que luego se utiliza promediado en cada dirección.

Mediante la utilización del grupo $6RRRt_R$ es posible en cada intervalo de precipitación, registrar todos los parámetros necesarios para establecer un reparto proporcional a la lluvia batiente en cada dirección (precipitación – viento – dirección). Para ello, se realiza el sumatorio de todos los productos $I_i \cdot v_i$, correspondientes a cada fenómeno de lluvia batiente registrado en cada dirección D y se obtiene el valor normalizado asociado a dicha dirección:

$$\%_{WDR D} = \frac{\sum I_{Di} \cdot v_{Di}}{\sum I_i \cdot v_i}$$

El reparto direccional, no se realiza por lo tanto en base al número de eventos de lluvia, sino a su magnitud, mejorando la precisión de dicho reparto.

Como se aprecia en la figura siguiente, para la ciudad de Barcelona el reparto direccional de lluvia batiente, representado mediante barras, poco tiene que ver con el recuento de eventos de lluvia utilizado por Rydock y representado mediante línea discontinua.

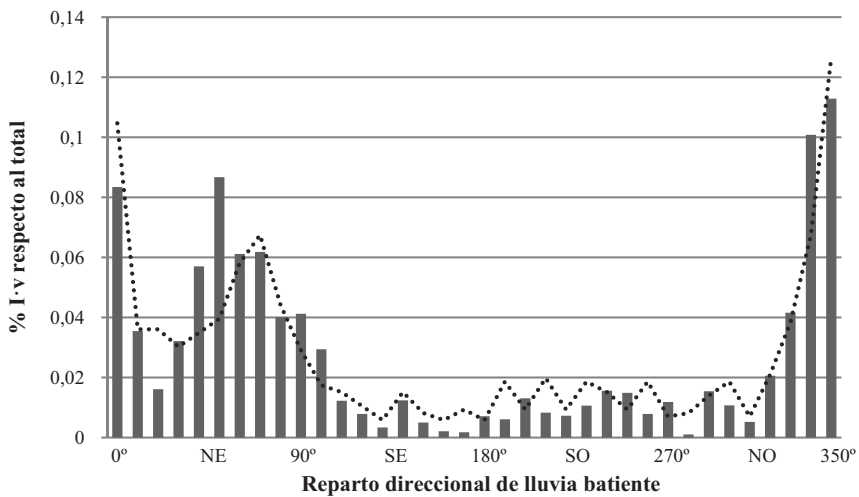


Figura IV.51.- Comparación del reparto direccional de lluvia de Rydock, realizado en base al número de eventos y el reparto planteado, realizado en base a la cuantía de la lluvia batiente recogida en cada dirección.

Al contabilizarse ya en este reparto la influencia del viento y lluvia en cada dirección, dicho reparto puede utilizarse directamente para distribuir proporcionalmente el valor obtenido anteriormente mediante el parámetro escalar desarrollado en este trabajo.

Así, conociendo el valor $daDRI$ (indicador anual escalar ya presentado anteriormente), para la ciudad de Barcelona igual a $2,66 \text{ m}^2/\text{s}$, puede calcularse el reparto de la sollicitación del siguiente modo (se utiliza para ello el mismo coeficiente $0,206$

utilizado por Lacy, multiplicándolo por 1000, para obtener así la sollicitación en mm/año):

$$I_{A_{\theta}} \approx 1000 \cdot 0,206 \cdot daDRI \sum \%_{WDR D} \cdot \cos(D - \theta)$$

El resultado obtenido, ofrece una precisión adecuada si se la compara a la del método aproximado de Rydock, si bien permite adicionalmente que todos los valores escalares previamente determinados puedan ser utilizados para determinar la distribución direccional de sollicitación.

Como se puede apreciar, a pesar de que la precisión del reparto direccional es mucho mayor, el resultado final es algo peor a la obtenida por Rydock. Esto se debe al grado de error introducido por el coeficiente escalar daDRI, que contabiliza la sollicitación en intervalos diarios (mayores que los horarios o los sinópticos) y que por lo tanto, conlleva un cierto error de promedio en su determinación.

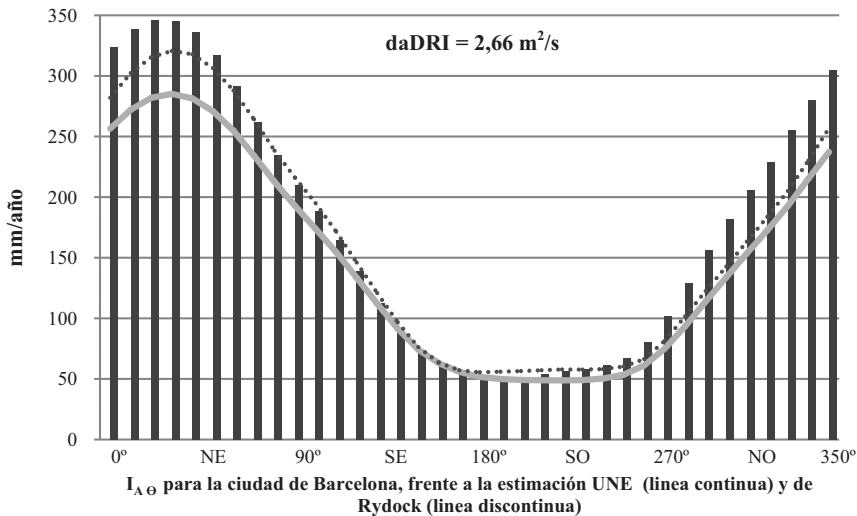


Figura IV.52.- Estimación de la exposición a la lluvia batiente a partir del reparto direccional normalizado e índices escalares (daDRI) y comparación con el mismo factor calculado mediante el estándar ISO y la aproximación de Rydock et al.

En cualquier caso, esta aproximación planteada permite establecer el reparto direccional y cuantitativo de la sollicitación a partir de los valores escalares previamente determinados y del análisis del grupo 6RRRt_R con un esfuerzo de cálculo muy inferior al precisado para el análisis horario de la norma UNE. EN ISO 15927-3:2011.

Así por lo tanto, para la fachada del ejemplo anterior, de orientación norte y situada en Barcelona, puede estimarse el valor de sollicitación I_A asociado a dicha orientación concreta con una precisión moderada, partiendo únicamente del valor daDRI escalar conocido y de los registro sinópticos del grupo 6RRRt_R:

$$I_{A \text{ daDRI } 0^\circ} \approx 324 \text{ mm/año (de la gráfica anterior)}$$

$$I_{A \text{ UNE } 0^\circ} = 258 \text{ mm/año (de la gráfica anterior)}$$

Sobre este indicador, pueden a su vez ser aplicados los mismos coeficientes locales que simulan la presencia de obstáculos cercanos, topografía del entorno, posición de la fachada...

$$I_{A \text{ daDRI } 0^\circ \text{ local}} \approx 324 \cdot 0,72 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,2 = 23,328 \text{ mm/año (valor estimado)}$$

$$I_{A \text{ UNE } 0^\circ \text{ local}} = 258 \cdot 0,72 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,2 = 18,576 \text{ mm/año (valor real u horario)}$$

Si nos centramos en la dirección de máxima sollicitación, (30°, orientación N-NE), los cálculos pueden establecerse de la misma forma:

$$I_{A \text{ daDRI } 30^\circ} \approx 345 \text{ mm/año (de la gráfica anterior)}$$

$$I_{A \text{ UNE } 30^\circ} = 287 \text{ mm/año (de la gráfica anterior)}$$

$$I_{A \text{ daDRI } 30^\circ \text{ local}} \approx 345 \cdot 0,72 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,2 = 24,84 \text{ mm/año (valor estimado)}$$

$$I_{A \text{ UNE } 30^\circ \text{ local}} = 287 \cdot 0,72 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,2 = 20,664 \text{ mm/año (valor real u horario)}$$

Ambos resultados, como vemos, no se alejan tampoco demasiado del valor máximo calculado para I_A en cualquier orientación a partir del valor escalar I_{AS} , que tal y como fue representado en la tabla IV.5, fija este valor máximo en 19,69 mm/año.

Del mismo modo pueden estimarse los valores asociados a otros intervalos de exposición, como los referidos a periodos de humedecimiento.

Partiendo del valor escalar obtenido I_{AS} asociado a la exposición a lluvia batiente durante un periodo de humedecimiento, para un periodo de retorno de 3 años, puede utilizarse el mismo reparto direccional para determinar el valor de exposición en una dirección concreta de las fachadas del cerramiento.

Tal y como se ha visto en el apartado IV.5.1, el reparto direccional de la exposición anual y por periodo de humedecimiento es extremadamente similar, siendo por lo tanto válida similar aproximación a partir de los índices escalares obtenidos.

IV.5.3.2.- Optimización de la precisión del resultado direccional obtenido

La falta de precisión anterior de la estimación direccional basada en el índice daDRI respecto al valor obtenido mediante el cálculo horario definido por la UNE, da pie igualmente a una importante reflexión:

Dado que el reparto direccional de la precipitación ($\%_{\text{WDR}_D}$) que se ha presentado es exhaustivo y realizado en intervalos de 6 horas, si se utilizara un índice escalar aDRI de mayor precisión (cercano al que se podría obtener a partir de datos

horarios), el resultado de la anterior aproximación debería coincidir o ser extremadamente similar al resultado según el procedimiento UNE:

$$I_{A\theta \text{ UNE}} \approx 1000 \cdot 0,206 \cdot \text{Ind.escalar preciso} \cdot \sum \%_{\text{WDR D}} \cdot \cos(D - \theta)$$

Puesto que el valor del sumatorio de los repartos direccionales y su relación angular con la orientación del cerramiento (coseno de $D-\theta$), es conocido, constante y se considera suficientemente preciso, es posible determinar el valor de este índice escalar preciso, simplemente despejándolo de la anterior expresión.

Dado que la expresión se divide en 36 intervalos direccionales (uno para cada posible orientación θ), se obtienen 36 índices escalares precisos.

Al promedio de estos 36 índices se le ha llamado índice horario aproximado ($\text{haDRI}_{\text{aprox.}}$), ya que permite obtener una estimación con precisión similar a la obtenida mediante un cálculo horario mediante la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011:

$$I_{A\theta \text{ UNE}} \approx 1000 \cdot 0,206 \cdot \text{haDRI}_{\text{aprox.}} \cdot \sum \%_{\text{WDR D}} \cdot \cos(D - \theta)$$

Aplicando este ajuste, es posible corregir la desviación existente en la estimación de la exposición direccional anterior, realizada mediante el índice daDRI, obteniendo valores más realistas. La mejora obtenida, puede apreciarse al comparar la anterior figura IV.51, con el nuevo ajuste obtenido para la ciudad de Barcelona:

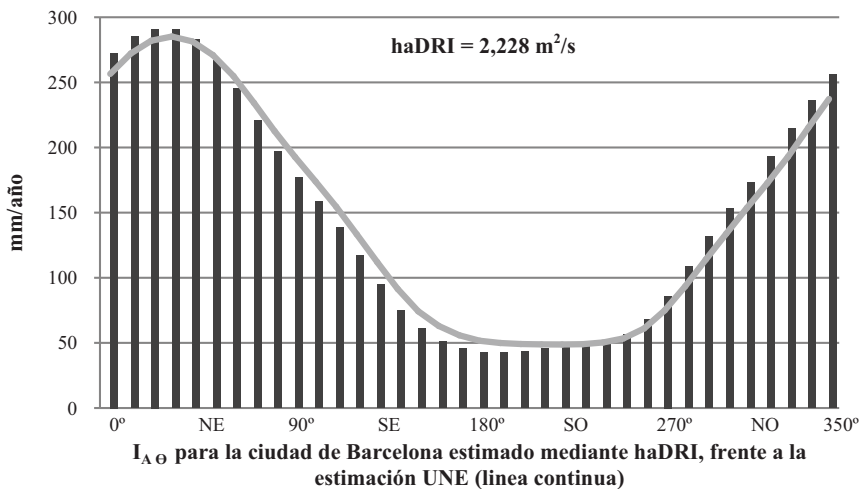


Figura IV.53.- Estimación de la exposición a la lluvia batiente a partir del reparto direccional normalizado e índice escalar horario aproximado (haDRI) y comparación con el mismo factor calculado mediante el estándar UNE.

En el caso de la ciudad de Barcelona, el $\text{haDRI}_{\text{aprox.}}$ que se obtendría a partir de la anterior expresión equivale de media a un valor de 2,228 m²/s, frente al valor diario

daDRI utilizado previamente, que como hemos dicho es de $2,66 \text{ m}^2/\text{s}$ y que no permite obtener un ajuste direccional adecuado por su imprecisión.

También el cálculo realizado permite estimar con suficiente precisión el error contenido en el índice direccional diario, respecto a su equivalente horario, al comparar los dos valores anteriores. Así, puede concluirse que para el caso de Barcelona, el índice diario daDRI obtenido en este estudio se encuentra sobredimensionado en un 19,4% respecto al mismo valor, si éste se calculara en base a datos horarios y por lo tanto con datos de una mayor precisión.

Por lo tanto, el análisis presentado del grupo sinóptico 6RRR_{tR}, permite también, estimar también el grado de error cometido en la obtención del índice escalares a partir de datos diarios, siempre y cuando se disponga de valores horarios para su comparación.

Este error del 19,4% no es inaceptable, ya que como se ha mencionado anteriormente, en la mayoría de los países el índice aDRI se calcula a partir de datos mensuales o anuales, incurriendo por lo tanto en aproximaciones mucho más deficientes. Tampoco influye para la caracterización comparativa de la exposición, realizada entre los diferentes emplazamientos españoles analizados.

No obstante, tal y como se ha desarrollado también en apartados anteriores, conocidos los valores horarios en un número limitado de emplazamientos españoles (6 en este caso) es posible extraer relaciones de ajuste medio con una alta precisión, que permitan estimar el valor $haDRI_{\text{aprox.}}$ en cualquier emplazamiento español, a partir únicamente de los indicadores escalares presentados (daDRI, maDRI, aaDRI o I_A):

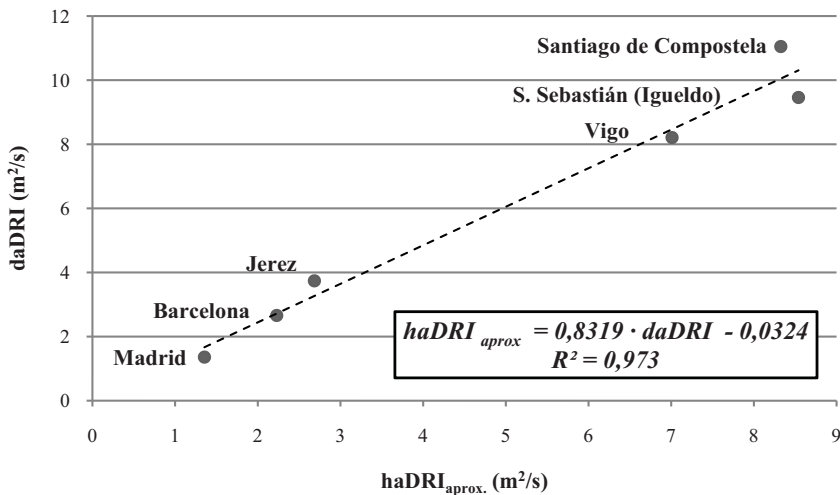


Figura IV.54.- Ajuste medio obtenido entre los valores escalares calculados daDRI y los índices escalares optimizados a valores horarios, para 6 emplazamientos representativos españoles.

Como se aprecia, el coeficiente de correlación obtenido ($R^2=0,973$), indica una buena calidad del ajuste a pesar de que el mismo se ha realizado para ciudades de muy distintas condiciones pluviométricas, eólicas y topográficas. Por ello, el ajuste obtenido se considera extrapolable a cualquier otra ciudad del ámbito español, para la cual se ha estimado el valor escalar daDRI (en este trabajo dicho índice se ha indicado para un total de 80 emplazamientos repartidos por el territorio nacional).

Partiendo del ajuste de la anterior figura, los resultados para la ciudad de Barcelona serían en este caso los siguientes:

$$daDRI = 2,66 \text{ mm/año}$$

$$haDRI_{\text{aprox.}} \approx 0,8319 \cdot 2,66 - 0,0324 \approx 2,18 \text{ mm/año (de la gráfica anterior)}$$

$$I_{A_{\theta}} \text{ UNE} \approx 1000 \cdot 0,206 \cdot haDRI_{\text{aprox.}} \cdot \sum \%_{WDR D} \cdot \cos(D - \theta)$$

$$I_{A \text{ haDRI } 0^\circ} = 1000 \cdot 0,206 \cdot 2,18 \cdot \sum \%_{WDR D} \cdot \cos(D - 0)$$

$$I_{A \text{ haDRI } 0^\circ} \approx 265,5 \text{ mm/año (valor estimado mediante de la expresión anterior)}$$

$$I_{A \text{ UNE } 0^\circ} = 256,56 \text{ mm/año (valor muy similar al obtenido por norma UNE)}$$

Como sobre los anteriores indicadores, pueden ser aplicados los mismos coeficientes locales que simulan la presencia de obstáculos cercanos, topografía del entorno, posición de la fachada...

$$I_{A \text{ haDRI } 0^\circ \text{ local}} \approx 265,5 \cdot 0,72 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,2 = 19,118 \text{ mm/año (valor estimado)}$$

$$I_{A \text{ UNE } 0^\circ \text{ local}} = 256,56 \cdot 0,72 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,2 = 18,472 \text{ mm/año (valor real u horario)}$$

Similar proceso seguido para la ciudad de Barcelona, puede seguirse para cualquier otra localización, en la cual se disponga de registros sinópticos (habituales en múltiples emplazamientos) y una estimación escalar diaria del valor de exposición daDRI, como la presentada en este trabajo para 80 emplazamientos.

El mismo procedimiento anterior, puede emplearse igualmente para determinar el reparto direccional de la exposición asociada a periodos de humedecimiento I_S , partiendo de nuevo únicamente de registros sinópticos y de los valores escalares presentados en este estudio (I_{AS}).

Así, como en el caso anterior, puede estimarse un índice escalar preciso para el valor I_{AS} , aplicando la misma metodología:

$$I_{S_{\theta}} \text{ UNE} \approx 1000 \cdot 0,206 \cdot \text{Ind. escalar preciso} \cdot \sum \%_{WDR D} \cdot \cos(D - \theta)$$

Puesto que el valor del sumatorio de los repartos direccionales y su relación angular con la orientación del cerramiento (coseno de $D-\theta$), es conocido, constante y se considera suficientemente preciso, es posible determinar el valor de este índice escalar preciso, simplemente despejándolo de la anterior expresión.

Dado que la expresión se divide en 36 intervalos direccionales (uno para cada posible orientación θ), se obtienen 36 índices escalares precisos.

Al promedio de estos 36 índices ($I_{h\ AS}$), se le ha llamado índice horario aproximado, ya que permite obtener una estimación con precisión similar a la obtenida mediante un cálculo horario mediante la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011:

$$I_{S_{\theta}\ UNE} \approx I_{h\ AS} \cdot \sum \%_{WDR\ D} \cdot \cos(D - \theta)$$

A continuación se presenta el ajuste medio obtenido a partir del análisis de los datos recopilados en 6 ciudades españolas representativas:

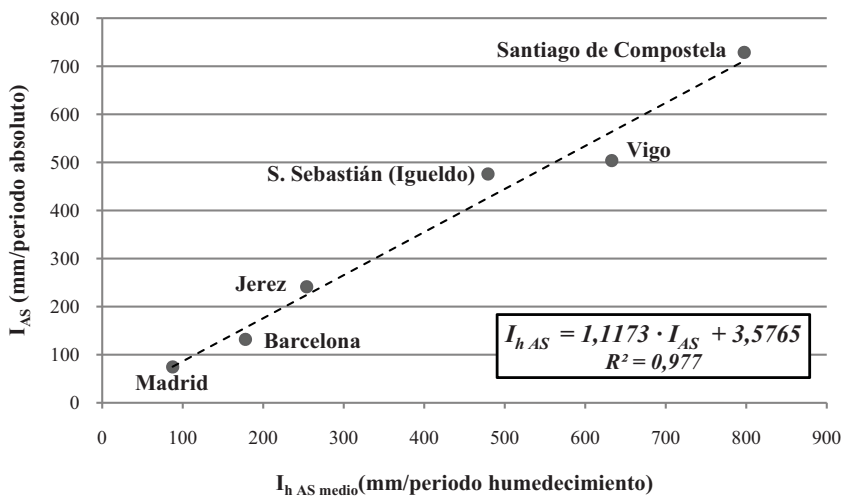


Figura IV.55.- Ajuste medio obtenido entre los valores escalares calculados I_{AS} y los índices escalares optimizados a valores horarios $I_{h\ AS}$, para 6 emplazamientos representativos españoles.

De nuevo, el coeficiente de correlación obtenido ($R^2=0,977$), muestra una buena calidad del ajuste a pesar de que el mismo se ha realizado para ciudades de muy distintas condiciones pluviométricas, eólicas y topográficas. Por ello, el ajuste obtenido se considera extrapolable a cualquier otra ciudad del ámbito español, para la cual se ha estimado el valor escalar I_{AS} (en este trabajo dicho índice se ha indicado para un total de 80 emplazamientos repartidos por el territorio nacional).

Partiendo del ajuste de la anterior figura, los resultados para la ciudad de Barcelona serían en este caso los siguientes:

$$I_{AS} = 132 \text{ mm/periodo absoluto}$$

$$I_{h\ AS\ aprox.} \approx 1,1173 \cdot 132 + 3,5765 \approx 151,06 \text{ mm/periodo absoluto}$$

$$I_{S_{\theta}\ UNE} = I_{h\ AS\ aprox.} \cdot \sum \%_{WDR\ D} \cdot \cos(D - \theta)$$

$$I_{S_{thAS} 0^\circ} = 151,06 \cdot \sum \%_{WDR D} \cdot \cos(D - \theta)$$

$$I_{S_{thAS} 0^\circ} \approx 89,3 \text{ mm/año (valor preciso estimado, de la expresión anterior)}$$

$$I_{S_{UNE} 0^\circ} = 90,22 \text{ mm/año (valor muy similar al obtenido mediante norma UNE)}$$

Como en el caso anterior, pueden ser aplicados los mismos coeficientes locales que simulan la presencia de obstáculos cercanos, topografía del entorno, posición de la fachada, de forma similar a como se aplican en la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011.

Una alternativa a este procedimiento para la optimización del resultado ha sido también propuesta por el autor (Pérez-Bella et al, 2012a), utilizando únicamente valores sinópticos obtenidos en el emplazamiento y mejorando la metodología previa planteada por Rydock et al. (2005) y Rydock y Gustavsen (2007).

IV.5.4.- AMPLIACIÓN DE LOS RESULTADOS A OTROS EMPLAZAMIENTOS

Los resultados inicialmente presentados se han restringido a aquellos emplazamientos españoles (80), en los que se disponen de datos diarios referidos a las magnitudes climáticas de viento y precipitación.

Con posterioridad y basándonos fundamentalmente en el índice daDRI como punto de partida, se han utilizado registros horarios y sinópticos recopilados en un número limitado de estaciones, para extrapolar datos más precisos de exposición para dichos los 80 emplazamientos inicialmente estudiados.

Es por ello, que obtener el índice daDRI en un mayor número de emplazamientos, permitiría igualmente obtener datos precisos en esos mismos emplazamientos. No obstante, con frecuencia no se dispone de valores diarios recopilados en un gran número de estaciones. En su lugar, sí es habitual contar con datos medios anuales o mensuales, correspondientes a la pluviometría de diferentes emplazamientos y a la velocidad del viento.

La estimación del índice DRI anual en base a datos promedio de partida anuales o mensuales, de viento y lluvia, conlleva una pérdida sensible de precisión en la estimación de la solicitación por lluvia batiente, respecto a la utilización de valores diarios.

Ello se debe a que estos datos no obedecen a criterios de simultaneidad de ambos fenómenos, por lo que su valor es absoluto, contabilizando, en el caso del viento, también aquellas rachas de viento ocurridas en ausencia de precipitación.

Por lo tanto, el cálculo directo de las magnitudes anuales estimadas (grado de exposición aDRI y lluvia batiente anual de referencia escalar (I_A), a partir de los anteriores promedios, conlleva irremisiblemente una pérdida en la precisión de la estimación.

En este apartado se van a estimar los valores diarios del indicador DRI (daDRI), a partir de datos climáticos mensuales o anuales más frecuentes recopilados (maDRI y aaDRI respectivamente), permitiendo así aplicar anteriores ajustes y

aproximaciones para estimar incluso, la sollicitación direccional en fachada (véase apartado anterior).

Utilizando los datos climáticos disponibles, empleados en la elaboración de las tablas y mapas de resultados recopilados en los anejos A.1 y A.2, es posible determinar el valor aDRI utilizando datos medios mensuales o anuales.

Para ello se han considerado diferentes supuestos a la hora de operar con los datos disponibles para obtener estos valores promedio:

- Considerando valores diarios de lluvia y viento simultáneos entre sí (daDRI)
- Considerado medias mensuales, incluyendo datos de viento no simultáneos a la precipitación (datos absolutos maDRI, habitualmente disponibles en múltiples emplazamientos).
- Considerado medias anuales, incluyendo datos de viento no simultáneos a la precipitación (datos absolutos aaDRI, habitualmente disponibles en múltiples emplazamientos).
- Considerado medias mensuales, excluyendo datos de viento no simultáneos a la precipitación (maDRI', solo útiles a efectos de este análisis).
- Considerado medias anuales, excluyendo datos de viento no simultáneos a la precipitación (aaDRI', solo útiles a efectos de este análisis).

Rara vez se dispone de los datos derivados de las dos últimas hipótesis mencionadas, dado que la capacidad de discernir la simultaneidad de ambos fenómenos para excluir aquellos valores no simultáneos, habitualmente también permitiría estimar la sollicitación en base a intervalos de medición más precisos, como diarios u horarios.

Ambas hipótesis se analizan sin embargo con objeto de identificar la influencia de la simultaneidad de ambos periodos en la precisión del método, más allá del promedio mensual o anual de partida.

Por el contrario, los datos correspondientes a la segunda y tercera hipótesis se disponen en muchos emplazamientos, ya que hacen referencia únicamente al viento medio medido a lo largo del año en la localización y el total de pluviometría registrado. Serán por lo tanto estos datos los de mayor interés para ampliar los resultados obtenidos al inicio de este capítulo, a otros emplazamientos diferentes de los 80 seleccionados.

Analizando en primer lugar el índice de exposición anual definido por Lacy (aDRI), el mismo se ha obtenido para los 80 emplazamientos estudiados en base a las anteriores hipótesis diferenciadas: por datos diarios (daDRI), por datos mensuales absolutos (maDRI), anuales absolutos (aaDRI), mensuales simultáneos (maDRI') y anuales simultáneos (aaDRI').

Asumiendo que el valor daDRI representa el valor más exacto para la sollicitación anual, puede compararse en base al mismo, los restantes indicadores, analizando el error cometido y el ajuste matemático existente entre ambos, que tal y como se observará es de carácter lineal.

Tabla IV.6.- Diferentes posibilidades de estimación del grado de exposición aDRI, para las estaciones meteorológicas analizadas. Intervalos menores de medición (diarios) y la consideración de simultaneidad de viento y lluvia, proporcionan mayor precisión a la estimación de la solicitación.

EMPLAZAMIENTO	daDRI	maDRI	aaDRI	maDRI'	aaDRI'
A Coruña aeropuerto	5,52	4,38	4,13	4,69	4,38
A Coruña	4,70	3,83	3,61	4,10	3,83
Santiago de Compostela aeropuerto	11,05	7,84	7,19	8,10	7,84
Vitoria aeropuerto	2,38	2,04	2,02	2,22	2,04
Albacete (Los Llanos)	1,66	1,60	1,60	1,85	1,60
Alicante aeropuerto	1,12	1,04	1,06	1,09	1,04
Alicante	0,81	0,77	0,79	0,81	0,77
Almería aeropuerto	0,99	0,92	0,92	0,98	0,92
Asturias aeropuerto	4,67	3,73	3,59	3,92	3,73
Oviedo	3,37	2,82	2,72	2,94	2,82
Ávila	1,28	1,13	1,10	1,28	1,13
Badajoz aeropuerto	1,95	1,51	1,44	1,82	1,51
Barcelona aeropuerto	2,66	2,38	2,38	2,40	2,38
Burgos (Villafraía)	3,07	2,52	2,42	2,81	2,52
Cáceres	2,49	1,78	1,60	1,60	1,78
Cádiz	3,13	2,18	2,14	2,60	2,18
Jerez de la frontera aeropuerto	3,74	2,47	2,39	3,08	2,47
Tarifa	5,82	5,42	5,60	5,64	5,42
Santander aeropuerto	6,50	5,06	4,89	5,50	5,06
Santander	5,79	4,44	4,20	4,20	4,44
Castellón de la Plana	1,31	1,14	1,16	1,16	1,14
Ciudad Real	1,22	1,01	0,98	0,98	1,01
Córdoba aeropuerto	2,44	1,77	1,70	2,17	1,77
Cuenca	1,34	1,10	1,07	1,25	1,10
Girona aeropuerto	2,05	1,87	1,86	1,92	1,87
Granada aeropuerto	0,91	0,77	0,83	0,88	0,77
Granada base aérea	1,16	0,90	0,97	1,04	0,90
Molina de Aragón	1,38	1,16	1,13	1,41	1,16
San Sebastián aeropuerto	6,17	4,69	4,49	5,17	4,69
San Sebastián (Igueldo)	9,46	7,28	6,86	7,88	7,28
Huelva	2,15	1,59	1,67	1,67	1,59
Huesca aeropuerto	2,16	2,09	2,12	2,05	2,09
Ibiza aeropuerto	1,92	1,61	1,62	1,82	1,61
Menorca aeropuerto	2,87	2,53	2,51	2,78	2,53
Palma de Mallorca aeropuerto	1,61	1,44	1,51	1,61	1,44
Palma de Mallorca puerto	1,02	0,86	0,87	0,98	0,86
Jaén	1,52	1,02	0,95	0,95	1,02
Logroño aeropuerto	1,41	1,37	1,37	1,51	1,37
Fuerteventura aeropuerto	0,60	0,58	0,63	0,60	0,58
Lanzarote aeropuerto	0,66	0,60	0,69	0,65	0,60
Las Palmas de G. C. aeropuerto	0,71	0,73	0,93	0,84	0,73
León aeropuerto	1,76	1,60	1,57	1,87	1,60
Ponferrada	1,28	1,14	1,16	1,34	1,14
Lérida	0,80	0,82	0,82	0,82	0,82
Madrid aeropuerto	1,36	1,17	1,13	1,38	1,17
Madrid (Cuatro Vientos)	1,62	1,31	1,26	1,57	1,31
Madrid (Getafe)	1,62	1,32	1,28	1,61	1,32
Madrid	1,18	1,03	1,01	1,19	1,03
Madrid (Torrejón)	1,21	1,04	1,03	1,20	1,04
Puerto de Navacerrada	7,07	4,77	4,26	5,27	4,77
Málaga aeropuerto	1,98	2,14	2,19	1,91	2,14

Melilla	1,80	1,54	1,53	1,64	1,54
Murcia (Alcantarilla)	0,69	0,67	0,72	0,66	0,67
San Javier aeropuerto	1,79	1,36	1,34	1,50	1,36
Pamplona aeropuerto	2,42	2,32	2,39	2,45	2,32
Pontevedra	4,36	3,40	3,31	3,31	3,40
Vigo aeropuerto	8,21	6,36	6,19	6,60	6,36
Salamanca aeropuerto	1,78	1,38	1,28	1,73	1,38
Salamanca	1,29	0,93	0,87	1,16	0,93
Segovia	1,35	1,11	1,06	1,06	1,11
Morón de la frontera	3,18	2,10	1,99	2,67	2,10
Sevilla aeropuerto	2,65	1,84	1,78	2,23	1,84
Soria	1,78	1,59	1,55	1,79	1,59
Hierro aeropuerto	1,05	1,03	1,14	1,03	1,03
Izaña	6,10	3,52	3,02	4,52	3,52
La Palma aeropuerto	2,14	1,65	1,76	1,88	1,65
Sta. Cruz de Tenerife	0,78	0,65	0,65	0,73	0,65
Tenerife norte aeropuerto	3,61	2,75	2,94	3,32	2,75
Tenerife sur aeropuerto	0,72	0,75	0,79	0,73	0,75
Reus aeropuerto	1,70	1,77	1,84	1,66	1,77
Tortosa	1,33	1,59	1,70	1,44	1,59
Toledo	1,09	0,94	0,91	0,91	0,94
Valencia aeropuerto	1,66	1,63	1,70	1,64	1,63
Valencia	1,11	0,93	0,96	0,96	0,93
Valladolid (Villanubla)	2,30	1,83	1,73	2,20	1,83
Valladolid	1,18	1,10	1,07	1,22	1,10
Bilbao aeropuerto	5,10	4,16	4,01	4,43	4,16
Zamora	1,17	0,97	0,94	1,13	0,97
Daroca	0,69	0,73	0,73	0,79	0,73
Zaragoza aeropuerto	1,23	1,49	1,54	1,37	1,49

Comparados los datos anuales obtenidos en base a cada una de las hipótesis presentadas, es posible establecer las relaciones matemáticas que permitan estimar una sollicitación precisa sobre el cerramiento, a partir de dichos valores promedio anuales o mensuales de viento y lluvia, alcanzando valores corregidos de precisión mucho mayor.

Es decir, podrán establecerse los ajustes matemáticos que permitan obtener un valor aproximado de daDRI, partiendo de los valores disponibles en una amplia variedad de emplazamientos (maDRI y aaDRI), ampliando enormemente de esa forma el alcance del estudio planteado.

Igualmente podrán establecerse las relaciones existentes entre los diferentes valores recopilados daDRI-maDRI; daDRI-aaDRI; maDRI-maDRI'; aaDRI-aaDRI'... analizando el error cometido por cada uno de ellos respecto a al valor más preciso.

Para estos ajustes, no se han considerado los valores correspondientes a la estación de Izaña (Teide) y el puerto de Navacerrada, por estar a más de 1.500 m de altitud y no ser representativos de las condiciones en núcleos de población.

Del mismo modo, su emplazamiento de montaña, condiciona unas situaciones climáticas particulares, diferentes de las restantes estaciones y que pondrían en riesgo la fiabilidad de los ajustes y resultados obtenidos.

Si ambos resultados mensual y anual, son representados en relación al resultado del cálculo diario (daDRI), es posible observar una marcada relación lineal entre ambas

estimaciones, que permitirá estimar un valor más preciso de sollicitación a partir de los resultados medios mensuales o anuales (dependiendo de la disponibilidad de datos en el emplazamiento objeto de estudio).

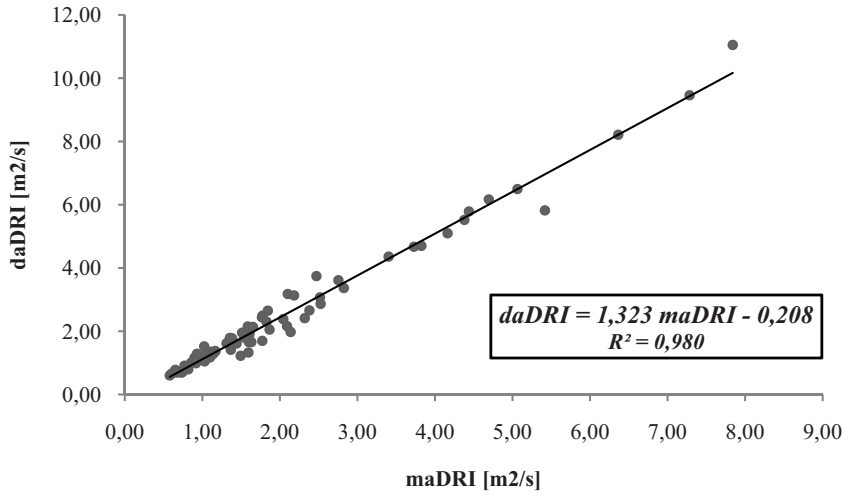


Figura IV.56.- Ajuste lineal establecido entre los indicadores de exposición anual daDRI y maDRI

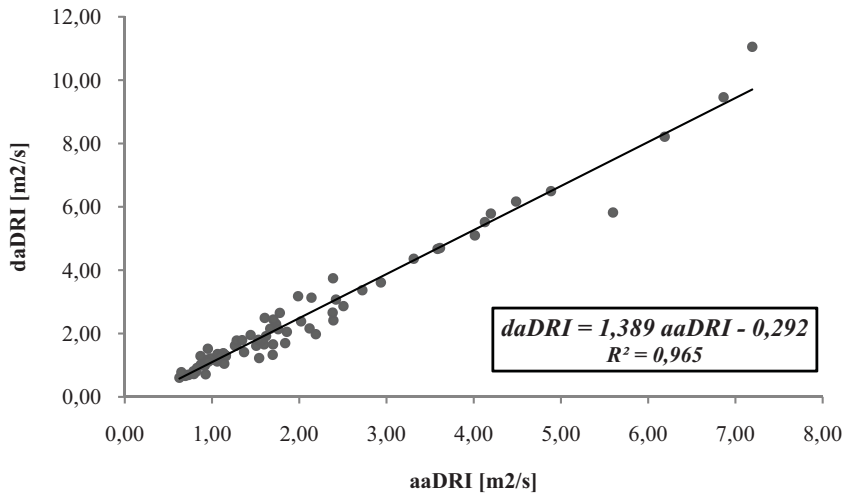


Figura IV.57.- Ajuste lineal establecido entre los indicadores de exposición anuales daDRI y aaDRI

Tal y como se aprecia, ambos ajustes presentan una tendencia lineal con una buena convergencia (coeficiente de determinación $R^2 = 0,980$ y $0,965$ respectivamente), que puede ser expresada mediante las ecuaciones anteriores con un limitado grado de error.

La aplicación de dichas expresiones en cualquier punto de la geografía nacional y en emplazamientos de climatología similar a la española, permitiría a partir de valores calculados maDRI o aaDRI, estimar de forma precisa una mejor solicitación, soslayando gran parte del error derivado de sus datos de partida.

Partiendo de datos pluviométricos y eólicos medios mensuales absolutos, es posible estimar con una buena aproximación el índice anual de exposición aaDRI [m^2/s año] del siguiente modo:

$$\text{Indice}_{aaDRI} = 1,323 \cdot \left[\frac{\sum V_{\text{viento medio mensual}} \cdot I_{\text{pluviométrica mensual (en m)}}}{N} \right] - 0,208$$

Del mismo modo, partiendo de datos medios absolutos recopilados anualmente, puede expresarse según la siguiente relación:

$$\text{Indice}_{aaDRI} = 1,389 \cdot \left[\frac{\sum V_{\text{viento medio anual}} \cdot I_{\text{pluviométrica anual (en m)}}}{N} \right] - 0,292$$

En ambos casos, el resultado obtenido se aproxima con adecuada precisión al que se obtendría si se dispusieran de datos diarios de ambas magnitudes y se excluyeran del cálculo los datos de viento no simultáneos a la precipitación. Lógicamente, en caso de disponer de datos diezminutales u horarios referidos a ambas magnitudes, el resultado que se podría llegar a obtener una precisión superior a la alcanzada con estos datos diarios. Desgraciadamente, estos datos no están disponibles en la actualidad.

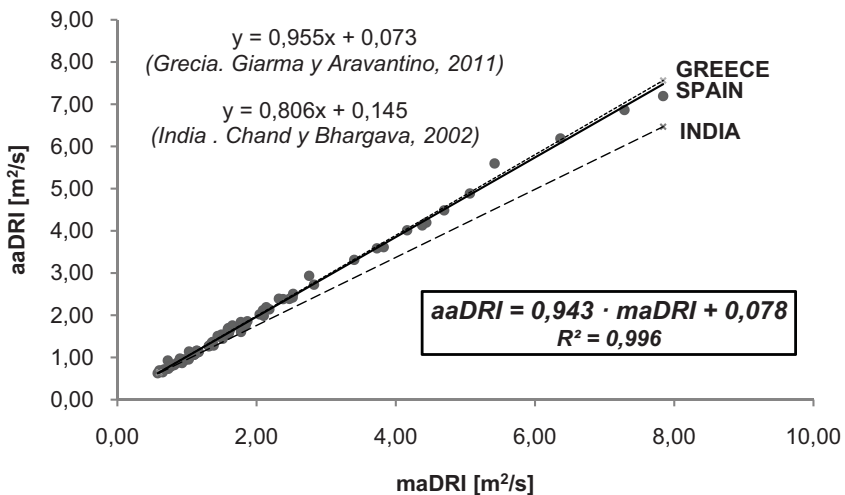


Figura IV.58.- Mejor ajuste lineal establecido entre los indicadores de exposición anuales maDRI y aaDRI y su comparación con el mismo ajuste en otros ámbitos climatológicos

Por su parte, tal y como se observa en la figura anterior, la utilización de datos medios anuales o mensuales, no conlleva una variación significativa del grado de error cometido. Este ajuste se caracteriza por la siguiente expresión:

$$\text{Indice}_{\text{aaDRI}} = 0,943 \cdot \text{maDRI} + 0,078$$

Esta expresión se circunscribe dentro del ámbito de los resultados obtenidos por otros estudios realizados al respecto en climatologías asimilables a la española, como el elaborado para emplazamientos griegos por Giarma y Aravantinos (2011), en los que el ajuste se caracteriza según la siguiente expresión:

$$\text{Indice}_{\text{aaDRI Grecia}} = 0,955 \cdot \text{maDRI} + 0,073$$

$$\text{Indice}_{\text{aaDRI India}} = 0,806 \cdot \text{maDRI} + 0,145$$

La disparidad en el ajuste con otras climatologías como la india (Chand y Bhargava, 2002), indica a su vez que estos ajustes varían acusadamente en relación a las características climatológicas habituales del área de análisis, siendo necesario un estudio pormenorizado para cada ámbito geográfico.

En relación a esto, el análisis presentado cubre las necesidades del ámbito geográfico español, con una adecuada precisión, que mejoraría la estimación actualmente establecida por el DB-HS1. No obstante, el ajuste tan similar identificado para un país mediterráneo como Grecia, hace pensar que los ajustes obtenidos, incluidos los que permiten estimar el valor daDRI, serían igualmente válidos en ese país y por ende, en países de una climatología característica mediterránea.

El alto coeficiente de determinación (R^2) obtenido, demuestra que el error cometido por este tipo de aproximación sería poco significativo.

IV.5.4.1.- Análisis de errores asociados a la estimación del índice aDRI

Por otra parte, los anteriores datos permiten también analizar la influencia de la consideración de la simultaneidad de ambos fenómenos (lluvia y viento) en la precisión del cálculo realizado.

Así, además de los valores absolutos calculados en el intervalo mensual y anual, se han calculado datos promedio de viento y lluvia mensual o anual, excluyendo datos de viento no simultáneos a la precipitación, para calcular los valores maDRI y aaDRI. Dado que en estos últimos no se promedian valores de viento no simultáneos a la precipitación, se elimina el error de simultaneidad cometido por los primeros, obteniendo índices de exposición a la lluvia batiente con un rango de error sensiblemente inferior.

Para el análisis de estos rangos de errores, se han obviado las estaciones de Izaña y Navacerrada, por considerarse estaciones de montaña, no representativas de exposiciones frecuentes sobre las edificaciones, pero que sin embargo alterarían notablemente la magnitud de los errores analizados en este apartado IV.5.4.1.

Así, el análisis de los 78 emplazamientos restantes, revela la magnitud del error cometido al no considerar la simultaneidad de precipitación y viento (e_2), con una

minoración media del 6,98% al utilizar datos medios mensuales y del 6,75% en el caso de datos anuales.

El error complementario (e_1), corresponde a la incertidumbre aportada por el propio promedio aritmético de los datos climáticos en el periodo mensual y anual (Blocken y Carmeliet, 2007). Obviamente, una exposición determinada en base a datos diarios permite obtener un resultado más preciso que si se parte de datos medios mensuales o anuales. En las figuras siguientes se representan los emplazamientos de mayor exposición anual:

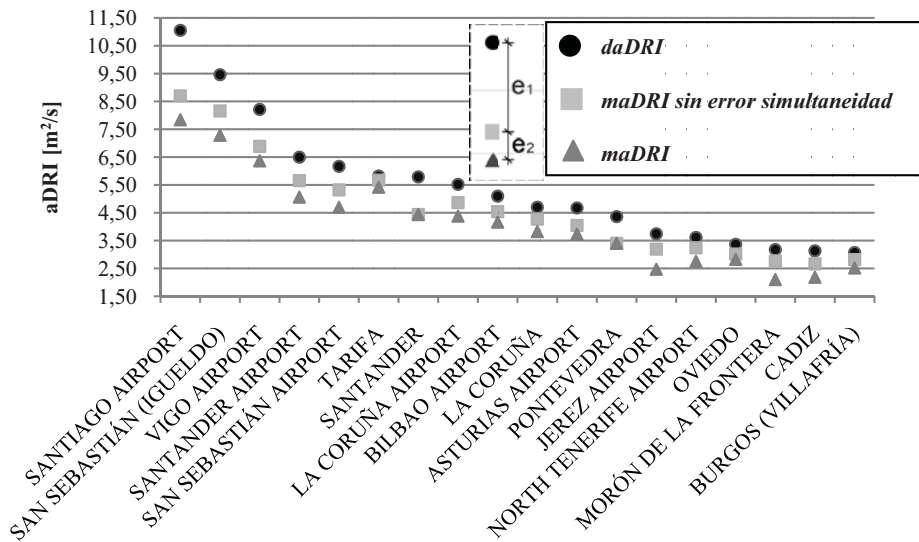


Figura IV.59.- Índices de exposición calculados a partir de datos medios mensuales según ambas hipótesis, en emplazamientos con significativa exposición anual. (e_1) Magnitud del error derivado del promedio de datos; (e_2) Magnitud del error derivado de la no co-ocurrencia de viento y lluvia

Tal y como se observa en la figura anterior, en el caso de los datos mensuales, la importancia del error de coocurrencia en el total varía en cada emplazamiento. Si se analizan los errores totales, promediados en todos los emplazamientos, las cuantías de ambos son muy similares entre sí, siendo tan importante contar con datos recopilados en intervalos precisos como contar con datos recopilados considerando la simultaneidad de viento y lluvia:

$$\text{Monthly average } e_2 = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{e_{2i}}{daDRI_i} \cdot 100}{N} = -6,99\%$$

$$\text{Monthly average } e_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{e_{1i}}{daDRI_i} \cdot 100}{N} = -6,98\%$$

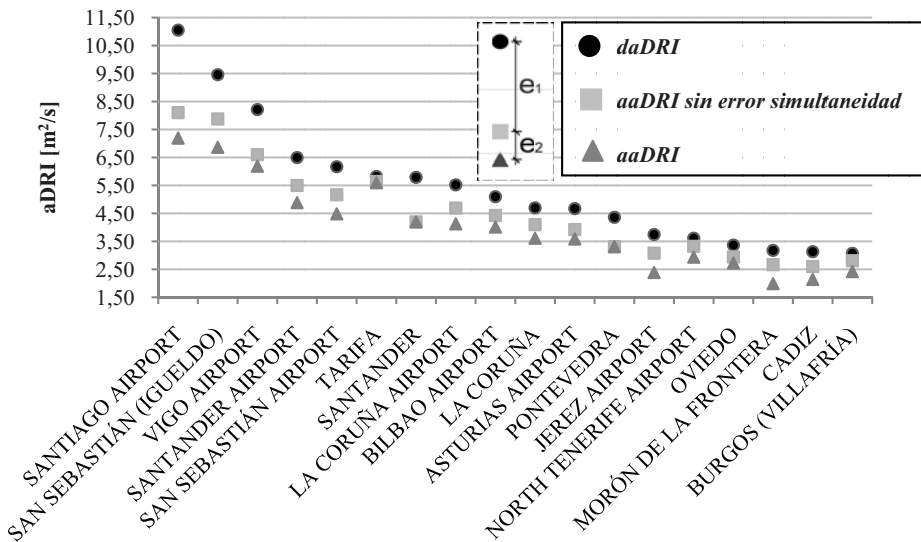


Figura IV.60.- Índices de exposición calculados a partir de datos medios anuales según ambas hipótesis, en emplazamientos con significativa exposición anual. (e₁) Magnitud del error derivado del promedio de datos; (e₂) Magnitud del error derivado de la no co-ocurrencia de viento y lluvia

Si se analizan los datos anuales, obteniendo en todos ellos el valor promedio que caracteriza a cada fuente de error, se llega a las mismas conclusiones, siendo tan importante contar con datos recopilados en intervalos precisos como contar con datos recopilados considerando la simultaneidad de viento y lluvia:

$$\text{Annual average } e_2 = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{e_{2i}}{daDRI_i} \cdot 100}{N} = -7,06\%$$

$$\text{Annual average } e_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{e_{1i}}{daDRI_i} \cdot 100}{N} = -6,75\%$$

La suma de ambos errores provoca una minoración media de la exposición cercana al 14% tanto partiendo de datos anuales como mensuales. Los ajustes identificados en las figuras anteriores para alcanzar el valor daDRI, pueden sin embargo reducir en gran medida los errores derivados del uso de estos datos promedio.

Se concluye que en la climatología española, el peso relativo de ambas fuentes de error en la estimación del índice de exposición anual a la lluvia batiente es muy similar. Se aporta también así un dato real, no teórico, que valora la relevancia de ambas fuentes de error, y que demuestra la necesidad de aplicar alternativas propuestas por algunos autores como Blocken y Carmeliet (2007), para minimizar el error derivado del promedio mensual o anual de los datos climáticos.

En todo caso, tal y como se aprecia en las anteriores figuras, el resultado calculado utilizando valores mensuales o anuales, varía significativamente dependiendo del tipo de datos empleados.

La utilización de datos absolutos minora en todos los casos la magnitud de la exposición. La cuantía de dicha minoración, no es en ningún caso despreciable, siendo necesarios los ajustes planteados.

Así pues, no solo la frecuencia de registro de las magnitudes, sino también la simultaneidad de los datos empleados condiciona la precisión de la estimación. Se estima por lo tanto escasamente adecuada la utilización de datos de lluvia y viento medios mensuales o anuales para estimar la solicitación, sin emplear las ecuaciones de ajuste propuestas.

Por otra parte, se justifica la utilización por parte del estándar ISO de registros horarios en lugar de datos diarios, mensuales o anuales, ya que partir de datos registrados de forma más precisa viene a mejorar en gran medida la precisión del cálculo realizado. Por desgracia en la actualidad, solo Gran Bretaña cuenta con series históricas generalizadas y de suficiente antigüedad con tales datos horarios.

IV.5.4.2.- Precisión de la estimación escalar de I_A

En relación al cálculo de la lluvia batiente anual de referencia escalar I_A , se identifica una similar falta de precisión al utilizar para su estimación datos mensuales y anuales de las variables de viento y lluvia.

Con objeto de permitir una buena aproximación a este valor en base a datos de partida de escasa precisión (mensuales o anuales, sin consideración de la simultaneidad entre ambos fenómenos) recopilados en emplazamientos diferentes de los inicialmente estudiados, ambos resultados son presentados en las siguientes figuras.

En las mismas se indica la expresión matemática del ajuste a utilizar, que tal y como se observa, presenta grados de error muy reducidos, en semejanza a los ajustes lineales identificados para el índice aDRI.

Como en el caso de este índice anterior, la exigencia se minora al partir de datos medios anuales y mensuales, por un lado como consecuencia de la utilización de valores de las magnitudes no simultáneos entre sí y por el otro lado, por el propio promedio efectuado a los datos. Por ello, los resultados obtenidos a partir de datos más inexactos, siempre tienen en esta materia a situarse del lado de una menor seguridad.

Como en el caso del índice aDRI, el resultado obtenido al aplicar estos ajustes matemáticos se aproximaría con adecuada precisión al que se obtendría si se dispusieran de datos diarios de ambas magnitudes y se excluyeran del cálculo los datos de viento no simultáneos a la precipitación.

Lógicamente, en caso de disponer de datos diezminutales u horarios referidos a ambas magnitudes, el resultado obtenido presentaría una precisión superior a la alcanzada con estos datos diarios. Desgraciadamente, tales datos ni se encuentran

actualmente disponibles en nuestro país con la adecuada antigüedad ni se han recopilado en un número suficientemente significativo de emplazamientos.

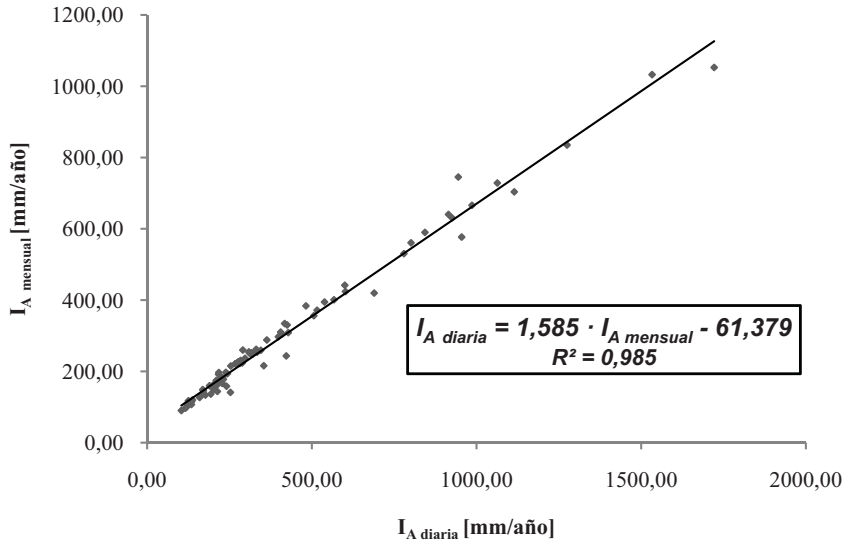


Figura IV.61.- Mejor ajuste lineal establecido entre la lluvia batiente anual de referencia escalar I_A , calculada en base a datos medios mensuales o datos diarios

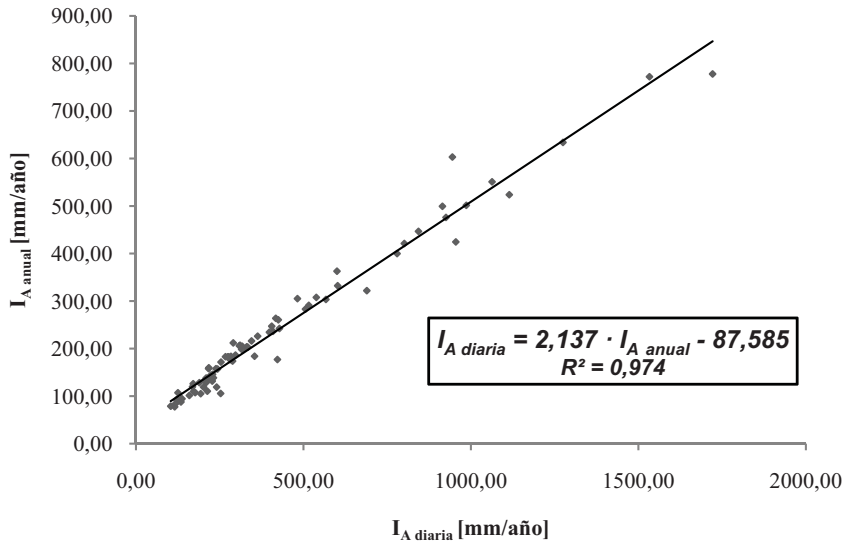


Figura IV.62.- Mejor ajuste lineal establecido entre la lluvia batiente anual de referencia escalar I_A , calculada en base a datos medios anuales o datos diarios

IV.5.5.- RESUMEN DE LA PARAMETRIZACIÓN GENERALIZADA

A lo largo de los anteriores apartados se ha ampliado y generalizado la metodología para parametrizar la exposición a la humedad en nuestro país. En este apartado se expone un resumen de estos procedimientos seguidos para estimar con mayor precisión la solicitación direccional a lluvia batiente a partir de los datos climatológicos disponibles, en ausencia de registros meteorológicos horarios:

- Como punto de partida se emplean los índices escalares obtenidos en base a datos diarios (daDRI), presentados en este trabajo (véanse los anejos A.1 y A.2).
- En aquellos casos en los que dicho valor no haya sido definido para una población concreta, el valor daDRI puede aproximarse a partir de datos medios mensuales o anuales de viento y lluvia, utilizando las expresiones matemáticas de ajuste que se han indicado en el apartado IV.5.4.
- Conocido el valor daDRI o su aproximación para el emplazamiento, utilizando los registros sinópticos de una estación meteorológica cercana al emplazamiento, es posible determinar un índice escalar más preciso (haDRI) y con él, una aproximación similar a la horaria para la exposición direccional a lluvia batiente en la localización (véase apartado IV.5.3).
- Sobre estos valores de exposición direccional obtenidos, es posible aplicar coeficiente correctores locales de forma similar a la UNE-EN ISO 15927-3:2011, para evaluar el efecto de la topografía y del entorno inmediato a la fachada estudiada (véase apartado IV.5.2).
- El mismo procedimiento anterior, puede seguirse también para estimar la solicitación direccional asociada a periodos de humedecimiento (I_S), partiendo del indicador escalar I_{AS} definido en este trabajo para 80 emplazamientos de nuestro país.

Los procedimientos de cálculo y aproximaciones de ajuste presentados, permiten por lo tanto extrapolar los resultados obtenidos inicialmente a cualquier otro emplazamiento de nuestro país, mediante una metodología que es perfectamente utilizable también, en cualquier otro ámbito internacional.

Urge no obstante no abandonar la minuciosa recopilación de datos meteorológicos, realizada con la mayor precisión posible, con el objetivo de contar en las próximas décadas, con datos perfectamente fiables y representativos de las condiciones climáticas en nuestro país, permitiendo así el desarrollo de estimaciones más precisas de la exposición a la humedad en nuestros edificios, que puedan obtenerse directamente a través de dichos datos, en lugar de a través de aproximaciones basadas en unas pocas estaciones de referencia.

El proceso conceptual seguido, así como los apartados en los cuales se desarrollan los procedimientos y las formulaciones básicas presentadas, se muestran en la figura siguiente, a modo de resumen de todo este apartado:

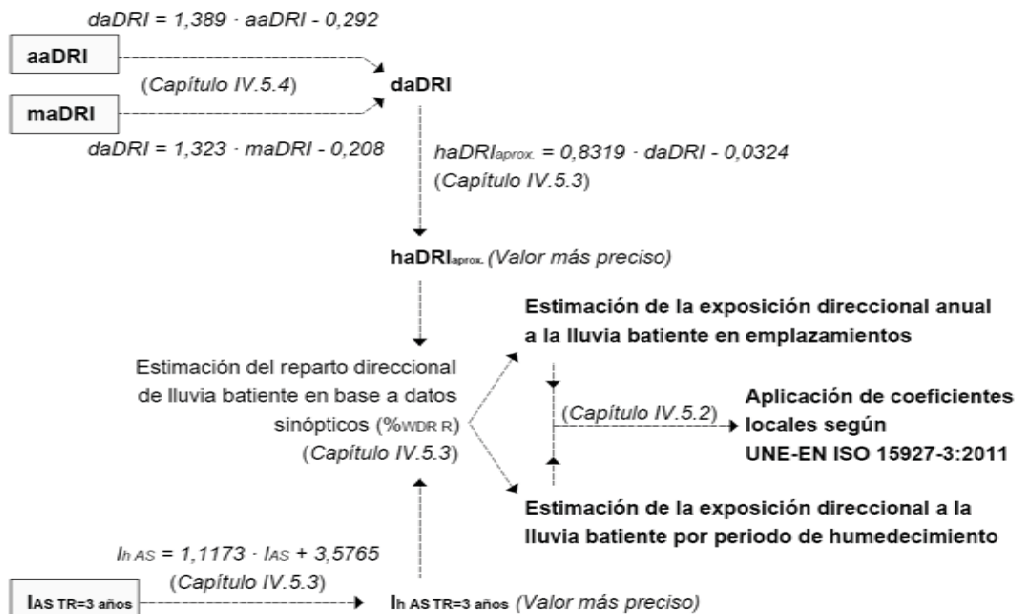


Figura IV.63.- Proceso conceptual para la obtención de resultados de exposición a lluvia batiente (anual y por periodo de humedecimiento), a partir de datos climatológicos básicos (anuales, mensuales o diarios) y de las aproximaciones y ajustes obtenidos para España.

IV.5.6.- CONVERGENCIA ENTRE DIFERENTES INDICADORES DE EXPOSICIÓN

En este apartado se va a analizar la convergencia y relación existente entre los diferentes parámetros que pueden ser utilizados para caracterizar la exposición a la humedad en cada cerramiento.

Para ello en primer lugar se analiza la relación existente entre los dos parámetros de solicitud que cuantifican la exposición en un ámbito anual: daDRI e I_A .

Puesto que ambos valores se fundamentan en los mismos principio teóricos para el cálculo de la exposición a lluvia batiente y se refieren a periodos de tiempo similares (anuales), ambos deberían ser en buena lógica convergentes entre sí. Será posible por lo tanto establecer comparaciones entre emplazamientos de forma indistinta mediante cualquiera de los dos parámetros de caracterización si se es capaz de establecer la correlación adecuada.

Así, el cálculo de I_A únicamente añade a la caracterización mediante el indicador aDRI, la estimación de un factor de un factor de lluvia batiente igual a 2/9, así como una caracterización exponencial de la precipitación considerada (8/9).

Como línea futura de este trabajo, se identifica la necesidad de establecer una campaña de mediciones sobre el terreno, capaces de determinar empíricamente la idoneidad de adoptar en nuestra climatología, un coeficiente de lluvia batiente y un factor exponencial diferentes a los propuestos por la norma ISO.

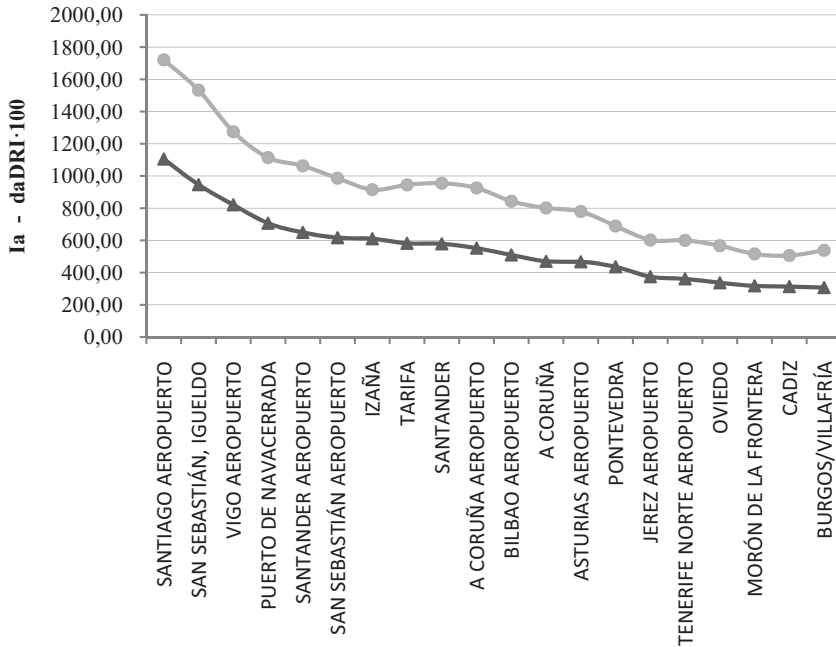


Figura IV.64.- Comparación entre los valores de lluvia batiente anual de referencia escalar I_A (color claro) y los valores del índice $daDRI$, multiplicados por un factor de 100 (color oscuro), para los emplazamientos de máxima exposición a lluvia batiente.

Se aprecia como ambos parámetros siguen una tendencia similar siendo convergentes entre sí. La caracterización comparativa entre los diferentes emplazamientos españoles y por lo tanto la definición de un nuevo grado de impermeabilidad puede utilizar cualquiera de los dos indistintamente.

Para la caracterización cuantitativa de la lluvia batiente anual referida por todos los cerramientos del edificio (ambos son valores escalares), es necesario realizar una amplia campaña de mediciones experimentales antes de poder determinar qué coeficiente de lluvia batiente y factor exponencial es más adecuado para ofrecer resultados exactos en nuestro país.

Si bien la exposición anual (calculada mediante el índice $aDRI$ o mediante el valor de I_A), constituye una buena caracterización comparativa para determinar la sollicitación a la que se enfrenta un edificio a lo largo de un extenso periodo de tiempo en comparación a otros, esta exposición puede concentrarse de forma muy intensa en periodos cortos del año, resultando mucho más desfavorable para la protección frente a la penetración de agua a través de los cerramientos.

Con el objeto de identificar estas concentraciones de sollicitación, han sido estudiadas las máximas exposiciones a lluvia batiente que se producen en base a tres criterios de duración de la misma:

- Considerado la exposición más elevada a lo largo de un periodo unitario de 1 día.
- Considerando la exposición más elevada a lo largo de un periodo de precipitaciones limitado por 1 día carente de precipitación.
- Considerando la exposición más elevada a lo largo de un periodo de precipitaciones limitado por 4 días carentes de precipitación.

Lógicamente, a mayor duración del periodo considerado, mayor será la intensidad máxima de la exposición (en un periodo más largo se promedian un mayor número de exposiciones, resultando un valor inferior al que se obtiene si solo se considera la máxima de esas exposiciones más cortas). Es por ello, que el tercer periodo siempre presentará valores más elevados que el segundo y éste, superiores al diario.

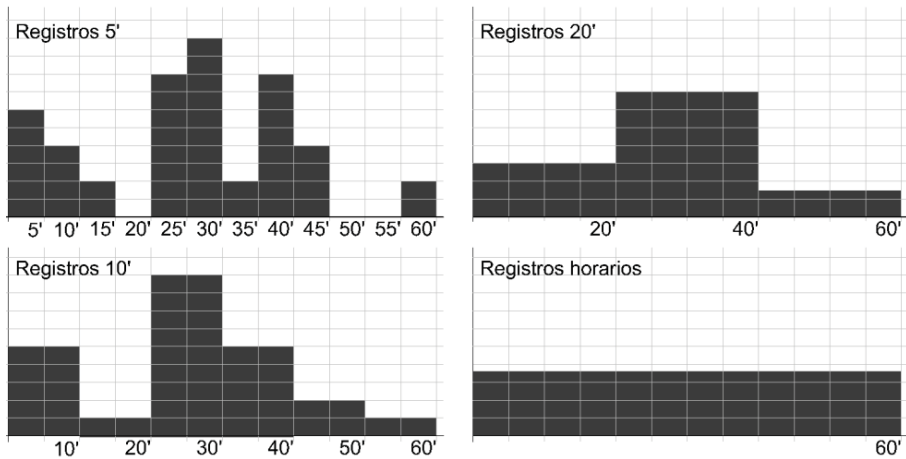


Figura IV.65.- Diagrama de la influencia del intervalo de tiempo considerado en el valor máximo de una misma variable climática o exposición.

El interés de uno u otro periodo de exposición fluctúa según las características del cerramiento considerado. Así, el estándar ISO considera necesaria la ocurrencia de 4 días carentes de precipitación para que el cerramiento comience a evaporar parte de la humedad absorbida durante el humedecimiento previo. Esta hipótesis no obstante, solo es válida en cerramientos pesados de fábrica de albañilería y no ha sido corroborada para una climatología cálida como la mediterránea.

A menor espesor y porosidad de los materiales de cerramiento, menor será la penetración de agua y absorción y menos tiempo será necesario para iniciar la evaporación en condiciones de ausencia de precipitación. Para caracterizar la sollicitación en cerramientos más ligeros o sometidos a una radiación solar más elevada, como la característica de nuestro país, se han definido los dos periodos complementarios mencionados. Corresponderá al técnico diseñador la adopción de uno u otro en función de la adecuación a su cerramiento.

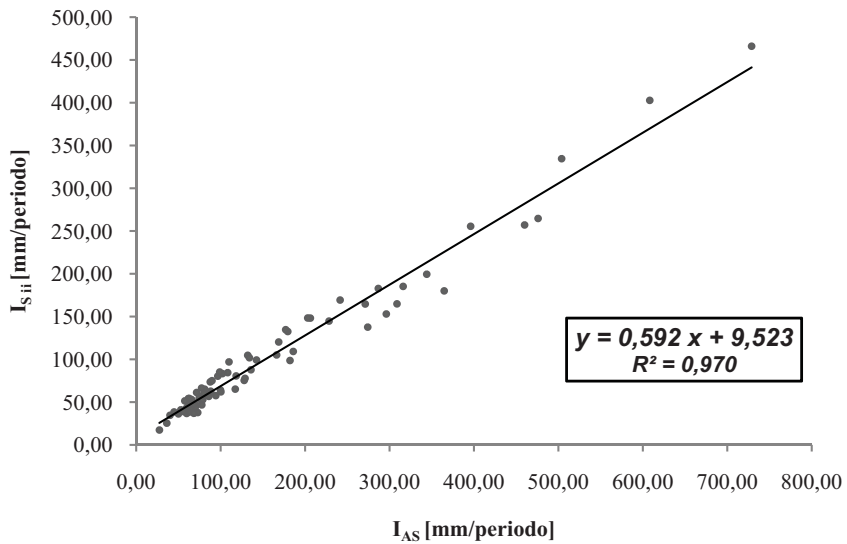


Figura IV.66.- Ajuste entre los valores de exposición por periodo definidos en este estudio para un $TR = 3$ años. Ambos son convergentes entre sí y por lo tanto útiles para establecer valoraciones comparativas.

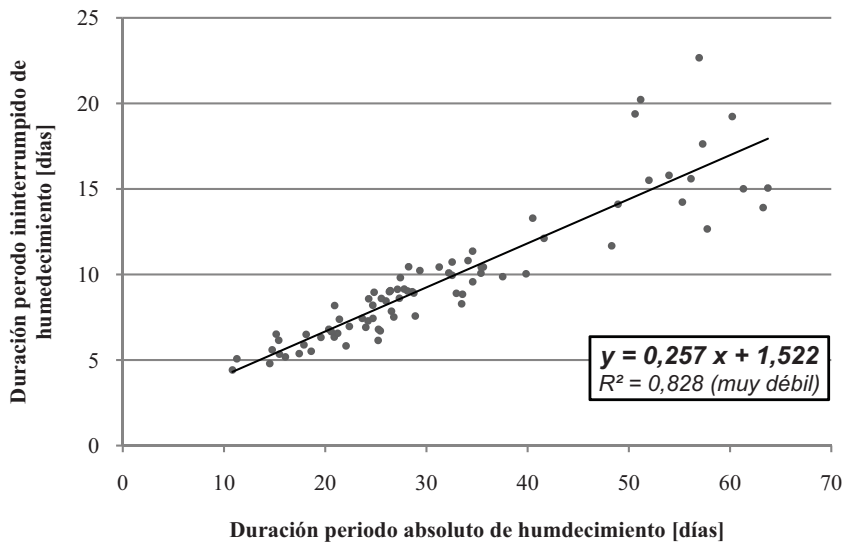


Figura IV.67.- Ajuste entre la duración de los periodos de humedecimiento definidos en este estudio para un $TR = 3$ años. Su convergencia es inexistente.

El cualquier caso, como se observa en las figuras anteriores, los valores de I_{AS} e $I_{S_{ii}}$ se muestran fuertemente convergentes entre sí, siendo indistintamente válidos para caracterizar la exposición asociada a periodos concretos de tiempo y con ello, comparar entre sí la sollicitación en diferentes emplazamientos.

Paradójicamente, a pesar de que ambos valores son indistintos en cuanto a la caracterización de la sollicitación, no lo es igualmente la longitud de los periodos que representan, que muestra una correlación mucho más débil. A mayor magnitud de la exposición, mayor es la diferencia entre la duración del periodo y la sollicitación registrada entre ambas hipótesis.

Así en emplazamientos de baja exposición asociada a periodos concretos, es más probable que el periodo absoluto de humedecimiento esté compuesto con un gran número de jornadas de lluvia ininterrumpida. Por ello, la diferencia entre un periodo absoluto definido a partir del estándar ISO y uno de jornadas de lluvia ininterrumpidas tiende a ser muy pequeña.

En emplazamientos con mayor sollicitación, los periodos absolutos de humedecimiento son habitualmente más largos y la climatología más lluviosa. En esos casos, es más probable que el periodo absoluto definido a partir del estándar ISO se prolongue en el tiempo, intercalando algunas jornadas carentes de precipitación (siempre menos de 4), aspecto que no se da en el periodo que define $I_{S_{ii}}$.

Intercalando jornadas carentes de precipitación en el interior del periodo absoluto de humedecimiento, el periodo se ve prolongado, aunque el valor I_{AS} no se incrementa en la misma medida (a fin de cuentas, son jornadas carentes de precipitación). Este hecho explica la falta de convergencia identificada.

Es conveniente señalar igualmente, que la exposición asociada a un periodo diario no muestra convergencia alguna con los otros dos periodos de humedecimiento definidos.

Ello se debe a que mientras la magnitud de I_{AS} e $I_{S_{ii}}$ se ve influida tanto por la intensidad de la lluvia batiente como por la duración de la misma en el tiempo, el valor I_D únicamente se ve influido por la intensidad de la lluvia batiente (el periodo es constante e igual a 1 día).

Debido a esto, la lluvia batiente máxima asociada a una jornada con precipitación, determina únicamente la sollicitación asociada al menor intervalo de humedecimiento que puede identificarse a partir de los datos diarios utilizados.

Del mismo modo, si se representan los resultados correspondientes a la lluvia batiente asociada a los tres periodos definidos, junto con un indicador de exposición anual (I_A), se observa cómo no existe una fuerte correlación directa entre la sollicitación anual y la sollicitación concreta en ningún periodo.

Como se aprecia en la figura siguiente, el caso de Izaña (el más significativo), una exposición anual no demasiado elevada puede estar caracterizada por exposiciones concretas muy acusadas.

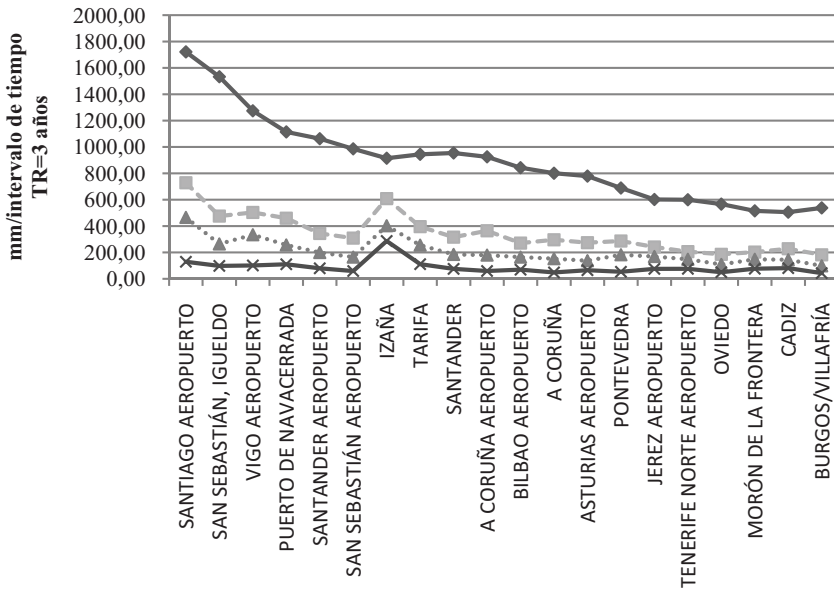


Figura IV.68.- Comparación entre sollicitación anual I_A (línea continua), los valores asociados a periodos absolutos de humedecimiento I_{AS} (línea discontinua) e $I_{S_{ii}}$ (línea punteada) y a periodos de un día I_D (línea inferior), estos tres últimos para TR de 3 años, en los emplazamientos de mayor exposición anual.

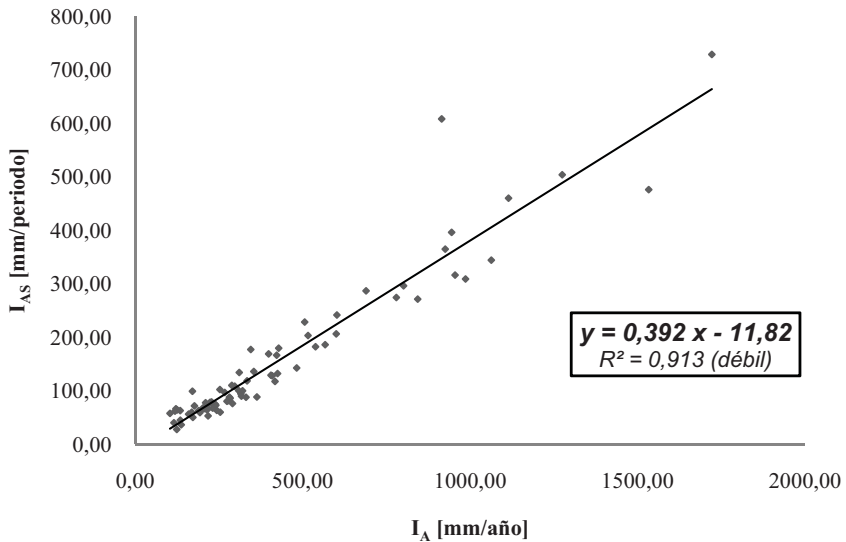


Figura IV.69.- Ajuste entre los valores de exposición por periodo y anual. La convergencia entre ambos es débil, por lo que ambos parámetros no son dependientes sino complementarios para la caracterización de la sollicitación.

No se identifica por lo tanto una fuerte relación directa entre la solicitación anual y la exposición referida a periodos de tiempo concretos e inferiores, por lo que la solicitación anual no puede extrapolarse de la solicitación puntual en un periodo, ni la solicitación puntual puede extrapolarse a partir de la exposición anual.

Este hecho se corrobora además en España de un modo obvio: emplazamientos de la costa mediterránea y del sur de la península caracterizados por pluviometrías anuales sensiblemente bajas, son sin embargo las zonas del país sometidas a las precipitaciones puntuales más intensas en cortos periodos de tiempo, como consecuencia del fenómeno atmosférico de la gota fría. No existen por lo tanto relación alguna entre ambos parámetros de exposición.

Así, los emplazamientos sometidos a una mayor exposición anual en nuestro país, son paradójicamente los menos expuestos a condiciones desfavorables durante periodos de humedecimiento concretos. Este hecho puede apreciarse si analiza en los diferentes emplazamientos el cociente resultante entre la precipitación máxima diaria y el indicador de exposición anual.

De esta manera puede caracterizarse la importancia relativa de la exposición durante periodos cortos, respecto de la exposición total anual.

Los valores más elevados, no se dan en emplazamientos de la costa atlántica del país (con las mayores solicitaciones anuales), sino en puntos de las Islas Canarias y del Levante español. Este hecho se relaciona con el tipo de tormentas que dan lugar a la precipitación en ambas zonas del país.

Mientras en la Costa Canaria y el Levante español las tormentas son de carácter convectivo, aportando en unas pocas descargas gran parte de la pluviometría total anual, en el norte del país esta lluvia se reparte en el tiempo a lo largo de todo el año de forma más uniforme, aunque con una intensidad comparativamente mucho menor.

De ahí que si bien a lo largo de todo el año la exposición en la costa mediterránea es muy inferior a la existente en la costa atlántica, es posible que se den condiciones puntuales en el Levante español, iguales o incluso más desfavorables, que las presentes en el norte del país para la penetración de agua en el interior del cerramiento.

Ambas situaciones, repartidas en el tiempo o concretadas en un periodo muy corto, conllevan igualmente riesgo de penetración de agua a través del cerramiento y por lo tanto deben ser caracterizadas en la misma medida.

En consecuencia, es necesaria una caracterización conjunta de la exposición en base a ambos parámetros, tal y como se representa en el mapa 10 contenido en el anejo A.2, si se quiere dar una visión global e integrada de la exposición en cada emplazamiento.

A continuación se muestra en varias figuras, la importancia relativa de la exposición asociada a diferentes periodos, respecto de la solicitación anual registrada en cada emplazamiento:

IV. Parametrización de la exposición a la humedad en cerramientos verticales

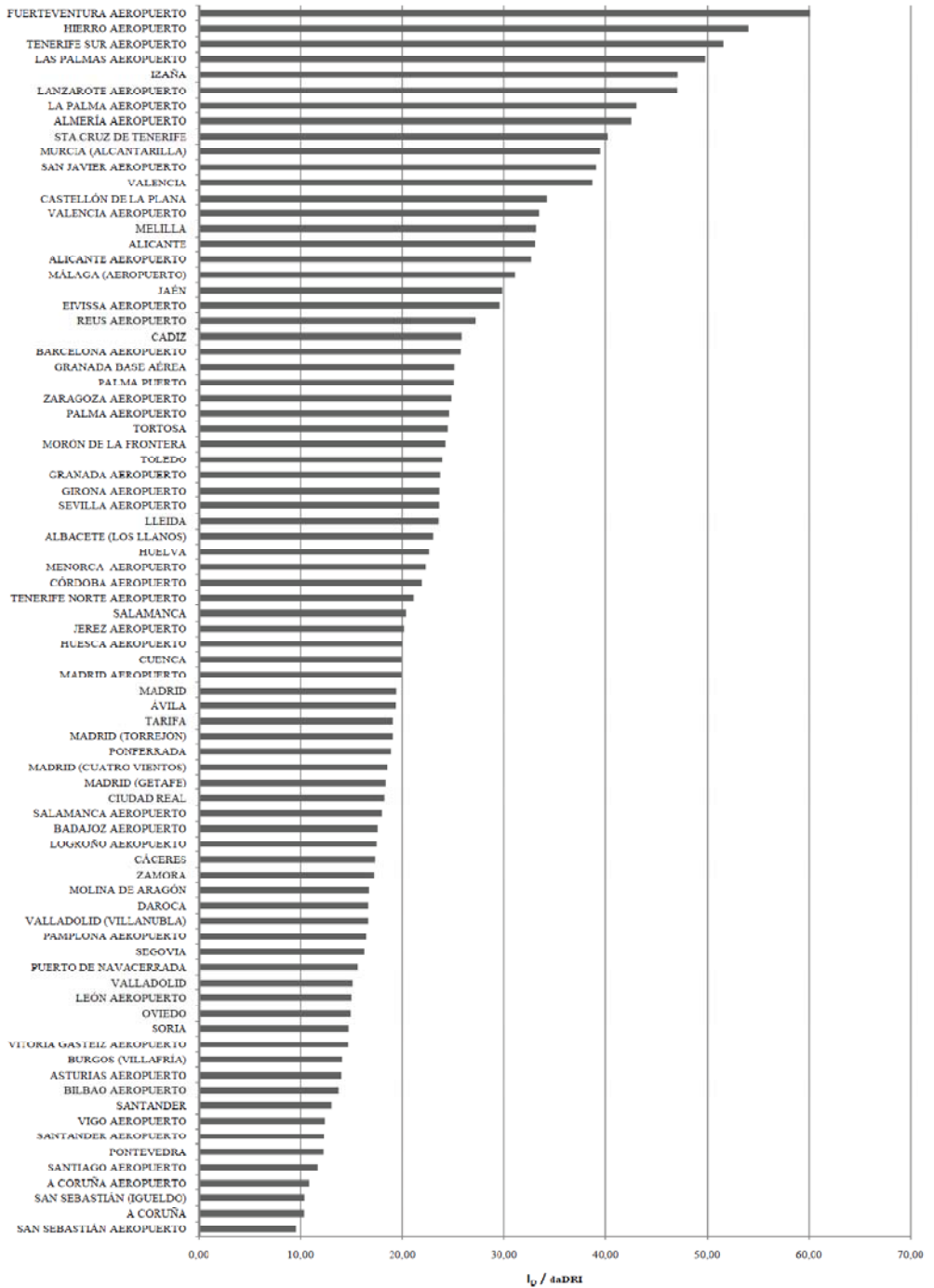


Figura IV.70.- Emplazamientos con mayor solicitud relativa en periodos de un único día ($I_D / daDRI$), partiendo de datos de lluvia batiente para un periodo de retorno de 3 años.

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

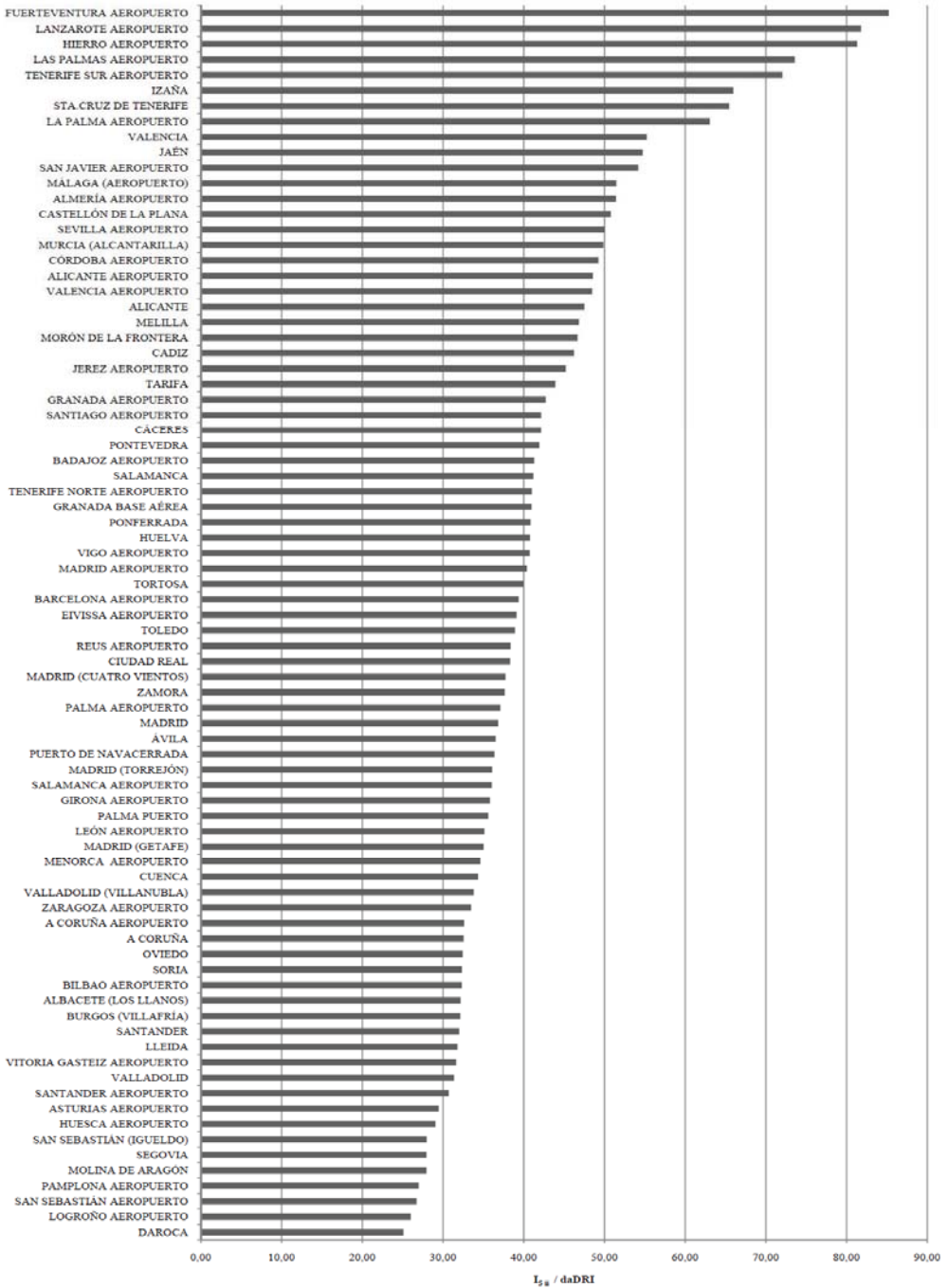


Figura IV.71.- Emplazamientos con mayor solicitud relativa en periodos de humedecimiento de días de lluvia ininterrumpida ($I_{S_{ii}} / daDRI$), partiendo de datos de lluvia batiente para un periodo de retorno de 3 años.

IV. Parametrización de la exposición a la humedad en cerramientos verticales

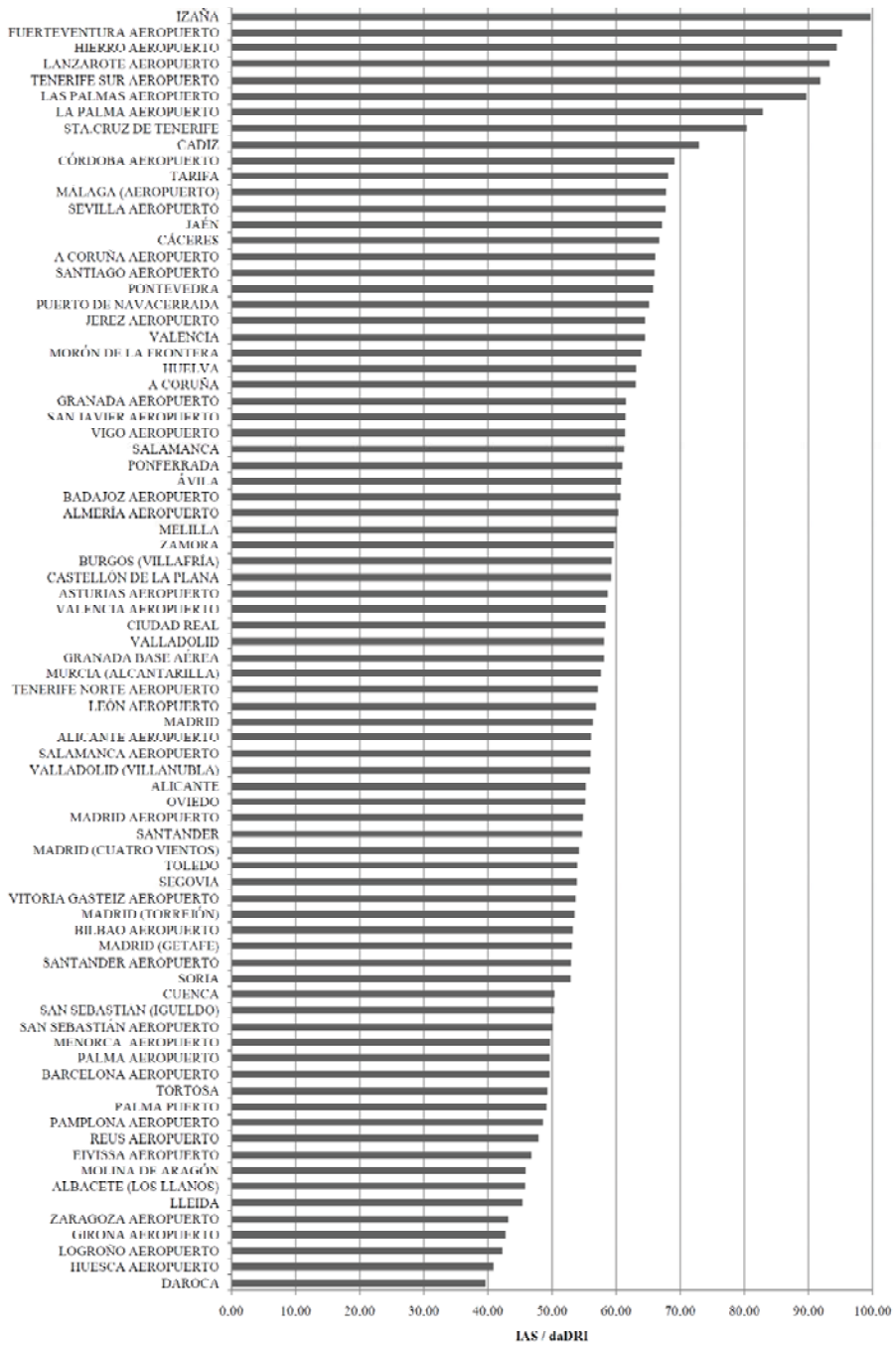


Figura IV.72.- Emplazamientos con mayor solicitud relativa en periodos absolutos de humedecimiento a partir del estándar ISO ($I_{AS} / daDRI$), partiendo de datos de lluvia batiente para un periodo de retorno de 3 años.

La caracterización basada en ambos intervalos temporales (largo plazo – corto plazo) permite cubrir todas las situaciones de sollicitación posibles, mientras que la caracterización en base a solo una de ellas (como actualmente recoge el CTE al estimar la pluviometría anual), se muestra insuficiente.

A continuación se representan conjuntamente los valores de exposición a la lluvia batiente, anuales y por periodos de humedecimiento, en los emplazamientos de mayor exigencia anual, realizando el cálculo para otros periodos de retorno diferentes a 3 años.

Al incrementarse el periodo de retorno, consecuentemente también lo hace la magnitud de la exposición asociada a cada uno de los periodos de humedecimiento.

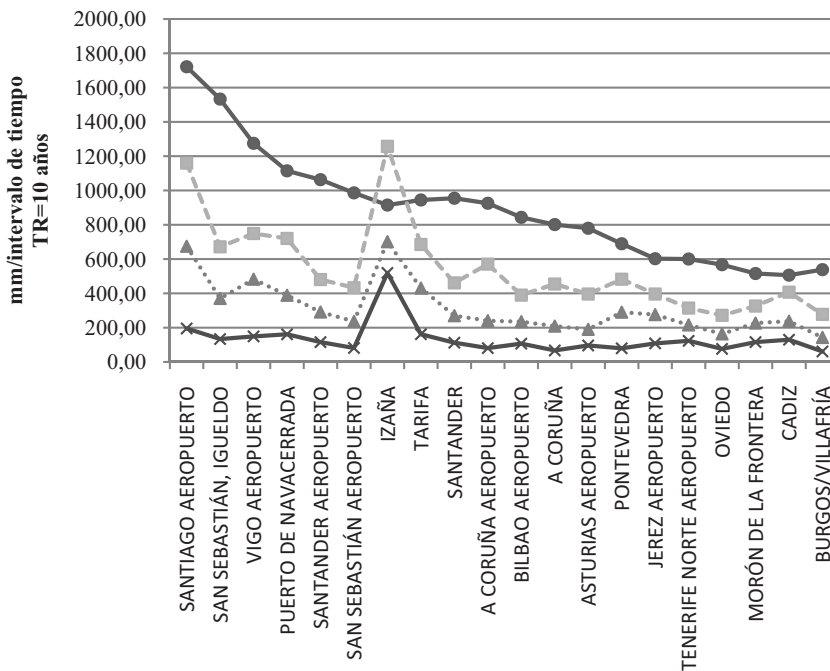


Figura IV.73.- Comparación entre sollicitación anual I_A (línea continua), los valores asociados a periodos absolutos de humedecimiento I_{AS} (línea discontinua) e I_{Sii} (línea punteada) y a periodos de un día I_D (línea inferior), estos tres últimos para TR de 10 años, en los emplazamientos de mayor exposición.

En algunos casos, el valor de exposición por periodo supera el valor esperado medio anual de exposición, ya que mientras para el valor anual se utilizan simples valores promedio, los valores de exposición por periodo juegan con probabilidades estadísticas, que pueden derivar en valores superiores a la media anual.

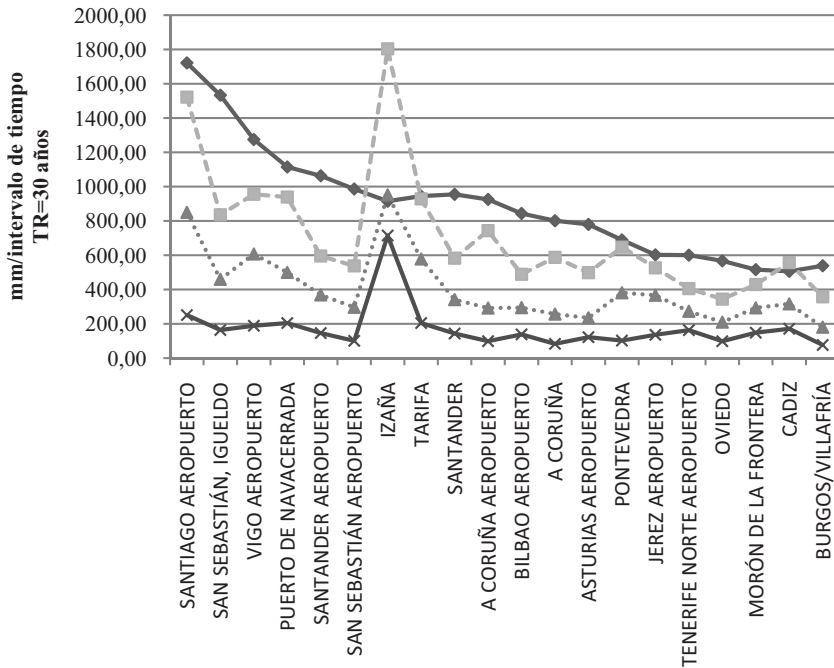


Figura IV.74.- Comparación entre solicitación anual I_A (línea continua), los valores asociados a periodos absolutos de humedecimiento I_{AS} (línea discontinua) e $I_{S_{ii}}$ (línea punteada) y a periodos de un día I_d (línea inferior), estos tres últimos para TR de 30 años, en los emplazamientos de mayor exposición.

Se aprecia como en emplazamientos como Izaña (debido a la elevada altitud de la estación meteorológica y las fuertes rachas de viento dominantes), Santiago de Compostela, Tarifa, Cádiz o Pontevedra, la exposición durante periodos absolutos de humedecimiento es significativamente relevante, indicando que existen solicitaciones puntuales sobre los cerramientos que generan unas condiciones desfavorables sobre el cerramiento que no son consideradas mediante una simple caracterización anual de la exposición.

La caracterización de estas condiciones puntuales de exposición características para cada emplazamiento, pueden ser relacionadas con las condiciones de exposición a utilizar en los ensayos de estanqueidad, permitiendo así someter a diferentes condiciones constructiva a solicitaciones reales esperadas en el cerramiento o bien, relacionar los resultados de los ensayos de estanqueidad con las condiciones de exposición a corto plazo existentes en cada condición de servicio y emplazamiento.

Este aspecto práctico se abordará no obstante con mayor detalle en el capítulo siguiente.

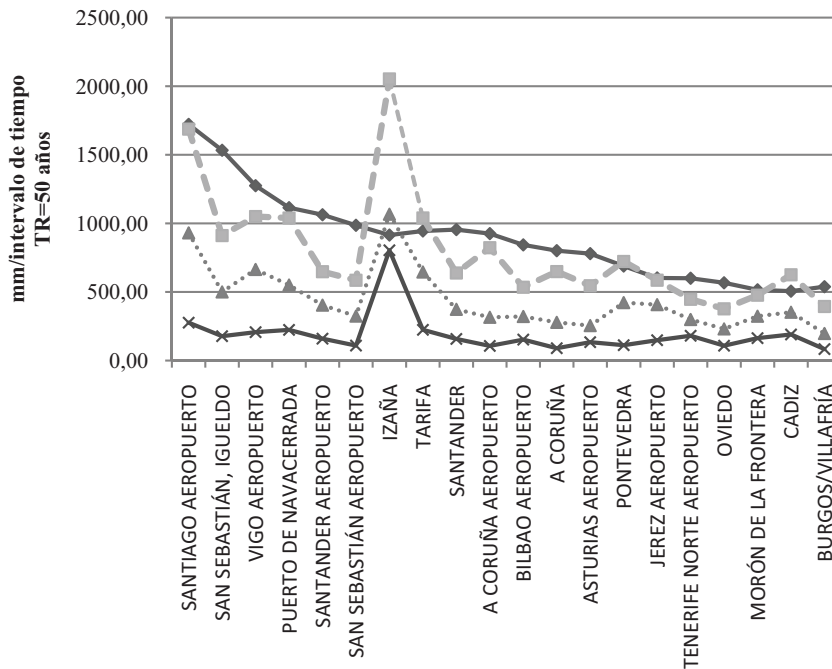


Figura IV.75.- Comparación entre solicitación anual I_A (línea continua), los valores asociados a periodos absolutos de humedecimiento I_{AS} (línea discontinua) e I_{Sii} (línea punteada) y a periodos de un día I_d (línea inferior), estos tres últimos para TR de 50 años, en los emplazamientos de mayor exposición.

IV.5.7.- PROPUESTA DE ÍNDICE INTEGRADO DE RIESGO DE PENETRACIÓN DE AGUA

En anteriores apartados se ha establecido la exposición frente a la lluvia batiente en edificios y sus cerramientos verticales en base a la duración anual y puntual de la solicitación, dotando al técnico diseñador o legislador, de suficientes parámetros de elección para establecer comparaciones de solicitación entre diferentes emplazamientos del territorio español, en base a las condiciones concretas del cerramiento.

Así, mientras que el comportamiento a largo plazo puede caracterizarse por medio de la exposición anual (I_A o daDRI), el comportamiento puntual del cerramiento debería ser caracterizado por exposiciones concretas, cuya duración depende de la naturaleza del cerramiento (I_{AS} para cerramientos pesados de albañilería; I_{Sii} para cerramientos con menor absorción de humedad y en los que la evaporación se inicia mucho antes; I_D para cerramientos más ligeros, con una absorción despreciable y rápida evaporación en ausencia de lluvia).

No obstante, es necesario llamar la atención sobre un aspecto que hasta el momento ha sido soslayado: **no es necesaria una importante cantidad de lluvia**

batiente sobre el cerramiento para que se produzca la penetración de agua a través del mismo.

Así, cantidades pequeñas de lluvia batiente, acompañadas por fuertes rachas de viento pueden propiciar la penetración de forma más enérgica que la simple deposición de gran cantidad de agua por la acción de un viento suave.

La presión eólica ejercida por el viento sobre el cerramiento de forma simultánea a la precipitación, influye también en la penetración de agua existente. En menor medida lo hará la duración del fenómeno de humedecimiento o tiempo durante el cual se mantienen estas condiciones de sollicitación o exposición.

En aquellos cerramientos caracterizados por una porosidad de gran tamaño, fisuras, grietas, desperfectos, discontinuidades en el revestimiento, inadecuada puesta en obra... la cantidad de agua y la duración del periodo de exposición, son factores mucho más determinantes para la penetración de agua que la presión eólica incidente, ya que el agua es capaz de fluir capilarmente o por gravedad a través de dichas discontinuidades en condiciones de ausencia de presión eólica sobre la fachada (Cornick y Lacasse, 2005).

No obstante, en cerramientos de escasa porosidad y ausencia de irregularidades y discontinuidades, el papel del viento sobre el cerramiento es mucho más importante para la penetración que la cantidad de agua incidente sobre la fachada, dado que el mismo favorece la penetración del agua a través del sistema poroso.

En condiciones reales y términos generales, los cerramientos del edificio se encuentran en condiciones intermedias, caracterizadas por materiales de calidad creciente y baja porosidad en los revestimientos, puestos en obra de forma tradicional y artesanal (casi en su totalidad manualmente) y consecuentemente, no carentes de grietas, fisuras, discontinuidades... que propician que todos los parámetros anteriormente descritos deban ser considerados en el diseño.

Por todo ello, si bien la sollicitación frente a la penetración de agua, puede caracterizarse de forma aproximada o cualitativa por medio del grado de exposición a la lluvia batiente (aproximación plausible y utilizada extensivamente en ámbitos internacionales), también depende de otros factores como la presión eólica, que deberían ser considerados para establecer un ámbito de análisis más exhaustivo.

A partir del estudio realizado, se muestran en las siguientes figuras los tres parámetros relevantes mencionados (lluvia batiente, presión eólica, duración del periodo de humedecimiento), recopilados en los 80 emplazamientos analizados en el territorio español, diferenciando el cálculo realizado para cada uno de ellos según el periodo de retorno considerado. Se facilitan así todos los datos necesarios para establecer su propio criterio de utilización, análisis, simulación o aplicación.

Corresponderá al lector estimar y definir la importancia relativa de cada uno de ellos en el comportamiento de su cerramiento (la duración del periodo está implícitamente considerado en los otros dos). Caracterizar de forma precisa esta relevancia precisará años de ensayos y simulaciones por parte de los investigadores, dada la variedad de cerramientos existentes, la complejidad de relaciones que se establecen en el flujo de humedad a través de los materiales de construcción y los diferentes estados de deterioro y pérdida de prestaciones de cada material de construcción.

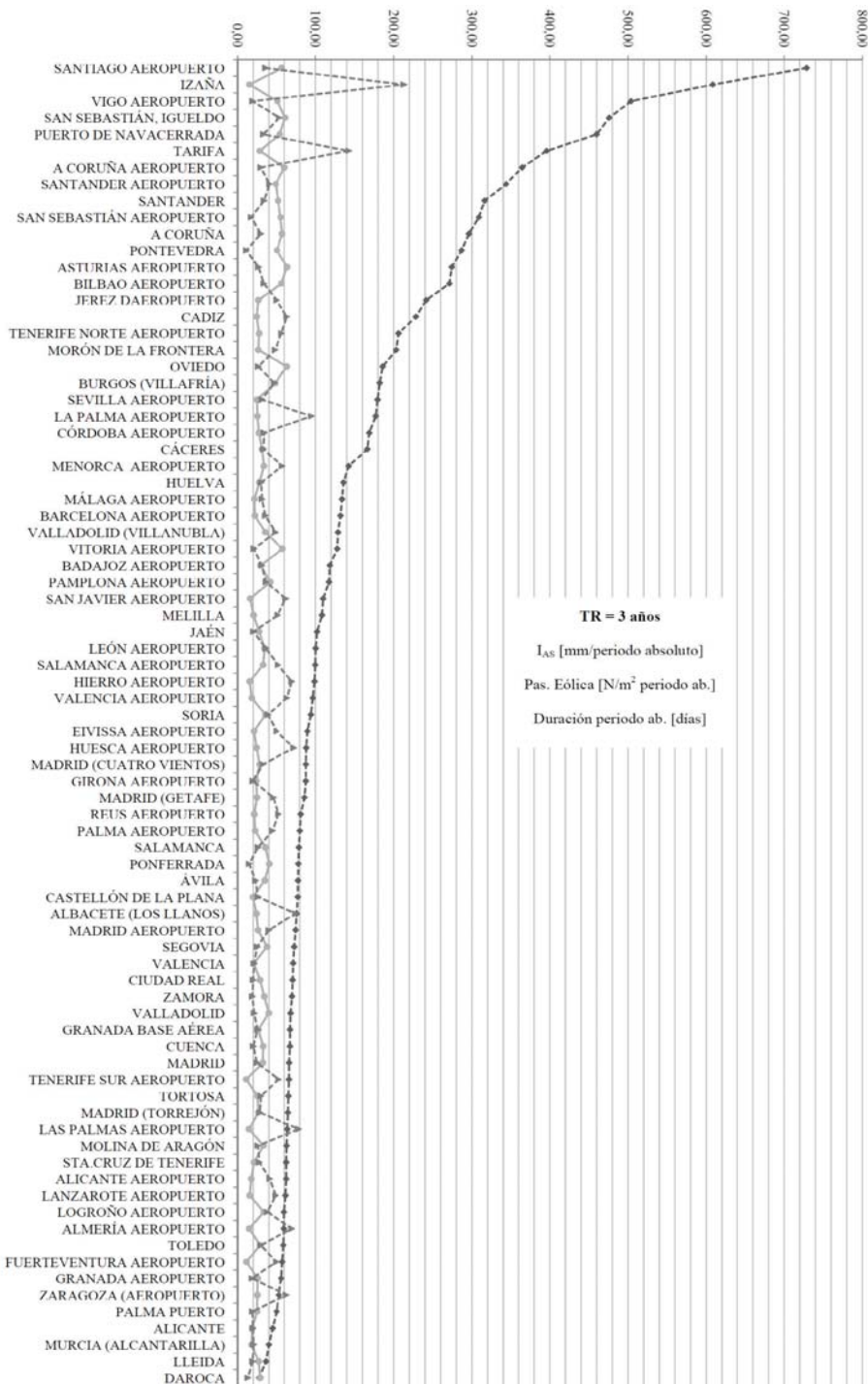


Figura IV.76.- Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante periodos absolutos de humedecimiento (I_{AS} en línea oscura discontinua; presión eólica en línea clara discontinua; duración del periodo en línea continua) para TR 3 años.

IV. Parametrización de la exposición a la humedad en cerramientos verticales

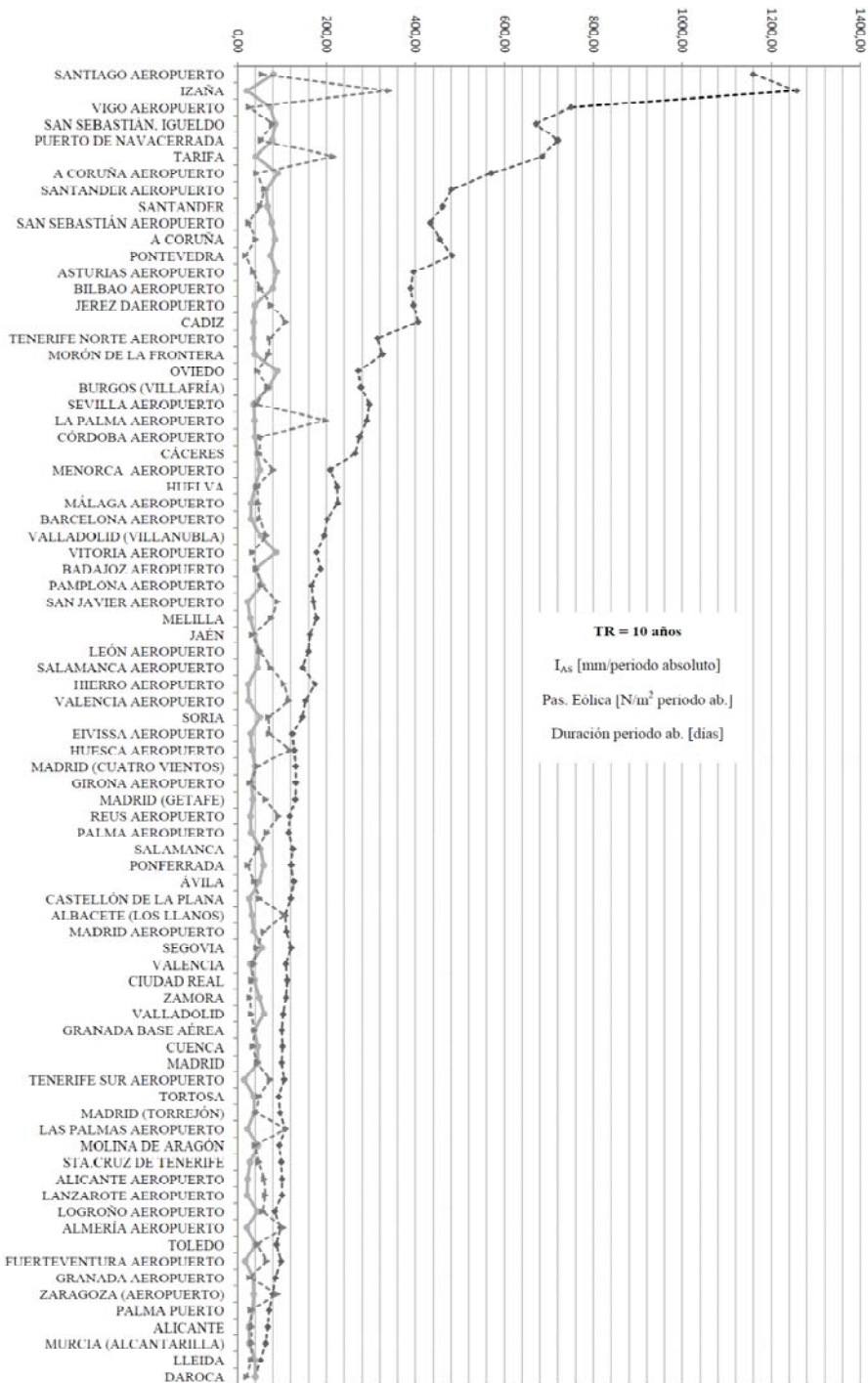


Figura IV.77.- Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante periodos absolutos de humedecimiento (I_{AS} en línea oscura discontinua; presión eólica en línea clara discontinua; duración del periodo en línea continua) para TR 10 años.

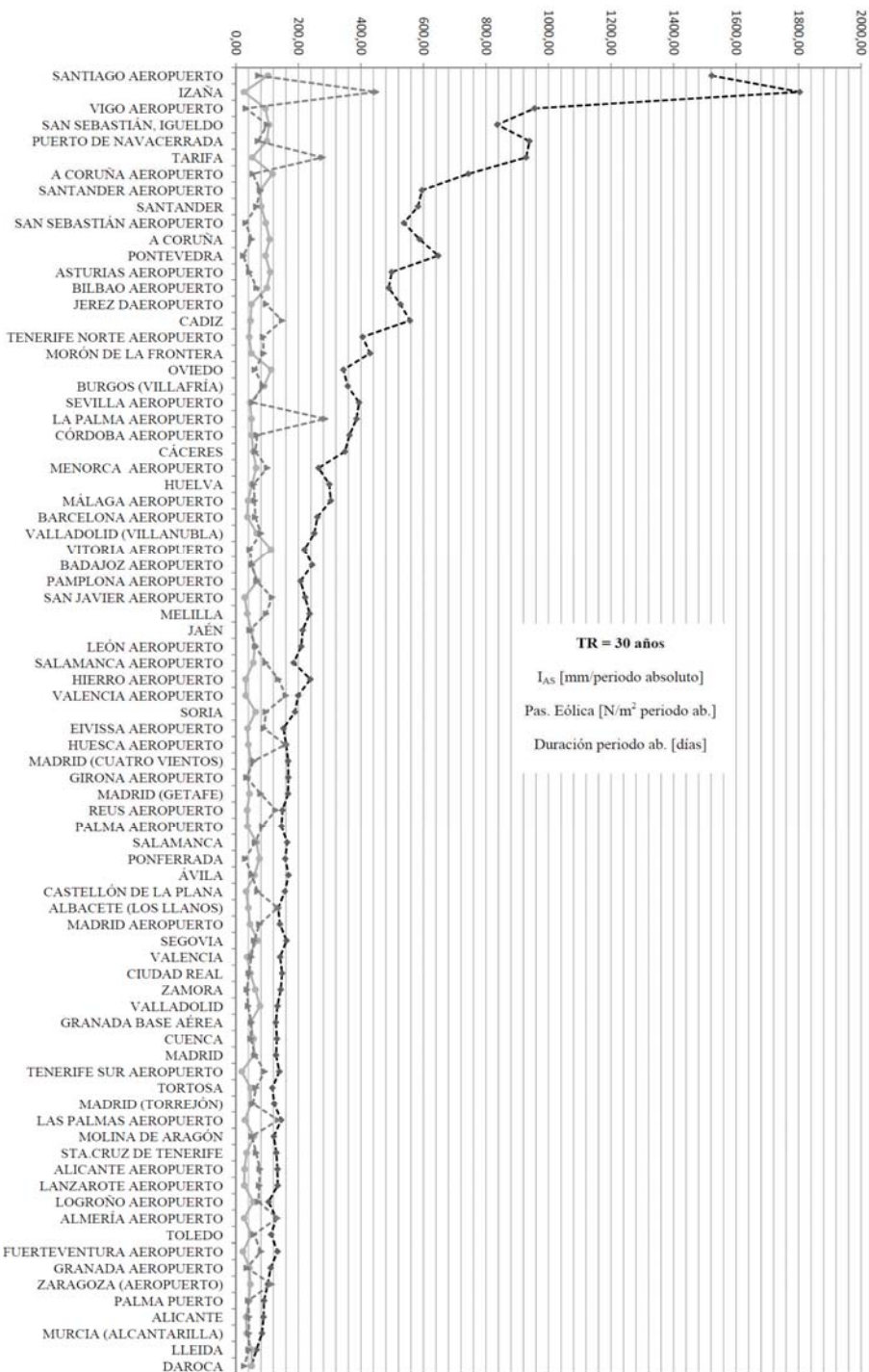


Figura IV.78.- Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante periodos absolutos de humedecimiento (I_{AS} en línea oscura discontinua; presión eólica en línea clara discontinua; duración del periodo en línea continua) para TR 30 años.

IV. Parametrización de la exposición a la humedad en cerramientos verticales

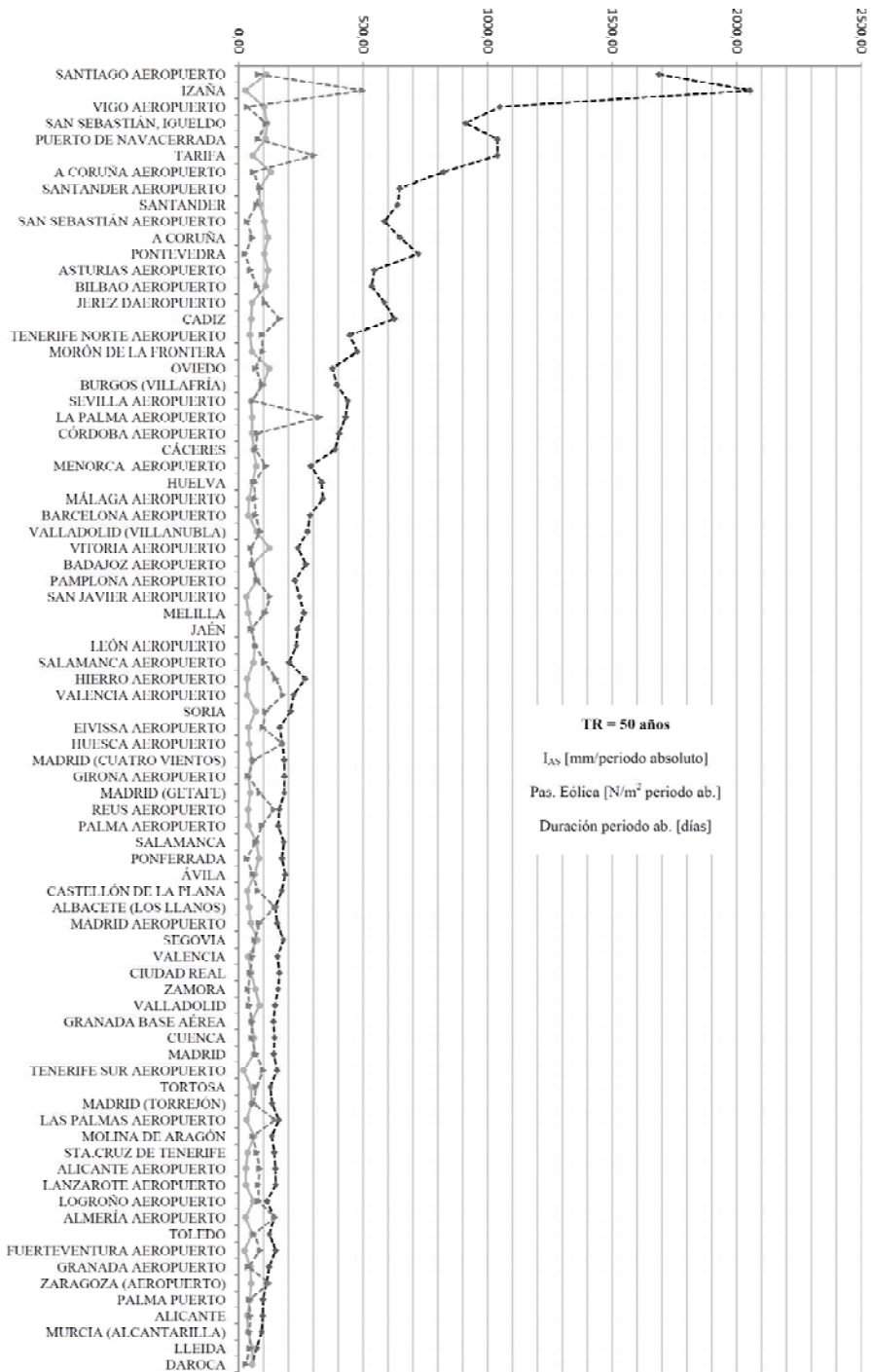


Figura IV.79.- Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante periodos absolutos de humedecimiento (I_{AS} en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada; duración del periodo en línea continua) para TR de 50 años.

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

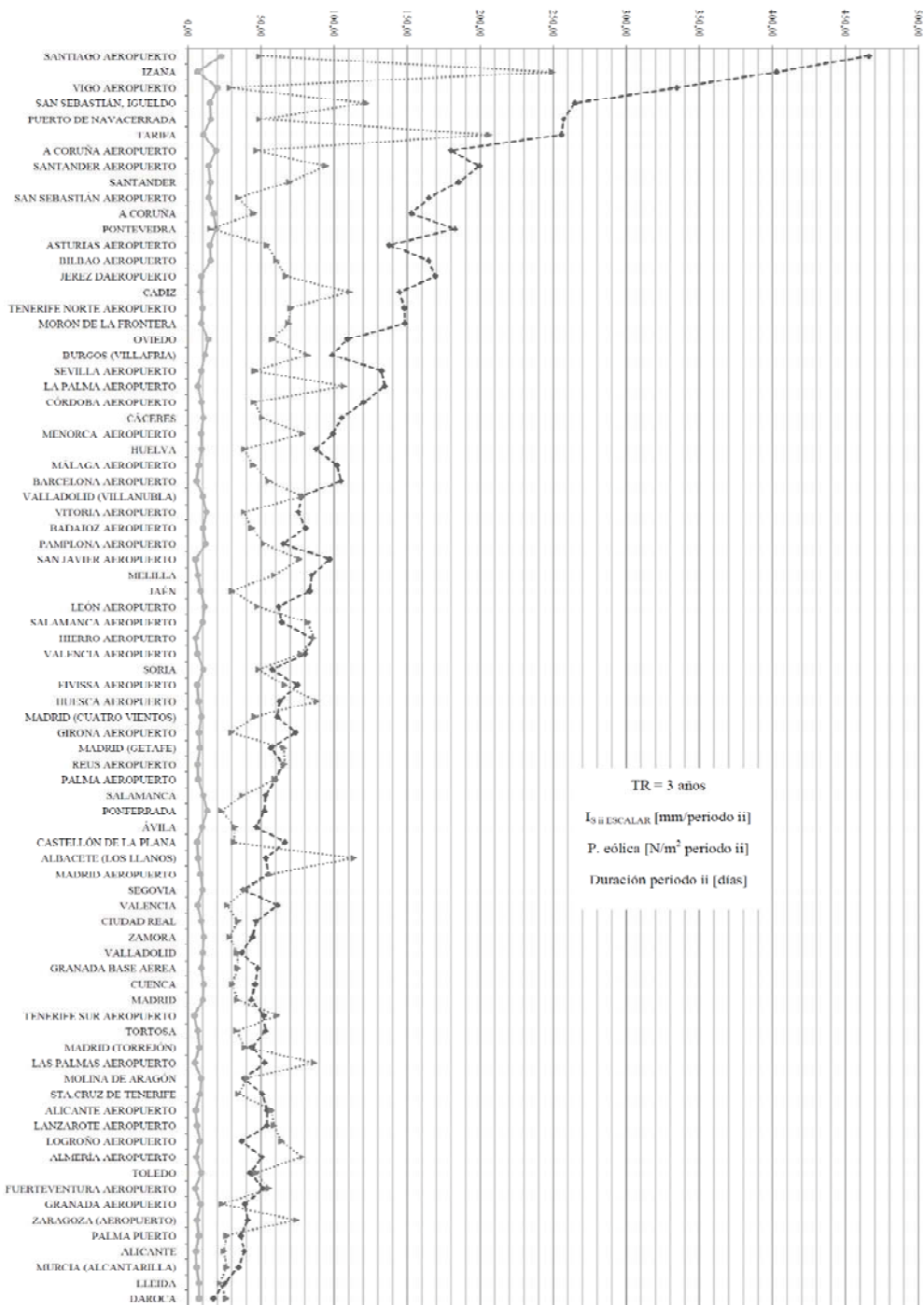


Figura IV.80.- Parámetros que condicionan la penetración de agua en el cerramiento durante periodos ininterrumpidos de humedecimiento ($I_{s\ ii}$ en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada; duración del periodo ininterrumpido en línea continua) para TR de 3 años.

IV. Parametrización de la exposición a la humedad en cerramientos verticales

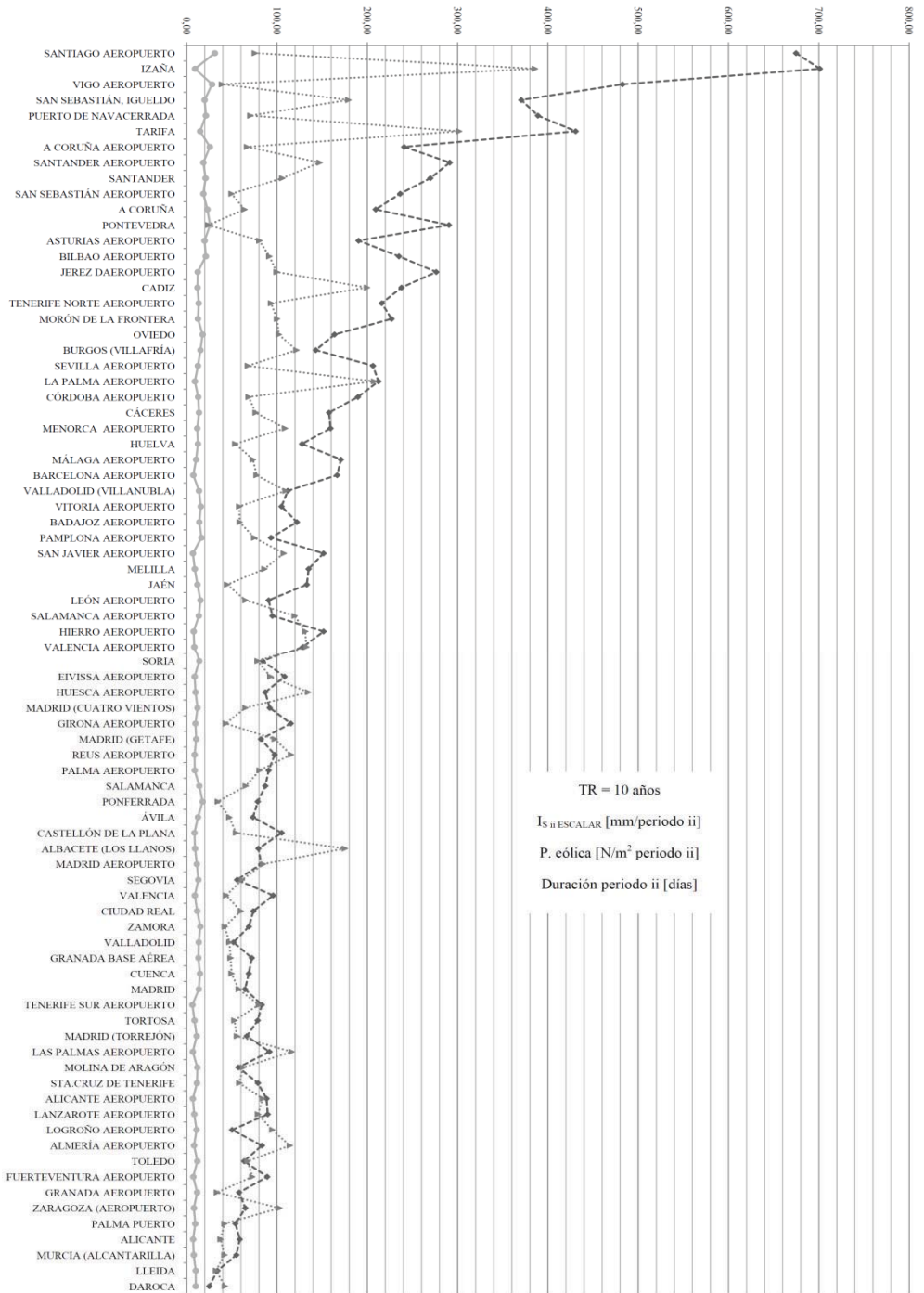


Figura IV.81.- Parámetros que condicionan la penetración de agua en el cerramiento durante periodos ininterrumpidos de humedecimiento ($I_{S_{ii}}$ en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada; duración del periodo ininterrumpido en línea continua) para TR de 10 años.

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

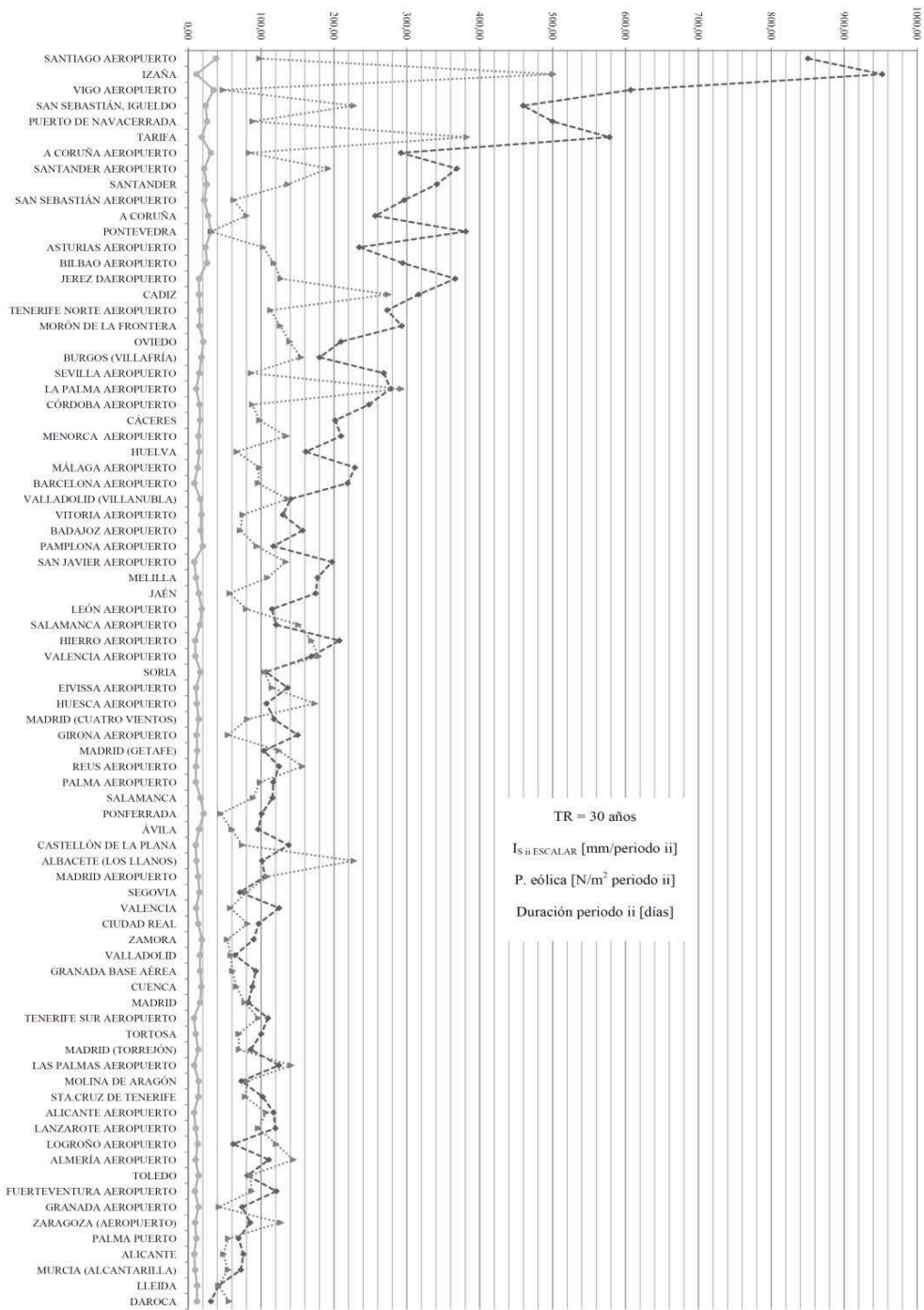


Figura IV.82.- Parámetros que condicionan la penetración de agua en el cerramiento durante periodos ininterrumpidos de humedecimiento ($I_{s_{ii}}$ en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada; duración del periodo ininterrumpido en línea continua) para TR de 30 años.

IV. Parametrización de la exposición a la humedad en cerramientos verticales

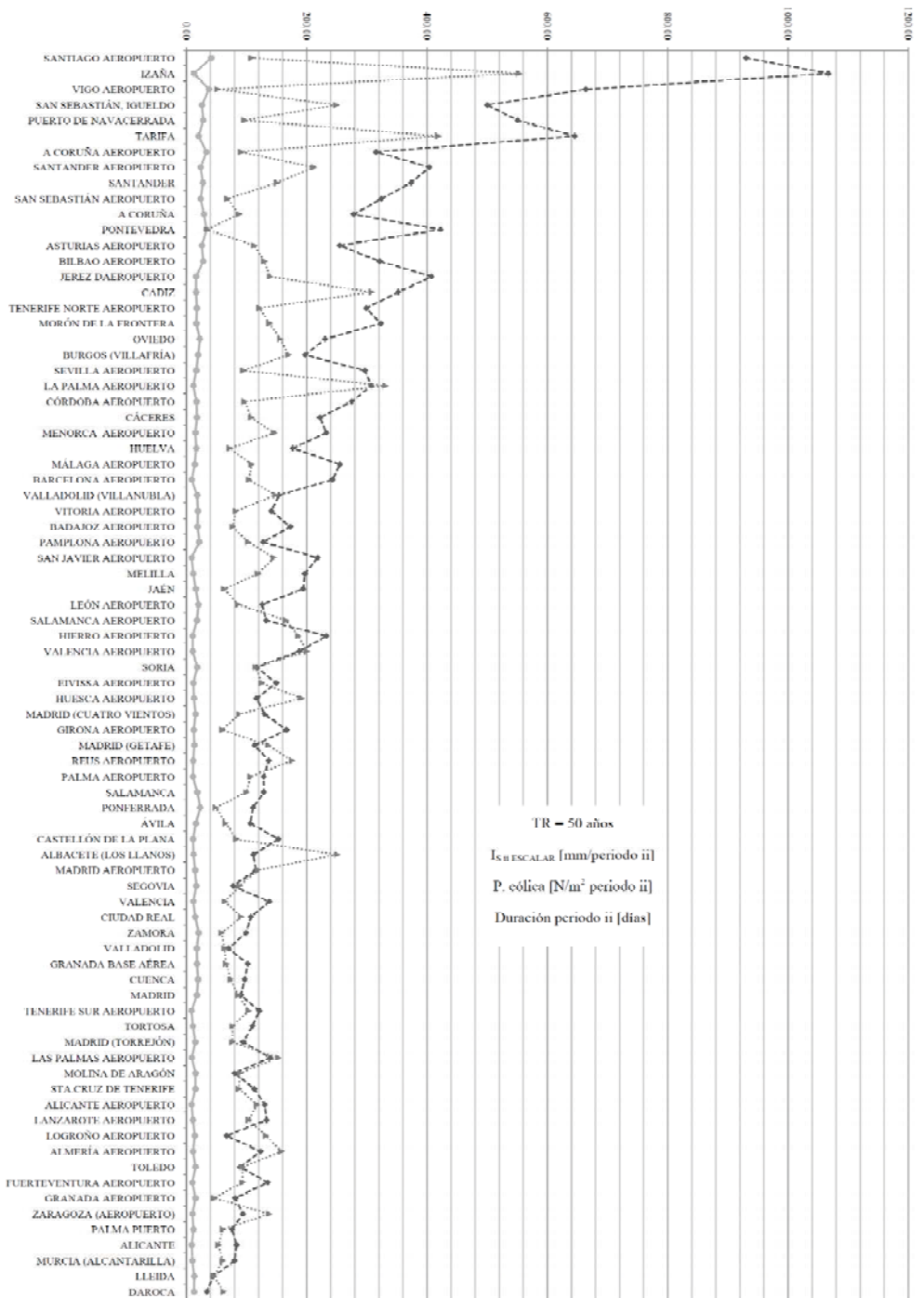


Figura IV.83.- Parámetros que condicionan la penetración de agua en el cerramiento durante periodos ininterrumpidos de humedecimiento ($I_{s,ii}$ en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada; duración del periodo ininterrumpido en línea continua) para TR de 50 años.

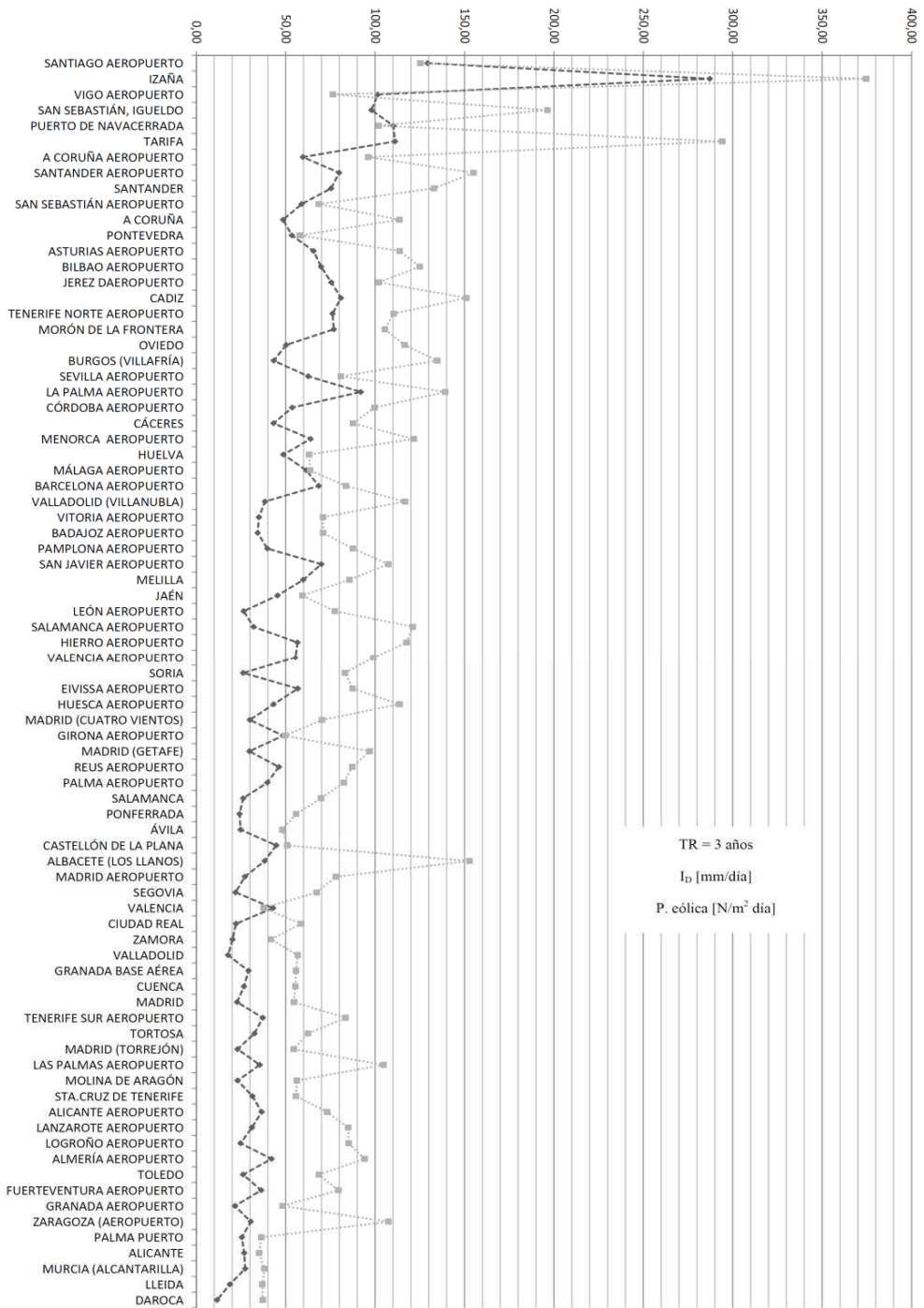


Figura IV.84.- Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante un día de humedecimiento (I_D en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada) para TR de 3 años.

IV. Parametrización de la exposición a la humedad en cerramientos verticales

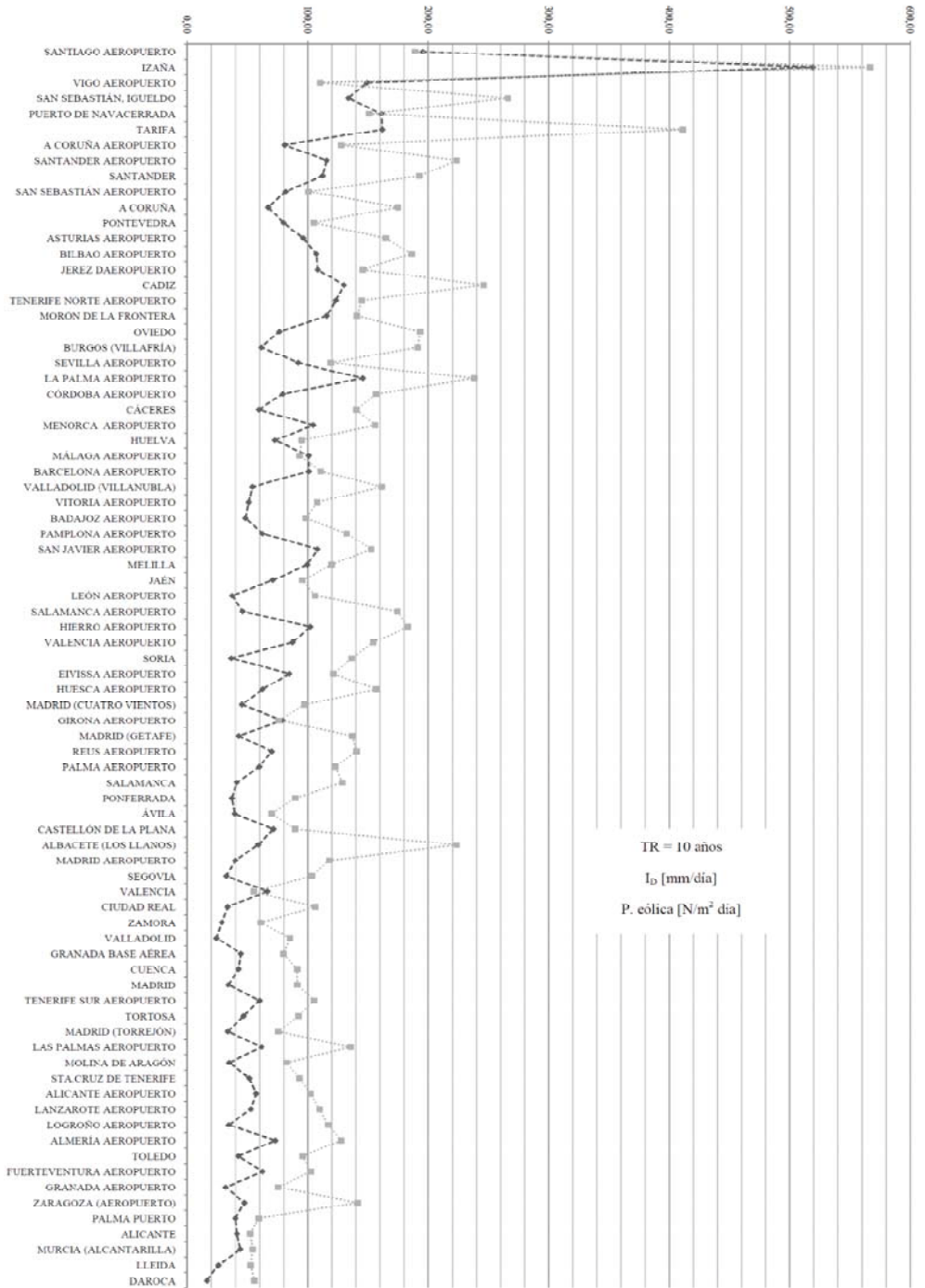


Figura IV.85.- Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante un día de humedecimiento (I_D en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada) para TR de 10 años.

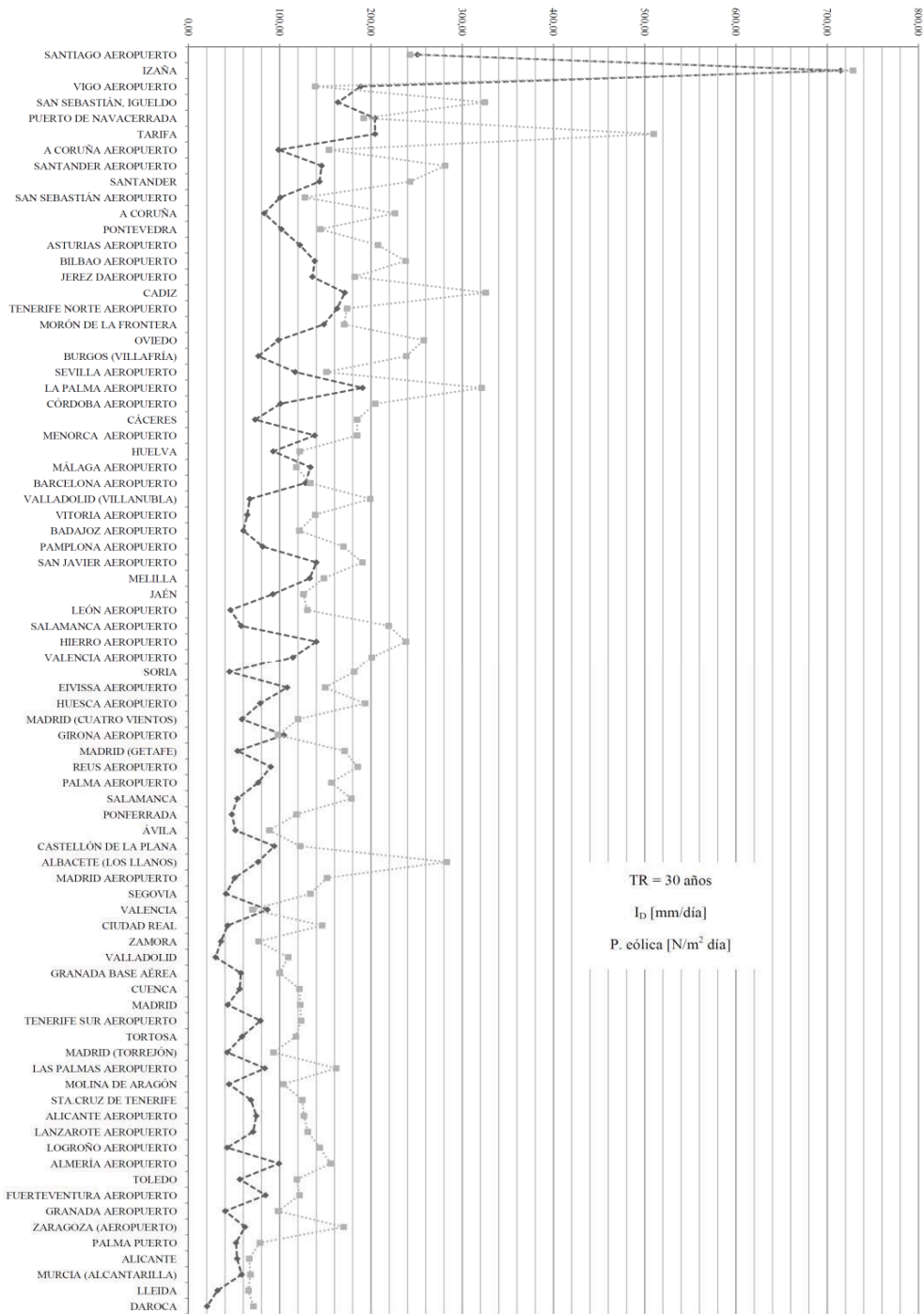


Figura IV.86.- Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante un día de humedecimiento (I_D en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada) para TR de 30 años.

IV. Parametrización de la exposición a la humedad en cerramientos verticales

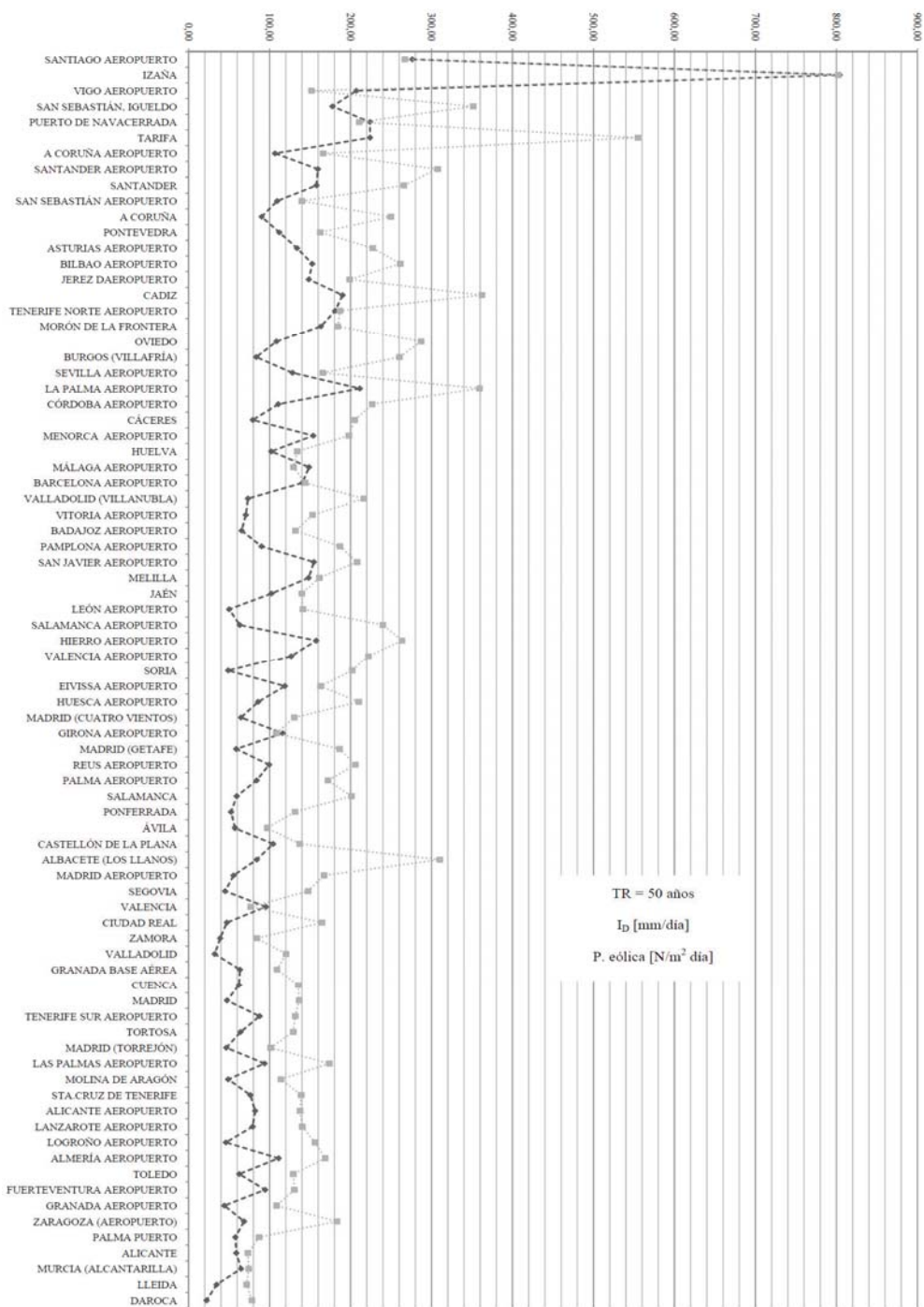


Figura IV.87.- Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante un día de humedecimiento (I_D en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada) para TR de 50 años.

Como se ha apuntado, dentro de las tres variables presentadas en los gráficos anteriores, de influencia en la penetración del agua en estado líquido a través del cerramiento (lluvia batiente, presión eólica y duración del humedecimiento), uno de ellos está implícitamente contemplado dentro de los otros dos.

Así, el valor de lluvia batiente considerado, lleva implícita una duración del periodo durante la cual se registra dicha cantidad de lluvia. Del mismo modo, la presión eólica se encuentra promediada entre el número de días que configuran el periodo de humedecimiento.

Habitualmente, a mayor duración del periodo, mayor es la cantidad de lluvia batiente total recogida y menor la magnitud del viento medio a lo largo de dicho periodo por el efecto de un mayor promediado.

Por lo tanto, es factible determinar un indicador del riesgo de penetración de agua líquida a través del cerramiento, basado únicamente en la cantidad de lluvia batiente incidente y presión eólica media detectada a lo largo de cada periodo. Ambos parámetros considerados, corresponden a los valores máximos en sus respectivos intervalos de duración, por lo que implícitamente expresan el riesgo asociado a esa duración de la exposición.

IV.5.7.1.- Propuesta de índice integrado de riesgo de penetración de agua en el cerramiento

Con objeto de establecer este criterio unívoco para caracterizar la exposición a la penetración de agua líquida en edificios en los diferentes emplazamientos, se presenta una aproximación primaria, inspirada en otras caracterizaciones unitarias ya vigentes como el Moisture Index (MI) canadiense (Cornick y Dalgliesh, 2003), planteado también para estimar la sollicitación por humedad en el cerramiento (véase Capítulo III).

Mientras que en el MI se pondera el humedecimiento y secado del cerramiento derivado de las características climatológicas de su emplazamiento, en el índice integrado de riesgo que se propondrá a continuación se ponderan la presión eólica y lluvia batiente incidentes sobre dicho cerramiento.

Para definir un índice que pondere de forma unívoca los factores considerados en la penetración de agua en el cerramiento (lluvia batiente y presión eólica) ha de adoptarse un criterio que los relacione en igualdad de condiciones, permitiendo así establecer comparaciones entre diferentes emplazamientos en base a un único criterio.

Una forma de ponderar estos factores es establecer valores normalizados, asumido el rango máximo de variación de los valores detectados en los 80 emplazamientos estudiados. Así, podemos definir dos coeficientes adimensionales, uno para cada factor, independientes entre sí y con un valor que oscilará entre 0 y 1, de la siguiente forma:

$$Coe\text{f}_{norm.} = \frac{Coe\text{f} - Coe\text{f}_{min}}{Coe\text{f}_{max} - Coe\text{f}_{min}} \quad [-]$$

Conocidos los valores de lluvia batiente I y presión eólica P . eólica para un determinado periodo de retorno en cada emplazamiento y conocido el valor máximo y mínimo de ambas magnitudes que se produce en uno de los emplazamientos españoles para ese mismo periodo de retorno, es posible estimar los coeficientes normalizados asociados a cada emplazamiento, sin más que ponderar respecto al valor máximo y mínimo de cada categoría.

$$Coef_{norm. lluvia batiente} = \frac{I - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad [-]$$

$$Coef_{norm. presión eólica} = \frac{P. eólica - P. eólica_{min}}{P. eólica_{max} - P. eólica_{min}} \quad [-]$$

El peso específico de cada factor normalizado en el riesgo de penetración de agua a través del cerramiento, dependerá de las condiciones de los materiales empleados, calidad de puesta en obra, estado de conservación..., por lo que no puede establecerse una ponderación general para todos los casos.

Siguiendo el criterio marcado por otros índices similares como el MI, se ponderan ambos efectos en la misma medida, dando como resultado un índice de penetración promedio de gran sencillez, caracterizador del riesgo de penetración de agua en unas condiciones “tipo” intermedias:

$$Indice de penetración = \sqrt{Coef_{norm. lluvia batiente}^2 + Coef_{norm. viento}^2}$$

En cualquier caso, el indicador planteado permite estimar comparativamente el riesgo de penetración de agua entre dos emplazamientos, de forma única y objetiva.

Esta caracterización variará no obstante según el tiempo de duración de la exposición. Por ello se definen tres índices independientes, asociados a periodos de exposición diferentes:

- Penetración de agua asociada a periodos absolutos de humedecimiento según adaptación escalar al estándar ISO:

$$I.P. I_{AS} = \sqrt{Coef_{norm. I_{SAS}}^2 + Coef_{norm. viento ab.}^2}$$

- Penetración de agua asociada a periodos de humedecimiento definidos por jornadas de lluvia ininterrumpida:

$$I.P. I_{Sii} = \sqrt{Coef_{norm. I_{Sii}}^2 + Coef_{norm. viento ii}^2}$$

- Penetración de agua asociada a un día de precipitación sobre el cerramiento:

$$I.P. I_D = \sqrt{Coef_{norm. I_D}^2 + Coef_{norm. viento diario}^2}$$

Para el cálculo de estos índices de penetración se ha utilizado un periodo de retorno de 3 años en todo caso, asumiendo que los resultados serán sensiblemente similares a los obtenidos si son empleados otros periodos de retorno.

Tabla IV.7.- Coeficientes adimensionales normalizados a partir de la exposición I_{AS} y la presión eólica simultánea a la misma, obtenidos para la estimación de un índice de solicitación frente a la penetración de agua. TR = 3 años.

Emplazamiento	Coef. Lluvia batiente	Coef. Presión eólica	Índice de penetración
A Coruña aeropuerto	0,50	0,14	0,52
A Coruña	0,41	0,14	0,43
Santiago aeropuerto	1,00	0,17	1,01
Vitoria aeropuerto	0,18	0,10	0,20
Albacete (Los Llanos)	0,10	0,35	0,37
Alicante aeropuerto	0,09	0,19	0,21
Alicante	0,06	0,09	0,11
Almería aeropuerto	0,08	0,33	0,34
Asturias aeropuerto	0,38	0,12	0,40
Oviedo	0,26	0,12	0,28
Ávila	0,11	0,11	0,15
Badajoz aeropuerto	0,16	0,14	0,22
Barcelona aeropuerto	0,18	0,17	0,25
Burgos (Villafraía)	0,25	0,22	0,33
Cáceres	0,23	0,15	0,28
Cádiz	0,31	0,30	0,43
Jerez aeropuerto	0,33	0,24	0,41
Tarifa	0,54	0,67	0,86
Santander aeropuerto	0,47	0,19	0,51
Santander	0,43	0,16	0,46
Castellón de la Plana	0,11	0,12	0,16
Ciudad Real	0,10	0,09	0,13
Córdoba aeropuerto	0,23	0,16	0,28
Cuenca	0,09	0,09	0,13
Girona aeropuerto	0,12	0,09	0,15
Granada aeropuerto	0,08	0,09	0,12
Granada base aérea	0,09	0,12	0,15
Molina de Aragón	0,09	0,12	0,15
San Sebastián aeropuerto	0,42	0,08	0,43
San Sebastián (Igueldo)	0,65	0,25	0,70
Huelva	0,19	0,14	0,23
Huesca aeropuerto	0,12	0,34	0,36
Ibiza aeropuerto	0,12	0,24	0,27
Menorca aeropuerto	0,20	0,27	0,33
Palma aeropuerto	0,11	0,21	0,24
Palma puerto	0,07	0,09	0,11
Jaén	0,14	0,10	0,17
Logroño aeropuerto	0,08	0,18	0,20
Fuerteventura aeropuerto	0,08	0,23	0,25
Lanzarote aeropuerto	0,08	0,23	0,24
Las Palmas aeropuerto	0,09	0,37	0,38
León aeropuerto	0,14	0,17	0,22
Ponferrada	0,11	0,07	0,13
Lérida	0,05	0,09	0,10
Madrid aeropuerto	0,10	0,19	0,21
Madrid (Cuatro Vientos)	0,12	0,15	0,19
Madrid (Getafe)	0,12	0,21	0,25
Madrid	0,09	0,12	0,15
Madrid (Torrejón)	0,09	0,13	0,16
Puerto de Navacerrada	0,63	0,15	0,65
Málaga aeropuerto	0,18	0,15	0,23

Melilla	0,15	0,24	0,28
Murcia (Alcantarilla)	0,05	0,10	0,11
San Javier aeropuerto	0,15	0,29	0,33
Pamplona aeropuerto	0,16	0,17	0,23
Pontevedra	0,39	0,05	0,40
Vigo aeropuerto	0,69	0,09	0,70
Salamanca aeropuerto	0,14	0,24	0,28
Salamanca	0,11	0,12	0,16
Segovia	0,10	0,12	0,15
Morón de la frontera	0,28	0,23	0,36
Sevilla aeropuerto	0,25	0,15	0,29
Soria	0,13	0,18	0,22
Hierro aeropuerto	0,14	0,33	0,35
Izaña	0,83	1,00	1,30
La Palma aeropuerto	0,24	0,45	0,51
Sta. Cruz de Tenerife	0,09	0,13	0,16
Tenerife norte aeropuerto	0,28	0,26	0,39
Tenerife sur aeropuerto	0,09	0,25	0,26
Reus aeropuerto	0,11	0,25	0,27
Tortosa	0,09	0,14	0,17
Toledo	0,08	0,14	0,16
Valencia aeropuerto	0,13	0,30	0,33
Valencia	0,10	0,10	0,14
Valladolid (Villanubla)	0,18	0,23	0,29
Valladolid	0,09	0,10	0,14
Bilbao aeropuerto	0,37	0,16	0,40
Zamora	0,10	0,09	0,13
Daroca	0,04	0,06	0,07
Zaragoza aeropuerto	0,07	0,29	0,30

Tabla IV.8.- Coeficientes adimensionales normalizados a partir de la exposición $I_{s,ii}$ y la presión eólica simultánea a la misma, obtenidos para la estimación de un índice de sollicitación frente a la penetración de agua. TR = 3 años.

Emplazamiento	Coef. Lluvia batiente	Coef. Presión eólica	Índice de penetración
A Coruña aeropuerto	0,39	0,19	0,43
A Coruña	0,33	0,18	0,37
Santiago aeropuerto	1,00	0,20	1,02
Vitoria aeropuerto	0,16	0,15	0,22
Albacete (Los Llanos)	0,11	0,45	0,47
Alicante aeropuerto	0,12	0,23	0,26
Alicante	0,08	0,10	0,13
Almería aeropuerto	0,11	0,31	0,33
Asturias aeropuerto	0,30	0,22	0,37
Oviedo	0,23	0,23	0,33
Ávila	0,10	0,13	0,16
Badajoz aeropuerto	0,17	0,17	0,25
Barcelona aeropuerto	0,22	0,22	0,32
Burgos (Villafría)	0,21	0,33	0,39
Cáceres	0,23	0,20	0,30
Cádiz	0,31	0,44	0,54
Jerez aeropuerto	0,36	0,27	0,45
Tarifa	0,55	0,83	0,99
Santander aeropuerto	0,43	0,38	0,57

Santander	0,40	0,28	0,49
Castellón de la Plana	0,14	0,13	0,19
Ciudad Real	0,10	0,14	0,17
Córdoba aeropuerto	0,26	0,18	0,32
Cuenca	0,10	0,12	0,16
Girona aeropuerto	0,16	0,12	0,20
Granada aeropuerto	0,08	0,09	0,12
Granada base aérea	0,10	0,14	0,17
Molina de Aragón	0,08	0,16	0,18
San Sebastián aeropuerto	0,35	0,14	0,38
San Sebastián (Igueldo)	0,57	0,49	0,75
Huelva	0,19	0,15	0,24
Huesca aeropuerto	0,13	0,35	0,38
Ibiza aeropuerto	0,16	0,27	0,31
Menorca aeropuerto	0,21	0,31	0,38
Palma aeropuerto	0,13	0,24	0,27
Palma puerto	0,08	0,11	0,13
Jaén	0,18	0,12	0,22
Logroño aeropuerto	0,08	0,26	0,27
Fuerteventura aeropuerto	0,11	0,22	0,25
Lanzarote aeropuerto	0,12	0,24	0,26
Las Palmas aeropuerto	0,11	0,35	0,36
León aeropuerto	0,13	0,19	0,23
Ponferrada	0,11	0,09	0,15
Lérida	0,05	0,09	0,10
Madrid aeropuerto	0,12	0,23	0,25
Madrid (Cuatro Vientos)	0,13	0,18	0,23
Madrid (Getafe)	0,12	0,26	0,29
Madrid	0,09	0,14	0,17
Madrid (Torrejón)	0,09	0,16	0,18
Puerto de Navacerrada	0,55	0,20	0,59
Málaga aeropuerto	0,22	0,18	0,28
Melilla	0,18	0,24	0,30
Murcia (Alcantarilla)	0,07	0,11	0,13
San Javier aeropuerto	0,21	0,31	0,37
Pamplona aeropuerto	0,14	0,21	0,25
Pontevedra	0,39	0,06	0,40
Vigo aeropuerto	0,72	0,12	0,73
Salamanca aeropuerto	0,14	0,33	0,36
Salamanca	0,11	0,15	0,19
Segovia	0,08	0,16	0,18
Morón de la frontera	0,32	0,28	0,42
Sevilla aeropuerto	0,28	0,18	0,34
Soria	0,12	0,19	0,23
Hierro aeropuerto	0,18	0,35	0,39
Izaña	0,86	1,00	1,32
La Palma aeropuerto	0,29	0,43	0,52
Sta. Cruz de Tenerife	0,11	0,14	0,18
Tenerife norte aeropuerto	0,32	0,28	0,43
Tenerife sur aeropuerto	0,11	0,24	0,27
Reus aeropuerto	0,14	0,27	0,30
Tortosa	0,11	0,13	0,18
Toledo	0,09	0,19	0,21
Valencia aeropuerto	0,17	0,31	0,35
Valencia	0,13	0,11	0,17
Valladolid (Villanubla)	0,17	0,31	0,35
Valladolid	0,08	0,14	0,16

Bilbao aeropuerto	0,35	0,24	0,43
Zamora	0,09	0,11	0,15
Daroca	0,04	0,10	0,11
Zaragoza aeropuerto	0,09	0,30	0,31

Tabla IV.9.- Coeficientes adimensionales normalizados a partir de la exposición I_D y la presión eólica simultánea a la misma, obtenidos para la estimación de un índice de sollicitación frente a la penetración de agua. TR = 3 años.

Emplazamiento	Coef. Lluvia batiente	Coef. Presión eólica	Índice de penetración
A Coruña aeropuerto	0,21	0,26	0,33
A Coruña	0,17	0,30	0,35
Santiago aeropuerto	0,45	0,33	0,56
Vitoria aeropuerto	0,12	0,19	0,23
Albacete (Los Llanos)	0,13	0,41	0,43
Alicante aeropuerto	0,13	0,20	0,23
Alicante	0,09	0,09	0,13
Almería aeropuerto	0,15	0,25	0,29
Asturias aeropuerto	0,23	0,30	0,38
Oviedo	0,17	0,31	0,36
Ávila	0,09	0,13	0,15
Badajoz aeropuerto	0,12	0,19	0,22
Barcelona aeropuerto	0,24	0,22	0,33
Burgos (Villafraía)	0,15	0,36	0,39
Cáceres	0,15	0,23	0,28
Cádiz	0,28	0,40	0,49
Jerez aeropuerto	0,26	0,27	0,38
Tarifa	0,39	0,79	0,88
Santander aeropuerto	0,28	0,41	0,50
Santander	0,26	0,35	0,44
Castellón de la Plana	0,16	0,14	0,21
Ciudad Real	0,08	0,16	0,17
Córdoba aeropuerto	0,19	0,27	0,33
Cuenca	0,09	0,15	0,17
Girona aeropuerto	0,17	0,13	0,21
Granada aeropuerto	0,08	0,13	0,15
Granada base aérea	0,10	0,15	0,18
Molina de Aragón	0,08	0,15	0,17
San Sebastián aeropuerto	0,21	0,18	0,27
San Sebastián (Igueldo)	0,34	0,52	0,63
Huelva	0,17	0,17	0,24
Huesca aeropuerto	0,15	0,30	0,34
Ibiza aeropuerto	0,20	0,23	0,31
Menorca aeropuerto	0,22	0,32	0,39
Palma aeropuerto	0,14	0,22	0,26
Palma puerto	0,09	0,10	0,13
Jaén	0,16	0,16	0,22
Logroño aeropuerto	0,09	0,23	0,24
Fuerteventura aeropuerto	0,13	0,21	0,25
Lanzarote aeropuerto	0,11	0,23	0,25
Las Palmas aeropuerto	0,12	0,28	0,31
León aeropuerto	0,09	0,21	0,23
Ponferrada	0,08	0,15	0,17
Lérida	0,07	0,10	0,12

Madrid aeropuerto	0,09	0,21	0,23
Madrid (Cuatro Vientos)	0,10	0,19	0,21
Madrid (Getafe)	0,10	0,26	0,28
Madrid	0,08	0,15	0,17
Madrid (Torrejón)	0,08	0,15	0,17
Puerto de Navacerrada	0,38	0,27	0,47
Málaga aeropuerto	0,21	0,17	0,27
Melilla	0,21	0,23	0,31
Murcia (Alcantarilla)	0,10	0,10	0,14
San Javier aeropuerto	0,24	0,29	0,38
Pamplona aeropuerto	0,14	0,23	0,27
Pontevedra	0,19	0,15	0,24
Vigo aeropuerto	0,35	0,20	0,41
Salamanca aeropuerto	0,11	0,32	0,34
Salamanca	0,09	0,19	0,21
Segovia	0,08	0,18	0,20
Morón de la frontera	0,27	0,28	0,39
Sevilla aeropuerto	0,22	0,22	0,31
Soria	0,09	0,22	0,24
Hierro aeropuerto	0,20	0,31	0,37
Izaña	1,00	1,00	1,41
La Palma aeropuerto	0,32	0,37	0,49
Sta. Cruz de Tenerife	0,11	0,15	0,18
Tenerife norte aeropuerto	0,27	0,29	0,40
Tenerife sur aeropuerto	0,13	0,22	0,26
Reus aeropuerto	0,16	0,23	0,28
Tortosa	0,11	0,17	0,20
Toledo	0,09	0,18	0,20
Valencia aeropuerto	0,19	0,26	0,33
Valencia	0,15	0,10	0,18
Valladolid (Villanubla)	0,13	0,31	0,34
Valladolid	0,06	0,15	0,16
Bilbao aeropuerto	0,24	0,33	0,41
Zamora	0,07	0,11	0,13
Daroca	0,04	0,10	0,11
Zaragoza aeropuerto	0,11	0,29	0,31

De los resultados obtenidos para este riesgo de penetración, se observa como la posición costera o cercana a la costa de muchas de las estaciones meteorológica condiciona la presencia de elevados riesgos de penetración de agua, más acusados si las mismas se ubican en la costa atlántica (norte del país, Golfo de Cádiz y Comunidad Canaria).

Así, se observa cómo el 90% de los emplazamientos de mayor índice de penetración se encuentran en estas áreas.

En general Santiago de Compostela, Tarifa, San Sebastián y Vigo, constituyen con diferencia los emplazamientos más solicitados, seguidos por La Coruña, Santander, Cádiz y La Palma de Gran Canaria, lo que viene a ratificar la anterior afirmación.

Será por lo tanto en estos emplazamientos, donde deberán preverse condiciones especiales para el diseño de los cerramientos, que impidan la ocurrencia de síndromes en la edificación relacionados con la penetración inadecuada de agua en los cerramientos verticales. Así por ejemplo sería recomendable asignar por ejemplo, un mayor grado de impermeabilidad necesario a las soluciones en esa zona, o exigir la superación de

condiciones más severas en los ensayos de estanqueidad realizados sobre las soluciones constructivas a disponer en estas regiones.

Del mismo modo se observa que a pesar de que no existe ningún tipo de relación lineal entre la altura de la estación y la exposición o solicitación por penetración de agua, una elevada altura condiciona puntualmente relevantes valores en ambos casos, como sucede en Izaña (2.371 m) o el Puerto de Navacerrada (1.894 m).

Entre las zonas de menor índice de penetración se encuentran zonas del interior del país y de la costa mediterránea (regiones de Aragón y Castilla y León, Valencia, Murcia, Madrid...).

No obstante, se ha detectado en algunos puntos concretos del interior, que este indicador es también elevado, respondiendo a la presencia de condiciones climáticas particulares y localizadas que incrementan tanto la lluvia batiente como la presión eólica sobre el cerramiento (Burgos/Villafría, Albacete/Los Llanos, Huesca...).

Este índice presentado constituye por lo tanto una alternativa inequívoca para caracterizar en base a un único parámetro el riesgo de penetración de agua en el cerramiento, que por lo tanto puede sustituir la caracterización compuesta establecida por el Código Técnico de la Edificación a través de sus figuras 2.4 y 2.5.

El establecimiento del grado de impermeabilidad definido por el CTE en base al valor de este indicador de riesgo, en lugar de la caracterización actual, permitiría establecer la exposición y asociar en consecuencia las soluciones aceptadas, sin incurrir en las incongruencias y subjetividades identificadas en el capítulo III.

Del mismo modo, el índice de riesgo integrado puede modularse a conveniencia del ente legislador, priorizando uno de los aspectos considerados en el índice sobre el otro, en relación a un criterio razonable.

En cualquier caso, todas las estimaciones de la exposición aportadas por este capítulo, quedan huérfanas si a partir de las mismas no es posible definir de forma científica y rigurosa el diseño de cerramiento necesario para soportarlas. Es en este punto donde todas las normativas internacionales analizadas muestran sus mayores carencias (véase el capítulo III), recurriendo a soluciones aceptadas elegidas subjetivamente y en base a la experiencia constructiva previa.

En este capítulo, la parametrización de la exposición en nuestro país ha igualado a los estudios realizados en otros ámbitos internacionales, si bien, a lo largo del siguiente capítulo, se determinará además los procedimientos para relacionar dicha exposición con el diseño óptimo del cerramiento, tarea que ninguna normativa internacional ha abordado todavía con éxito.

Se presentan a continuación gráficamente las tablas anteriores, ordenando los índices integrados de riesgo de penetración de agua a través del cerramiento en un orden decreciente:

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

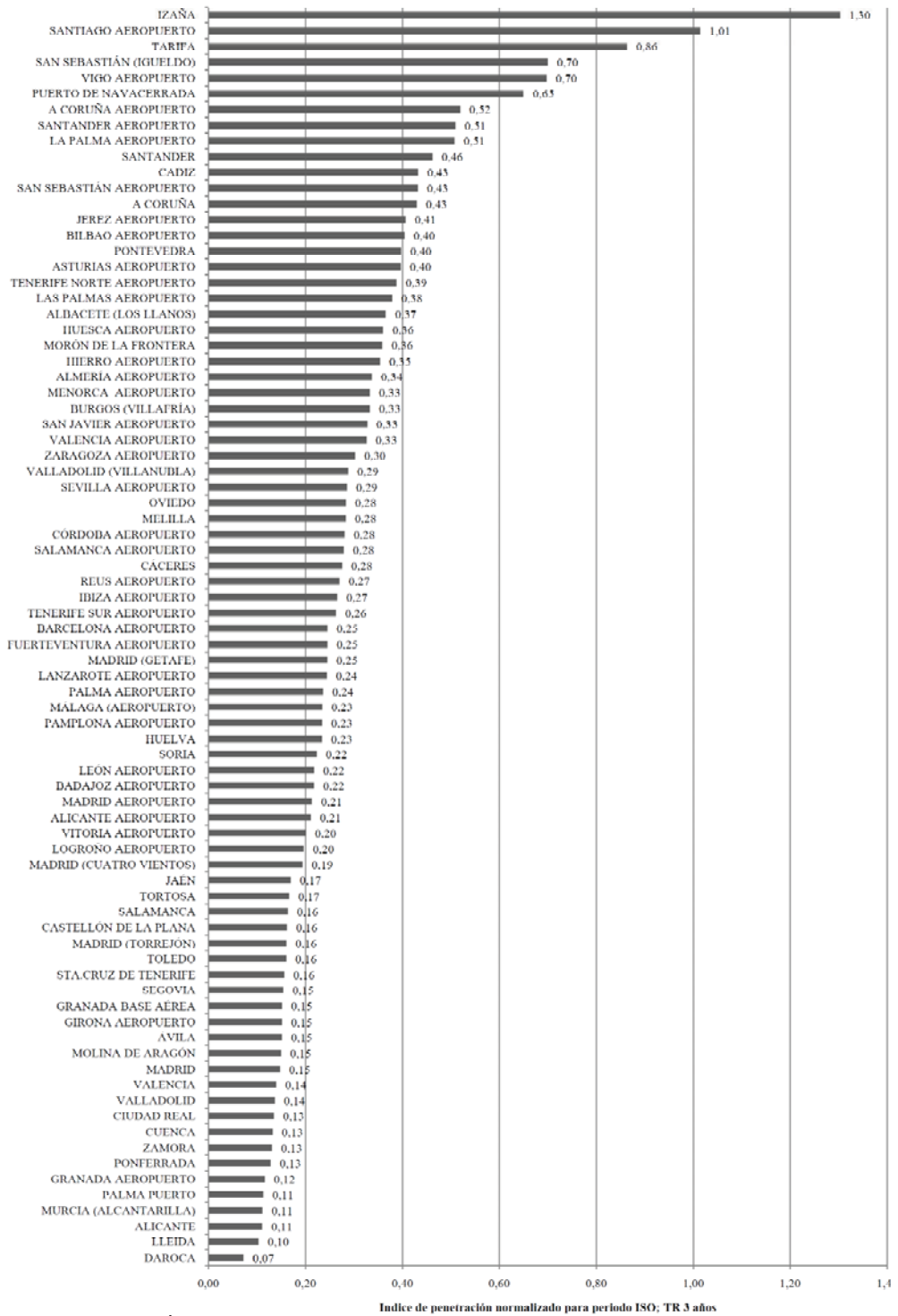


Figura IV.88.- Índice normalizado de penetración para periodos absolutos (TR de 3 años).

IV. Parametrización de la exposición a la humedad en cerramientos verticales

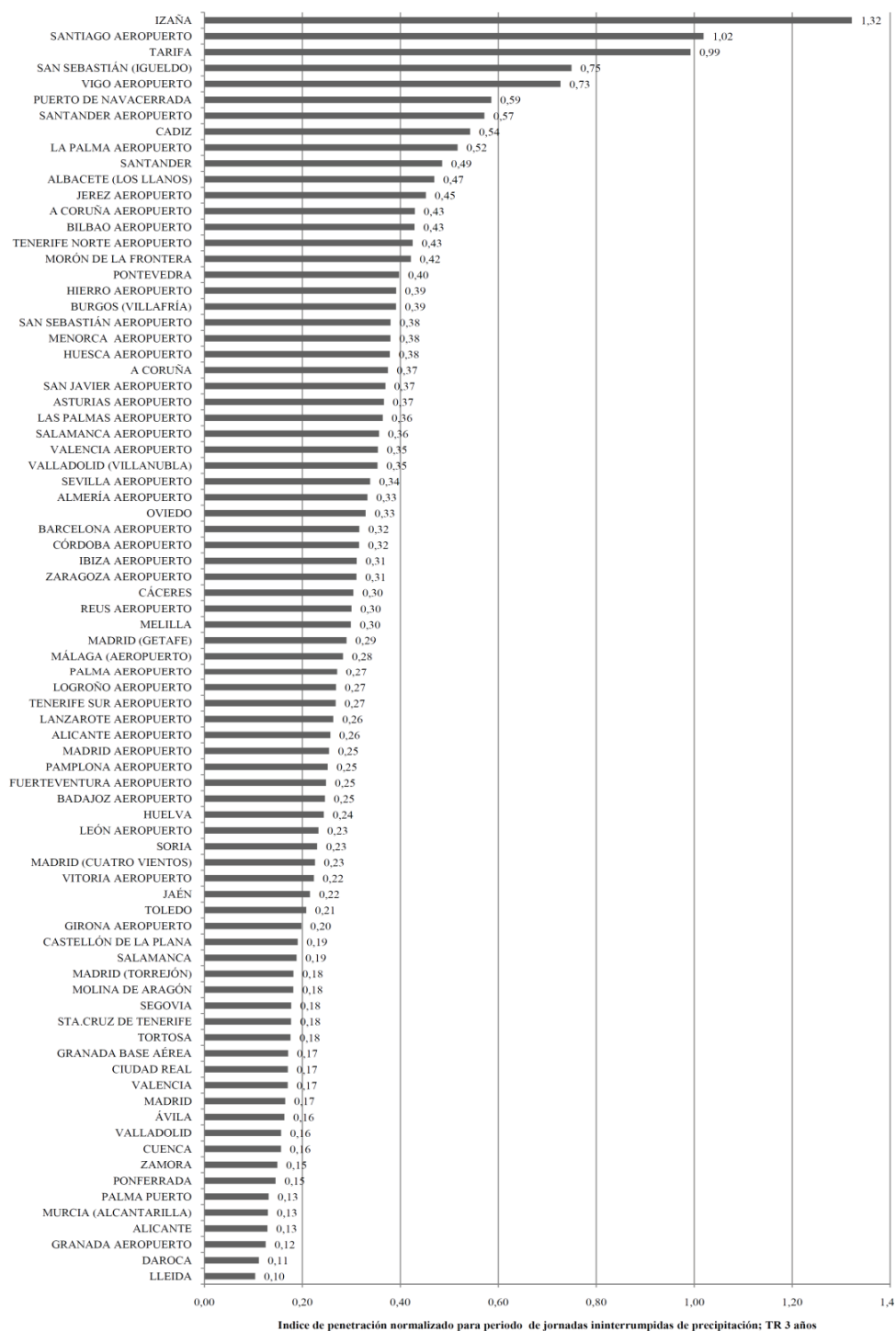


Figura IV.89.- Índice normalizado de penetración para periodos de lluvia ininterrumpida (TR de 3 años).

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

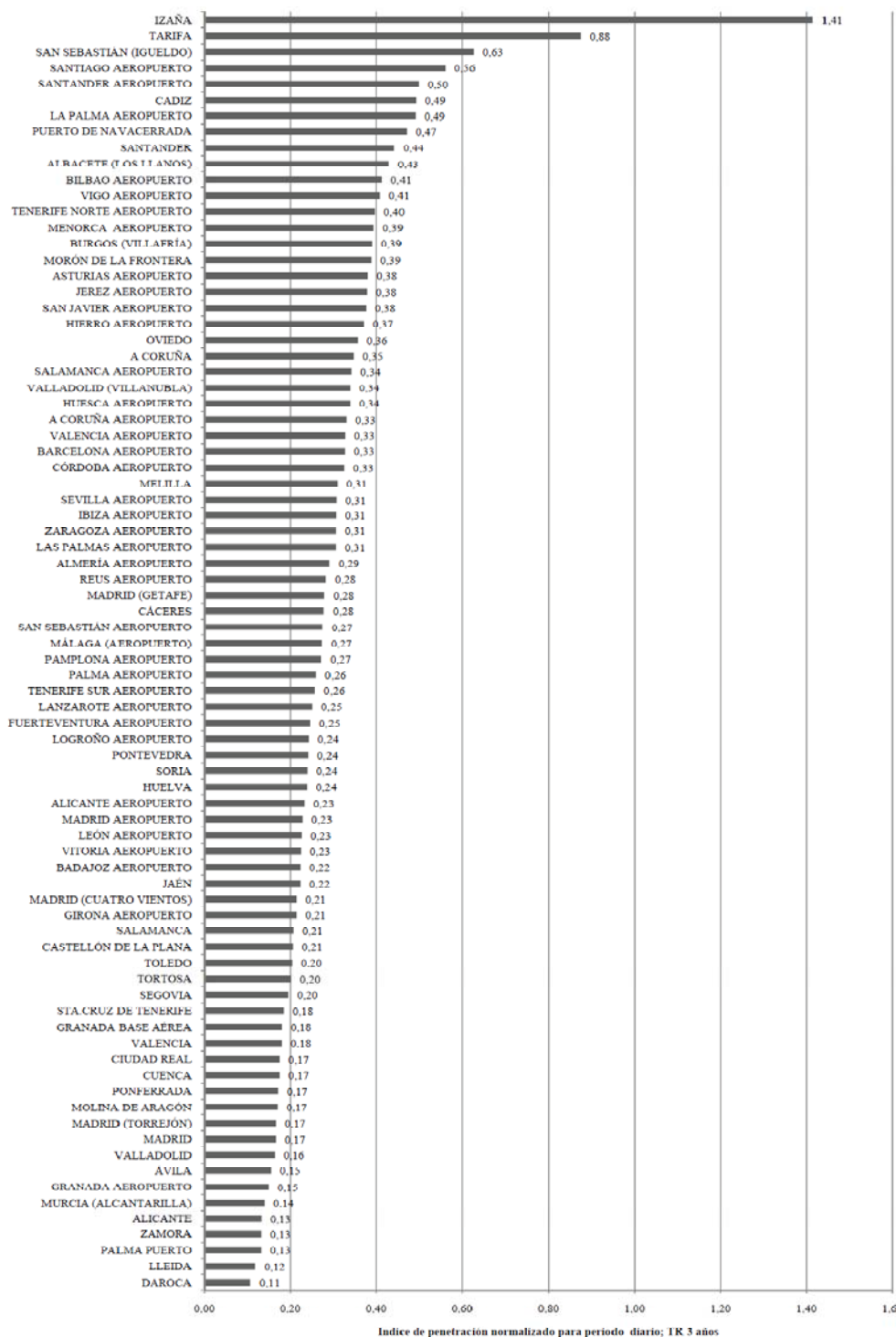


Figura IV.90.- Índice normalizado de penetración diaria (TR de 3 años).

IV.6.- COMENTARIO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Partiendo de datos climáticos diarios facilitados por la Agencia Estatal de meteorología, a lo largo de este capítulo se han determinado diferentes indicadores de la exposición a la humedad, evaluando los factores que influyen en la severidad de dicha exposición.

Así, ha sido posible aportar para más de 80 emplazamientos españoles, una cuantificación de la lluvia batiente recibida sobre los cerramientos, de la presión eólica incidente sobre los mismos de forma simultánea a la precipitación y de la duración en el tiempo de los procesos de humedecimiento del cerramiento.

Esta información ha sido tratada estadísticamente ofreciendo resultados que permiten estimar el valor máximo de dichos parámetros para diferentes periodos de retorno que se han fijado en 3, 10, 30 y 50 años.

Los parámetros obtenidos se han asociado igualmente a diferentes duraciones de la exposición, definidas por intervalos anuales de exposición, intervalos diarios, intervalos definidos por series ininterrumpidas de días con precipitación e intervalos definidos por series de días con precipitación solo interrumpidas por la ocurrencia de al menos cuatro días carentes de precipitación alguna.

Cada uno de estos intervalos de exposición se relaciona con una caracterización concreta para la evaluación de la exposición de los cerramientos:

- La exposición en el intervalo anual caracteriza las condiciones de humedecimiento a largo plazo a las que se verá sometido el cerramiento.
- La exposición en un intervalo diario caracteriza las condiciones de humedecimiento puntual más intensas, que pueden darse en cerramientos ligeros de muy baja capacidad de almacenamiento de agua y rápido secado y que definen el mayor riesgo puntual de penetración de agua a través del cerramiento.
- La exposición en un intervalo de días ininterrumpidos con precipitación, caracteriza las condiciones de humedecimiento puntuales más intensas que pueden darse en cerramientos ligeros de moderada capacidad de almacenamiento de agua y secado relativamente rápido, que definen el mayor riesgo puntual de penetración de agua a través del cerramiento.
- La exposición en un intervalo de días solo interrumpido por la ocurrencia de al menos cuatro días sin precipitación, caracteriza las condiciones de humedecimiento puntuales más intensas que pueden darse en cerramientos de albañilería, con elevada capacidad de almacenamiento de agua y secado lento, que definen el mayor riesgo puntual de penetración de agua a través del cerramiento.

Además de la lluvia batiente máxima que se espera registrar en cada uno de estos intervalos de exposición para un determinado periodo de retorno, en cada uno de los 80 emplazamientos españoles analizados, esta información se complementa con el valor máximo de presión eólica y de duración en días del periodo correspondiente.

Todo ello permite ofrecer una visión global y detallada de las condiciones de exposición a las que se enfrentan los cerramientos verticales de nuestro país, sentando las

bases para definir una sollicitación prestacional de mayor rigor científico y técnico, así como de mayor coherencia que la actualmente utilizada en el Código Técnico de la Edificación DB-HS1.

Constituye por lo tanto un exhaustivo análisis de magnitudes climáticas de exposición no se ha realizado con anterioridad en nuestro país y que posibilita un gran número de estudios e investigaciones posteriores en la materia, al aportar una información más detallada, amplia y precisa que la habitualmente disponible en otros países.

La metodología planteada para determinar estos parámetros de exposición, permite igualmente la actualización progresiva de los resultados añadiendo datos climáticos al cálculo según estos vayan registrándose en las estaciones meteorológicas españolas.

La utilización de datos más recientes y referidos a una mayor serie temporal, permitirá optimizar la representatividad del método y la fiabilidad de los resultados obtenidos. A este respecto este estudio contiene datos recopilados en la serie anual comprendida entre 1962-2011 y que por lo tanto concluye en el año de presentación de este documento.

La disponibilidad en el futuro de series de datos climáticos suficientemente antiguas y representativas, relativas a registros atmosféricos horarios y diezminutales, permitirá incrementar la precisión del cálculo presentado, obteniendo resultados de mayor precisión. Mientras tanto, el trabajo que aquí se presenta ha de contribuir decisivamente a establecer en el marco normativo español una estimación de la sollicitación por humedad en cerramientos precisa, objetiva, rigurosa y científica.

Para su ágil utilización, los resultados obtenidos se han presentado en forma de fichas que recopilan todos los parámetros de exposición analizados en cada una de las estaciones meteorológicas objeto de estudio. Dichas fichas se han incluido en el anejo A.1 de este trabajo.

Paralelamente, cada uno de los parámetros se ha representado gráficamente en un mapa generado mediante un sistema de información geográfica, de tal forma que la comparación de cualquier magnitud en diferentes emplazamientos de nuestro país puede hacerse de forma rápida y funcional. Dichos mapas se han adjunto al presenta trabajo en el anejo A.2.

Aunque para la definición de dichos parámetros de exposición se ha partido de las magnitudes definidas por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, la única disponibilidad de datos climáticos diarios con suficiente antigüedad y representatividad en nuestro país, ha obligado a redefinir estas magnitudes, desarrollando nuevas formulaciones y conceptos de utilidad también en otros ámbitos internacionales.

Las magnitudes definidas y resultados obtenidos, se han validado no obstante en relación a los resultados obtenidos aplicando estrictamente la norma UNE-EN ISO 15927-3:2001. Esta validación ha demostrado la utilidad de los parámetros analizados para caracterizar con precisión de forma comparativa entre diferentes emplazamientos, la exposición frente a la humedad.

A este respecto se han definido igualmente los ajustes matemáticos que permiten, una vez obtenidos los resultados aportados por este trabajo, extrapolar inmediatamente los resultados que se hubieran obtenido de disponer de mediciones climáticas horarias y haber aplicado estrictamente la norma UNE.

En esa línea de trabajo orientada a garantizar una mayor precisión y alcance de los resultados obtenidos, se han presentado metodologías para:

- Obtener valores locales de exposición a la humedad, asociados a un edificio concreto definido por una altura, topografía circundante, entorno y forma de cerramientos característica y definida.
- Obtener valores de exposición a la humedad diferenciados para cada posible orientación del cerramiento en cada emplazamiento, utilizando para ello registros climáticos sinópticos habitualmente disponibles en un número suficientemente representativo de emplazamientos.
- Obtener valores de exposición a la humedad en emplazamientos en los que no se dispone de datos diarios, utilizando para ello registros promedio mensuales o anuales, utilizando para ello diferentes ajustes matemáticos obtener una precisión en el resultado similar a la obtenida mediante el uso de datos diarios.

Aunque corresponde al ante legislador valorar en su justa medida, en base a un criterio definido, la respectiva influencia de los parámetros mostrados (lluvia batiente sobre el cerramiento, presión eólica simultánea y duración de la exposición) en la penetración de agua a través del cerramiento, se ha presentado igualmente una primera aproximación que cuantifica con la misma importancia la cantidad de agua aportada y la presión eólica sobre el cerramiento en ese proceso de penetración.

Así, los índices integrados de riesgo de penetración de agua presentados, constituyen un primer ejemplo de adaptación de los resultados de exposición obtenidos para su empleo a nivel normativo, al permitir definir grados de impermeabilidad necesarios en las soluciones constructivas de forma rigurosa y objetiva a partir de un único índice, basado en el conocimiento de las condiciones reales de exposición frente a la humedad que se dan en cada emplazamiento.

La ampliación de los resultados presentados en este capítulo, a un mayor número de emplazamientos y su obtención con una mayor precisión, constituyen una línea de trabajo abordada en la actualidad en el Área de Ingeniería de la Construcción de la Universidad de Zaragoza.

Si nos centramos en el análisis concreto de los parámetros obtenidos en nuestro país, puede observarse una mayor exposición a la humedad de los cerramientos concentrada fundamentalmente en la costa atlántica del norte del país y en una zona más amplia en la costa y el interior de Golfo de Cádiz. Algunas zonas concretas de Castilla y León, como Burgos también presentan solicitaciones especialmente fuertes.

A este respecto, la mayor solicitación analizada se sitúa en Santiago de Compostela, con valores de humedecimiento a largo plazo que no se dan en ningún otro

punto del país. Este hecho se relaciona directamente con la presencia de un mayor contenido medio de humedad en los cerramientos y en consecuencia, una mayor incidencia de lesiones por parte de la humedad en los edificios de estas áreas geográficas.

La exposición en estos emplazamientos puede considerarse comparable e incluso superior a la existente en localizaciones tradicionalmente consideradas sometidas a climatologías especialmente húmedas, como son Irlanda y Reino Unido, por lo que medidas frente a la humedad implantadas en estos países no deben ser descartadas para su utilización en España. Esta comparación, no podría haberse realizado sin los incididos aportados por este trabajo de investigación.

En referencia a la solicitación a corto plazo, a los anteriores emplazamientos se suman diversas localizaciones de la costa mediterránea del país y de los archipiélagos canario y balear. Este hecho se relaciona directamente con la mayor posibilidad de penetración de agua a través de los cerramientos en estas áreas geográficas como consecuencia de breves e intensas descargas de agua acompañadas por presión eólica.

En general, salvo zonas de montaña y puntos concretos de Castilla y León, todo el interior peninsular puede considerarse relativamente poco expuesto a la humedad a largo plazo en sus cerramientos, con valores perfectamente equiparables a los identificados en otras climatologías mediterráneas secas como Grecia o Turquía.

En relación a la solicitación a corto plazo, tampoco estos emplazamientos del interior se caracterizan por una elevada exposición a corto plazo, si bien existen localizaciones concretas donde el riesgo de penetración de agua como consecuencia de fuertes descargas puntuales no debe ser desdeñado.

Daroca, Lérida y Toledo, por este orden, pueden considerarse los emplazamientos cuyas fachadas se encuentran más protegidas frente a la exposición a la humedad, y por lo tanto, deberían ser regiones para las que se definiera una mejor exigencia en el diseño de los cerramientos o lo que es lo mismo, un menor grado de impermeabilidad necesario en sus soluciones aceptadas.

En relación a las presiones eólicas sobre el cerramiento, es destacable su incidencia en la costa norte atlántica y en zonas del noreste de Cataluña, siendo sensiblemente inferior en el resto de nuestro país. Se aprecia igualmente una elevada presión eólica en puntos de montaña en cualquier punto del país como sucede en Navacerrada e Izaña.

Ha de recordarse que el dato de presión eólica obtenido por este trabajo, no hace referencia a la presión eólica anual que se caracteriza actualmente en la figura 2.5 del DB-HS1, sino a la presión eólica simultánea a los eventos de precipitación. Es por ello que los resultados obtenidos, en nada se parecen a los recogidos en el CTE (que no son representativos de un parámetro relevante para la caracterización del riesgo de penetración de agua).

Vigo y San Sebastián presentan las presiones eólicas simultáneas a la precipitación más importantes, mientras que las islas Canarias, Almería y Zaragoza, presentan los valores más bajos.

El anterior aspecto se refrenda, dado que Zaragoza, habitualmente caracterizada por presiones eólica muy elevadas como consecuencia del denominado “cierzo”, presenta presiones eólicas simultáneas a lluvia 6 veces inferiores a las de Vigo y casi un 50%

inferiores a las registradas en un emplazamiento no caracterizado por fuertes vientos, como es Cuenca.

Por último, en relación a la duración de los periodos de humedecimiento sobre los cerramientos de nuestro país, se observa una mayor homogeneidad que en los otros dos aspectos analizados. Así, aunque los periodos de mayor duración se dan de nuevo en la costa norte y noroeste del país, por la presencia de un tipo de precipitación uniforme, continua y distribuida en el tiempo, también se detectan duraciones equiparables en toda la parte oeste del país.

Solo el levante español se encuentra caracterizado por periodos de humedecimiento sensiblemente más cortos, lo que indica la presencia de lluvias puntuales y producidas con importantes espaciamientos de tiempo entre ellas. Las islas Canarias, presentan igualmente una corta duración de los periodos de humedecimiento y por lo tanto de mantenimiento de la exigencia en sus cerramientos.

Todos los resultados obtenidos y metodologías planteadas, incrementan el campo de conocimiento en nuestro país en la materia, permitiendo plantear aplicaciones prácticas orientadas a la mejor prestación de los cerramientos verticales de nuestros edificios.

Dado su interés y formulación generalista, de los mismos pueden partir igualmente otras investigaciones específicas de interés tanto en el ámbito nacional como internacional, tal y como demuestran las publicaciones científicas derivadas de este trabajo.

Una de estas líneas de trabajo se relaciona con la caracterización de la prestación ofrecida por los cerramientos frente a las solicitudes de humedad detectadas, aspecto que se desarrolla en detalle a lo largo del capítulo V y que ofrecerá significativos aportes en el ámbito internacional en relación a la utilidad y funcionalidad de los actuales ensayos de estanqueidad para cerramientos.

IV.7.- BIBLIOGRAFÍA Y APÉNDICES

- AEMET. 2011. *Atlas climático ibérico. Iberian climate atlas*. Madrid, SPA: Ministerio de Medio Ambiente y medio rural y Marino. ISBN: 978-84-7837-079-5.
- AENOR UNE-EN ISO 15927-3:2011. *Comportamiento higrotérmico de edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 3: Cálculo de índice de lluvia para superficies verticales a partir de datos horarios de viento y de lluvia*.
- Blocken, B. Carmeliet, J. 2007. *On the errors associated with the use of hourly data in wind-driven rain calculations on building facades*. Atmospheric Environment 41(11): 2335-2343.
- Blocken, B. Carmeliet, J. 2008. *Guidelines for the required time resolution of meteorological input data for wind-driven rain calculations on buildings*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 96(5): 621-639.
- Catala, F. 1992. *Cálculo de Caudales en las redes de saneamiento*. Madrid, SPA: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Demarcación Centro. ISBN 84-600-7282-7.
- Chand, I. Bhargava, P.K. 2002. *Estimation of driving rain index for India*. Building and Environment, 37: 549-554.
- Choi, E.C.C. 1991. *Numerical simulation of wind-driven-rain falling onto a 2-D building*. In: Proceeding of Asia Pacific Conference on Computational Mechanics, Hong Kong (CHI): 1721-1728.
- Choi, E.C.C. 1993. *Simulation of wind-driven rain around a building*. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 46&47: 721-729.
- Choi, E.C.C. 1994a. *Determination of wind driven-rain intensity on building faces*. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 51(1):55-69.
- Choi, E.C.C. 1994b. *Parameters affecting the intensity of wind-driven rain on the front face of a building*. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 53(1-2):1-17.
- Cornick, S. Dalglish, W.A. Said, N. Djebbar, R. Tariku, F. Kumaran, M.K. 2002. *Report from task 4 of MEWS project*. Environmental conditions final report. IRC-RR-1130.
- Cornick, S. Dalglish, W.A. 2003. *A Moisture index to characterize climates for building envelope design*. Journal of Thermal Envelope & Building Science, 27 (2): 151-178.
- Cornick, S. Lacasse, M. 2005. *A review of climate loads relevant to assessing the watertightness performance of walls, windows and wall-window interfaces*. Journal of ASTM International, 2 (10): 1-16.
- España. 2006. *Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*.
- Giarna, C. Aravantinos, D. 2011. *Estimation of building components' exposure to moisture in Greece based on wind, rainfall and other climatic data*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic, 99: 91-102.
- Gumbel, E.J. 1958. *Statistics of extremes*. Columbia University Press, New York.
- Henriques, F.M.A. 1992. *Quantification of wind driven rain – An experimental approach*. Building Research and Information, 20: 295-297
- Hoppestad, S. 1955. *Slagregn i Norge*. Oslo, NOR: Norwegian Building Research Institute, rapport N. 13.
- Instituto Geográfico Nacional. 2011. *Atlas Nacional de España. Grupo 9. II Edición. Climatología*. <www2.ign.es/ane/ane1986-2008/> [Consulta: 04 de julio de 2011]

- Jelle, B.P. Lisø, K.R. 2003. *Driving rain – weather data and calculation methods*. Oslo, NOR: Norwegian Building Research Institute. Project Report 344.
- Kerr, D. 2004. *Keeping walls dry*. Parts 1 and 2. Canada Montage and Housing Corporation.
- Kumaran, M.K. Mukhopadhyaya, P. Cornick, S.M. Lacasse, M.A. Rousseau, M. Maref, W. Nofal, M. Quirt, J.D. Dalglish, W.A. 2003. *An Integrated methodology to develop moisture management strategies for exterior wall systems*. Vancouver, CAN: Proceedings of the 9th Canadian Conference on Building Science and Technology: 45-62.
- Lacy, R.E. Shellard, H.C. 1962. *An index of driving rain*. Meteorological Magazine, 91: 177-184.
- Pérez, J.M., Domínguez, J., Rodríguez, B., del Coz, J.J., Cano, E., 2012a. *Estimation of the exposure to driving rain in Spain from daily wind and rain data*. Building and Environment ‘in press’. (doi:10.1016/j.buildenv.2012.05.010)
- Pérez-Bella, J.M. Domínguez-Hernández, J. Rodríguez-Soria, B. Del Coz-Díaz, J.J. Cano-Suñén, E. 2012b. *Optimised method for estimating directional driving rain from synoptic observation data. Validation at four Spanish locations*. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics. Submitted for publication.
- Riosalido, R. 2009. *Un servicio meteorológico eficaz para España*. Ambienta. La revista del Ministerio de Medio Ambiente, 85: 11-20.
- Rydock, J.P. Gustavsen, A. 2007. *A look at driving rain spells at three cities in Great Britain*. Building and Environment, 42: 1386–1390.
- Rydock, J.P. Lisø, K.R. Eirik, B.D. Førlandc, J. Norea, K. Thue, J.V. 2005. *A driving rain exposure index for Norway*. Building and Environment, 40: 1450–1458.4
- Straube, J.F. Burnett E.F.P. 2000. *Simplified prediction of driving rain on buildings*. In: Proceedings of the International Building Physics Conference. Eindhoven, HOL: Eindhoven University of Technology.
- Sauer, P. 1987. *An annual driven rain index for China*. Building and Environment, 22: 239-240.
- Welsh, S. 2010. *Distribution of driving rain in Ireland*. Dublin, IRE: Climatological Note, 13.
- Wanielista, M. Kersten, R. Eaglin, R. 1997. *Hydrology and Water Quality Control*. New York, USA: Ed. Wiley. ISBN: 978-0-471-07259-1.
- WMO. 1996. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. Geneva, SWZ: World Meteorological Organization. No. 8. ISBN 978-92-63-100085.
- WMO, 2010. *Manual de Claves. Claves Internacional. Volumen I.1. Claves alfanuméricas*. Ginebra, SUI: Organización Meteorológica Mundial. ISBN 978-92-63-30306-6

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla IV.1	Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio de la solicitación por humedad. Fuente: AEMET, 2011.	Pág. IV.-8
Tabla IV.2	Proceso esquemático de cálculo mediante la distribución de Gumbel de la exposición a lluvia batiente asociada a periodos de humedecimiento absoluto I_{AS} para un periodo de retorno de 3 años.	Pág. IV.-34
Tabla IV.3	Caracterización de referencia obtenida en base a los datos de la estación 0076 del Aeropuerto de Barcelona, para TR igual a 30 años.	Pág. IV.-80
Tabla IV.4	Caracterización de referencia obtenida en base a los datos de la estación 0076 del Aeropuerto de Barcelona, para TR igual a 30 años.	Pág. IV.-81

Tabla IV.5	Caracterización de referencia, obtenida mediante datos de la estación 0076 del Aeropuerto de Barcelona, para TR=30 años. I_s , I_A y periodo, corresponden a valores asociados a la dirección de máxima exposición. El resto son valores escalares sobre el edificio.	Pág. IV.-82
Tabla IV.6	Diferentes posibilidades de estimación del grado de exposición aDRI, para las estaciones meteorológicas analizadas. Intervalos menores de medición (diarios) y la consideración de simultaneidad de viento y lluvia, proporcionan mayor precisión a la estimación de la solicitación.	Pág. IV.-97
Tabla IV.7	Coefficientes adimensionales normalizados a partir de la exposición I_{AS} y la presión eólica simultánea a la misma, obtenidos para la estimación de un índice de solicitación frente a la penetración de agua. TR = 3 años.	Pág. IV.-135
Tabla IV.8	Coefficientes adimensionales normalizados a partir de la exposición $I_{s_{ii}}$ y la presión eólica simultánea a la misma, obtenidos para la estimación de un índice de solicitación frente a la penetración de agua. TR = 3 años.	Pág. IV.-136
Tabla IV.9	Coefficientes adimensionales normalizados a partir de la exposición I_D y la presión eólica simultánea a la misma, obtenidos para la estimación de un índice de solicitación frente a la penetración de agua. TR = 3 años.	Pág. IV.-138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura IV.1	Distribución de estaciones en la red sinóptica de superficie de la AEMET, con una creciente predominancia y cobertura de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs). Hasta el año 2009, el número de EMAs alcanzaba 550, pasando a 700 solo dos años después. Fuente: Riosalido, 2009.	Pág. IV.-7
Figura IV.2	Mapas de exposición anual al agua de lluvia para cerramientos verticales correspondientes a Irlanda e India, expresado en m ² /s. Fuentes: Welsh, 2010; Chand y Bhargava, 2002; respectivamente.	Pág. IV.-25
Figura IV.3	Comparación del periodo de humedecimiento definido por la norma (izq.) y el considerado escalarmente (absoluto) según la definición propuesta para un mismo intervalo de tiempo teórico (der.).	Pág. IV.-30
Figura IV.4	Proceso de cálculo cuantitativo de la solicitación por humedad a partir de datos diarios, utilizado en este estudio.	Pág. IV.-38
Figura IV.5	Caracterización de la humedad relativa por estaciones climáticas, recogida por el Atlas Nacional de España y utilizada para el cálculo escalar cualitativo. Fuente: Instituto Geográfico Nacional y Ministerio de Fomento, 2011.	Pág. IV.-41/43
Figura IV.6	Comparación entre una serie cualitativa teórica obtenida mediante el procedimiento UNE, horarios y direccional (sup.) y la misma serie obtenida mediante el procedimiento escalar propuesto (diario y estacional) (inf.).	Pág. IV.-44
Figura IV.7	Disposición de resultados en la primera hoja de resultados correspondiente a cada estación y presentación de datos utilizados para la distribución Gumbel y resultados para periodos de retorno.	Pág. IV.-45
Figura IV.8	Disposición de resultados y datos estadísticos en la segunda hoja correspondiente a cada estación.	Pág. IV.-48
Figura IV.9	Rudimentario sistema de información geográfica elaborado por Snow en 1854, indicando la ubicación de los contagios por cólera.	Pág. IV.-51
Figura IV.10	Ejemplo de transformación de coordenadas a sistema de proyección UTM bajo la referencia (datum) ETRS89.	Pág. IV.-53

Figura IV.11	Proyección cilíndrica transversa del sistema de proyección UTM.	Pág. IV.-54
Figura IV.12	Sistema de coordenadas geográficas y división en husos y zonas mediante la proyección UTM.	Pág. IV.-54
Figura IV.13	Disposición de datos para la elaboración de un Sistema de Información Geográfica.	Pág. IV.-55
Figura IV.14	Configuración de capas para la elaboración de mapas de información en software gvSIG 1.11.0.	Pág. IV.-57
Figura IV.15	Información asociada al cada punto de representación en el mapa, derivada de las hojas de resultados.	Pág. IV.-58
Figura IV.16	Lluvia media anual simultánea a viento no en calma y por lo tanto de influencia para la penetración de agua en el cerramiento, en 80 emplazamientos españoles (véase anejo A.2).	Pág. IV.-60
Figura IV.17	Presión eólica media anual, simultánea a la lluvia y por lo tanto de influencia para la penetración de agua en el cerramiento, en 80 emplazamientos españoles (véase anejo A.2).	Pág. IV.-60
Figura IV.18	Lluvia batiente máxima diaria, para un periodo de retorno considerado de 30 años (véase anejo A.2).	Pág. IV.-61
Figura IV.19	Presión eólica máxima diaria, simultánea a la precipitación, para un periodo de retorno considerado de 30 años (véase anejo A.2).	Pág. IV.-62
Figura IV.20	Ajuste obtenido entre el valor de solicitación anual escalar planteado y la máxima solicitación direccional anual calculado según estándar ISO, para 7 emplazamientos representativos españoles.	Pág. IV.-65
Figura IV.21	Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en Santiago de Compostela, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.	Pág. IV.-67
Figura IV.22	Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en Vigo, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.	Pág. IV.-67
Figura IV.23	Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en San Sebastián (Igueldo), según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.	Pág. IV.-68
Figura IV.24	Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en Bilbao, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.	Pág. IV.-68
Figura IV.25	Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en Jerez, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.	Pág. IV.-69
Figura IV.26	Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en Madrid, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.	Pág. IV.-69
Figura IV.27	Distribución direccional de la lluvia batiente anual de referencia I_A en Barcelona, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011.	Pág. IV.-70
Figura IV.28	Rosa de vientos con distribución de direcciones y velocidades referidas al aeropuerto de Barcelona. Como se aprecia, no puede establecerse una relación directa e inmediata entre ninguno de los dos factores y la distribución direccional de la lluvia batiente. Fuente: AEMET, 2012.	Pág. IV.-71
Figura IV.29	Rosa de vientos para la ciudad de Ottawa (Canadá), a la izquierda, frente a la rosa de ciento simultáneos a eventos de precipitación en el mismo emplazamiento (derecha). Ambas distribuciones no guardan relación alguna entre sí. Fuente: Kerr, 2004.	Pág. IV.-71

- Figura IV.30 Ajuste obtenido entre el valor de sollicitación puntual escalar planteado y la máxima sollicitación direccional por periodo de humedecimiento calculado según estándar ISO, para 7 emplazamientos representativos españoles. **Pág. IV.-73**
- Figura IV.31 Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_S en Santiago de Compostela, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-74**
- Figura IV.32 Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_S en Vigo, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-74**
- Figura IV.33 Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_S en San Sebastián, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-75**
- Figura IV.34 Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_S en Bilbao, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-75**
- Figura IV.35 Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_S en Jerez, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-76**
- Figura IV.36 Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_S en Barcelona, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-76**
- Figura IV.37 Distribución direccional de la lluvia batiente máxima de referencia I_S en Madrid, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-77**
- Figura IV.38 Ajuste obtenido entre la duración del periodo absoluto de humedecimiento planteada y la máxima duración direccional de dicho periodo, calculado según estándar ISO para 7 emplazamientos representativos españoles. **Pág. IV.-78**
- Figura IV.39 Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en Santiago de Compostela, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-79**
- Figura IV.40 Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en Vigo, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-79**
- Figura IV.41 Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en San Sebastián (Igueldo), según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-80**
- Figura IV.42 Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en Bilbao, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-80**
- Figura IV.43 Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en Jerez, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-81**
- Figura IV.44 Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en Barcelona, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-81**
- Figura IV.45 Distribución direccional de la duración del periodo de humedecimiento en Madrid, según datos horarios comprendidos entre 1998 y 2011. **Pág. IV.-82**
- Figura IV.46 Codificación sinóptica del grupo ww, utilizada por Rydock para determinar la presencia de lluvias en el momento de medición. Desprecia la presencia de lloviznas (grupo 50-59) y de precipitaciones en estado sólido simultaneas a nieve o granizo (grupos 66-69; 70-79 y 83-99) Fuente: Rydock et al., 2005. **Pág. IV.-86**
- Figura IV.47 Reparto del número de eventos de precipitación, según dirección del viento simultáneo a la misma, para la ciudad noruega de Trondheim. Fuente: Rydock et al., 2005. **Pág. IV.-86**
- Figura IV.48 Reparto de la exposición anual a lluvia batiente I_A , para la ciudad noruega de Trondheim. Fuente: Rydock et al., 2005. **Pág. IV.-87**

- Figura IV.49 Comparación de la estimación de lluvia batiente de Rydock, realizado en base a datos sinópticos y el valor de solicitación obtenido mediante datos diarios, según el estándar ISO. **Pág. IV.-88**
- Figura IV.50 Codificación del valor t_R dentro del grupo de precipitación. Fuente: WMO, 2011. **Pág. IV.-89**
- Figura IV.51 Comparación del reparto direccional de lluvia de Rydock, realizado en base al número de eventos y el reparto planteado, realizado en base a la cuantía de la lluvia batiente recogida en cada dirección. **Pág. IV.-91**
- Figura IV.52 Estimación de la exposición a la lluvia batiente a partir del reparto direccional normalizado e índices escales (daDRI) y comparación con el mismo factor calculado mediante el estándar ISO y la aproximación de Rydock et al. **Pág. IV.-92**
- Figura IV.53 Estimación de la exposición a la lluvia batiente a partir del reparto direccional normalizado e índice escalar horario aproximado (haDRI) y comparación con el mismo factor calculado mediante el estándar ISO. **Pág. IV.-94**
- Figura IV.54 Ajuste medio obtenido entre los valores escalares calculados daDRI y los índices escalares optimizados a valores horarios, para 6 emplazamientos representativos españoles. **Pág. IV.-95**
- Figura IV.55 Ajuste medio obtenido entre los valores escalares calculados IAS y los índices escalares optimizados a valores horarios I_{hAS} , para 6 emplazamientos representativos españoles. **Pág. IV.-97**
- Figura IV.56 Ajuste lineal establecido entre los indicadores de exposición anual daDRI y maDRI. **Pág. IV.-102**
- Figura IV.57 Ajuste lineal establecido entre los indicadores de exposición anuales daDRI y aaDRI **Pág. IV.-102**
- Figura IV.58 Mejor ajuste lineal establecido entre los indicadores de exposición anuales maDRI y aaDRI y su comparación con el mismo ajuste en otros ámbitos climatológicos. **Pág. IV.-103**
- Figura IV.59 Índices de exposición calculados a partir de datos medios mensuales según ambas hipótesis, en emplazamientos con significativa exposición anual. (e1) Magnitud del error derivado del promedio de datos; (e2) Magnitud del error derivado de la no co-ocurrencia de viento y lluvia. **Pág. IV.-105**
- Figura IV.60 Índices de exposición calculados a partir de datos medios anuales según ambas hipótesis, en emplazamientos con significativa exposición anual. (e1) Magnitud del error derivado del promedio de datos; (e2) Magnitud del error derivado de la no co-ocurrencia de viento y lluvia. **Pág. IV.-105**
- Figura IV.61 Mejor ajuste lineal establecido entre la lluvia batiente anual de referencia escalar IA, calculada en base a datos medios mensuales o datos diarios. **Pág. IV.-108**
- Figura IV.62 Mejor ajuste lineal establecido entre la lluvia batiente anual de referencia escalar IA, calculada en base a datos medios anuales o datos diarios. **Pág. IV.-108**
- Figura IV.63 Proceso conceptual para la obtención de resultados de exposición a lluvia batiente (anual y por periodo de humedecimiento), a partir de datos climatológicos básicos (anuales, mensuales o diarios) y de las aproximaciones y ajustes obtenidos para España. **Pág. IV.-110**
- Figura IV.64 Comparación entre los valores de lluvia batiente anual de referencia escalar IA (color claro) y los valores del índice daDRI, multiplicados por un factor de 100 (color oscuro), para los emplazamientos de máxima exposición a lluvia batiente. **Pág. IV.-111**

- Figura IV.65 Diagrama de la influencia del intervalo de tiempo considerado en el valor máximo de una misma variable climática o exposición. **Pág. IV.-112**
- Figura IV.66 Ajuste entre los valores de exposición por periodo definidos en este estudio para un TR = 3 años. Ambos son convergentes entre sí y por lo tanto útiles para establecer valoraciones comparativas. **Pág. IV.-113**
- Figura IV.67 Ajuste entre la duración de los periodos de humedecimiento definidos en este estudio para un TR = 3 años. Su convergencia es inexistente. **Pág. IV.-113**
- Figura IV.68 Comparación entre sollicitación anual I_A (línea continua), los valores asociados a periodos absolutos de humedecimiento I_{AS} (línea discontinua) e $I_{S_{ii}}$ (línea punteada) y a periodos de un día I_D (línea inferior), estos tres últimos para TR de 3 años, en los emplazamientos de mayor exposición anual. **Pág. IV.-115**
- Figura IV.69 Ajuste entre los valores de exposición por periodo y anual. La convergencia entre ambos es débil, por lo que ambos parámetros no son dependientes sino complementarios para la caracterización de la sollicitación. **Pág. IV.-115**
- Figura IV.70 Emplazamientos con mayor sollicitación relativa en periodos de un único día (I_D / daDRI), partiendo de datos de lluvia batiente para un periodo de retorno de 3 años. **Pág. IV.-117**
- Figura IV.71 Emplazamientos con mayor sollicitación relativa en periodos de humedecimiento de días de lluvia ininterrumpida ($I_{S_{ii}}$ / daDRI), partiendo de datos de lluvia batiente para un periodo de retorno de 3 años. **Pág. IV.-118**
- Figura IV.72 Emplazamientos con mayor sollicitación relativa en periodos absolutos de humedecimiento a partir del estándar ISO (I_{AS} / daDRI), partiendo de datos de lluvia batiente para un periodo de retorno de 3 años. **Pág. IV.-119**
- Figura IV.73 Comparación entre sollicitación anual I_A (línea continua), los valores asociados a periodos absolutos de humedecimiento I_{AS} (línea discontinua) e $I_{S_{ii}}$ (línea punteada) y a periodos de un día I_D (línea inferior), estos tres últimos para TR de 10 años, en los emplazamientos de mayor exposición. **Pág. IV.-120**
- Figura IV.74 Comparación entre sollicitación anual I_A (línea continua), los valores asociados a periodos absolutos de humedecimiento I_{AS} (línea discontinua) e $I_{S_{ii}}$ (línea punteada) y a periodos de un día I_D (línea inferior), estos tres últimos para TR de 30 años, en los emplazamientos de mayor exposición. **Pág. IV.-121**
- Figura IV.75 Comparación entre sollicitación anual I_A (línea continua), los valores asociados a periodos absolutos de humedecimiento I_{AS} (línea discontinua) e $I_{S_{ii}}$ (línea punteada) y a periodos de un día I_D (línea inferior), estos tres últimos para TR de 50 años, en los emplazamientos de mayor exposición. **Pág. IV.-122**
- Figura IV.76 Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante periodos absolutos de humedecimiento (I_{AS} en línea oscura discontinua; presión eólica en línea clara discontinua; duración del periodo en línea continua) para TR 3 años. **Pág. IV.-124**
- Figura IV.77 Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante periodos absolutos de humedecimiento (I_{AS} en línea oscura discontinua; presión eólica en línea clara discontinua; duración del periodo en línea continua) para TR 10 años. **Pág. IV.-125**
- Figura IV.78 Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante periodos absolutos de humedecimiento (I_{AS} en línea oscura discontinua; presión eólica en línea clara discontinua; duración del periodo en línea continua) para TR 30 años. **Pág. IV.-126**

- Figura IV.79 Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante periodos absolutos de humedecimiento (I_{AS} en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada; duración del periodo en línea continua) para TR de 50 años. **Pág. IV.-127**
- Figura IV.80 Parámetros que condicionan la penetración de agua en el cerramiento durante periodos ininterrumpidos de humedecimiento ($I_{S_{ii}}$ en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada; duración del periodo ininterrumpido en línea continua) para TR de 3 años. **Pág. IV.-128**
- Figura IV.81 Parámetros que condicionan la penetración de agua en el cerramiento durante periodos ininterrumpidos de humedecimiento ($I_{S_{ii}}$ en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada; duración del periodo ininterrumpido en línea continua) para TR de 10 años. **Pág. IV.-129**
- Figura IV.82 Parámetros que condicionan la penetración de agua en el cerramiento durante periodos ininterrumpidos de humedecimiento ($I_{S_{ii}}$ en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada; duración del periodo ininterrumpido en línea continua) para TR de 30 años. **Pág. IV.-130**
- Figura IV.83 Parámetros que condicionan la penetración de agua en el cerramiento durante periodos ininterrumpidos de humedecimiento ($I_{S_{ii}}$ en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada; duración del periodo ininterrumpido en línea continua) para TR de 50 años. **Pág. IV.-131**
- Figura IV.84 Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante un día de humedecimiento (I_D en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada) para TR de 3 años. **Pág. IV.-132**
- Figura IV.85 Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante un día de humedecimiento (I_D en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada) para TR de 10 años. **Pág. IV.-133**
- Figura IV.86 Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante un día de humedecimiento (I_D en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada) para TR de 30 años. **Pág. IV.-134**
- Figura IV.87 Parámetros relevantes que condicionan la penetración de agua líquida en el cerramiento durante un día de humedecimiento (I_D en línea oscura discontinua; presión eólica en línea punteada) para TR de 50 años. **Pág. IV.-135**
- Figura IV.88 Índice normalizado de penetración para periodos absolutos (TR de 3 años). **Pág. IV.-144**
- Figura IV.89 Índice normalizado de penetración para periodos de lluvia ininterrumpida (TR de 3 años). **Pág. IV.-145**
- Figura IV.90 Índice normalizado de penetración diaria (TR de 3 años). **Pág. IV.-146**

CAPÍTULO V

PARAMETRIZACIÓN PRESTACIONAL DE ENSAYOS DE ESTANQUEIDAD

V.1.- Introducción	V.-2
V.2.- Parámetros de exposición utilizados en los ensayos de estanqueidad	V.-6
V.3.- Cálculo de parámetros de exposición en condiciones de servicio	V.-11
V.4.- Análisis del periodo de retorno asociado a la exposición	V.-20
V.4.1.- Hipótesis de independencia entre los parámetros de exposición	V.-22
V.4.2.- Hipótesis de dependencia entre los parámetros de exposición	V.-23
V.5.- Parámetros de ensayo asociados a un periodo de retorno combinado	V.-33
V.5.1.- Parametrización para lluvia batiente y TR concretos	V.-39
V.5.2.- Parametrización asociada a un emplazamiento concreto	V.-49
V.6.- Generalización de la parametrización	V.-53
V.6.1.- Adaptación a cualquier duración de exposición	V.-54
V.7.- Análisis comparativo de diferentes ensayos de estanqueidad	V.-64
V.8.- Comentario a los resultados obtenidos	V.-73
V.9.- Bibliografía y apéndices	V.-78

V.1.- INTRODUCCIÓN

La principal herramienta actual para evaluar la adecuación de las soluciones constructivas a las condiciones de exposición frente a la humedad a los que los cerramientos se van a enfrentar en condiciones de servicio, la constituyen las diferentes tipologías de ensayos normalizados existentes para la homologación de su estanqueidad.

Ante la ausencia de métodos de verificación prestacionales en las normativas actuales, capaces de relacionar científicamente y objetivamente los parámetros de exposición y el diseño necesario en la configuración, materiales o ejecución de las soluciones de cerramiento, la evaluación de modelos reales mediante ensayos de estanqueidad representa un mecanismo indispensable para caracterizar distintas posibilidades edificatorias, mediante el sistema de prueba y error.

En todos ellos, el principio que rige el ensayo de estanqueidad realizado es muy similar, sometiendo a un cerramiento de escala real y dimensiones suficientemente representativas, a la acción de un determinado caudal de agua sobre su superficie y a la acción simultánea de una determinada presión externa, mediante la colocación de un dispositivo ventilador regulado o equipo equivalente. Incrementando progresivamente la presión aplicada, se analiza la posible presencia de agua en la cara interna del cerramiento a lo largo del ensayo, determinando la presión máxima que el cerramiento es capaz de superar para un aporte de agua constante, sin presentar fugas de agua.

A este respecto, son varias las metodologías de ensayo existentes, distinguiendo los ensayos estáticos (la presión aplicada sobre el cerramiento es constante a lo largo del mismo), escalonados (el cerramiento es sometido a diferentes escalones crecientes de presión) o dinámicos (la presión sobre el cerramiento oscila continuamente con cierta amplitud, en torno a valores medios de presión que se van incrementando escalonadamente).

Atendiendo a la naturaleza del cerramiento analizado, pueden diferenciarse los ensayos destinados a homologar fachadas ligeras y a homologar cerramientos más tradicionales. En el primero de los casos, son las normas UNE-EN 12155:2000 "Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo de laboratorio bajo presión estática" (AENOR, 2000) y UNE-EN 13050:2011 "Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo en laboratorio bajo presión dinámica de aire y proyección de agua" (AENOR, 2011), las encargadas en nuestro país de establecer las bases para la comprobación de la funcionalidad de este tipo de fachadas ligeras. Ambas constituyen un estándar a nivel europeo y como tal, son de aplicación una vez adaptadas, en cada uno de los países socios del CEN (Comité Europeo de Normalización).

La primera de ellas se refiere a un ensayo realizado bajo condiciones de presión estática, mientras que en la segunda, un dispositivo impulsor de aire genera una presión dinámica sobre la muestra de ensayo. Ambos ensayos son complementarios y tratan de evaluar la estanqueidad al agua de una sección a escala real suficientemente representativa del montaje de fachadas ligeras o muros cortina.

Por otra parte, la norma UNE-EN 12865:2002 "Comportamiento higrotérmico de componentes y elementos de edificación. Determinación de la resistencia al agua de lluvia de muros exteriores bajo impulsos de presión de aire" (AENOR, 2002) ya presentada en el Capítulo III de este documento, es la encargada de evaluar la resistencia al agua de lluvia de muros exteriores genéricos bajo impulsos de presión de aire (escalones crecientes de presión sobre el cerramiento ensayado). Como en el caso anterior, una sección suficientemente representativa del cerramiento, a escala real, es sometida a la

acción de una determinada cantidad de agua constante y a una diferencia de presión creciente.

En el ámbito internacional, las diferentes normas de ensayo proponen diferentes magnitudes en sus parámetros de exposición durante el ensayo, definiéndose así un amplio número de condiciones de exposición simuladas sobre la muestra. Así, en todos ellos se utilizan valores diferentes de aporte agua, diferencia de presión y duración de la exposición, dando como resultado una amplia variedad de condiciones de homologación, no comparables entre sí.

Standard	Spray rate (L/m ² min)	Pressure				Duration	
		Uniform static (Pa)	Cyclic static (Pa)	Dynamic		Spray (min)	Pressure (min)
(Pa)	Wind generating device						
AAMA 501.3, 1994, [7]	3.4	137 or 300-600 or 20% of d.w.p. ¹				15	15
AS/NZS 4284 1995, [8]	3	300				5	15
Ss 381, 1996, [9]	4	240 or 30% of d.w.p. ¹				20	15
CWCT, 1996, [10]	3.4	300 or 450 or 600 or 0.25 of d.w.p. ¹				40 (for 300Pa)	25 (for 300Pa)
ASTM 331, 2000, [11]	3.4	137				15	15
BS EN 12155, 2000, [12]	2.0	150 or 300 or 450 or 600 or >600				50 (for 600Pa)	35 (for 600Pa)
NT BUILT 421, 1993, [13]	2.7		200 or 400 or 600 or 800 or 1100			—	10 for each spray
AS/NZS 4284 1995, [8]	3		150-300 or 300-600 or 0.3 W-0.6W ²			15	5 for each
CSA A 440.1, 1998, [14]	3.4		137-three cycles			15	5-each cycle
ASTM E 547, 2000, [15]	3.4		137-three cycles			15	5-each cycle
AAMA501.1, 1994, [7]	3.4			137 or 300-600 or 20% of d.w.p. ¹	A-P ³	15	15
Ss 381, 1996, [9]	3.4			137 or 300-600 or 20% of d.w.p. ¹	A-P ³	15	15
CWCT, 1996, [10]	3.4			300 or 450 or 600 or 0.25 of d.w.p. ¹	A-P ³	15	15
BS ENV. 13050 2001, [16]	2.0			150 or 300 or 450 or 600 or > 600	Ducted fan	—	—

d.w.p.¹: design wind pressure; W²: structural test pressure; A-P³: propeller driven by aircraft engine.

Figura V.1.- Recopilación de estándares normalizados de evaluación de cerramientos frente a lluvia batiente y los parámetros característicos a dichos ensayos. Fuente: Sahal y Lacasse, 2008.

En nuestro país, es el ensayo UNE-EN 12865:2002 el más ampliamente utilizado, habiendo sido empleado para determinar la caracterización del grado de impermeabilidad de los cerramientos, tanto de forma pre-normativa (serie de ensayos efectuados por el Instituto Valenciano de la Edificación de forma previa a la publicación del CTE), como post-normativa, para el establecimiento de nuevas soluciones aceptadas en el Catálogo de Elementos Constructivos elaborado por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc).

No en vano, este último documento, se apoya en los resultados de dichos ensayos para proponer el grado de impermeabilidad que debería asociarse a soluciones no recogidas por el DB-HS1 y que serían igualmente aceptables:

“Puede considerarse que una fachada tiene GI 5 si, para la presión de diseño en función de la altura del edificio, exposición y zona eólica, es estanca al agua según los ensayos descritos o referenciados en las siguientes normas:

a) Con carácter general, procedimiento A de UNE-EN 12865:2002 “Comportamiento higrotérmico de componentes y elementos de edificación. Determinación de la resistencia al agua de lluvia de muros exteriores bajo impulsos de presión de aire”

b) En caso de fachadas ligeras, UNE-EN 12154:2000 “Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Requisitos y clasificación”, o análogamente UNE-EN 13051:2001 “Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo in situ”.

También puede considerarse que una fachada tiene GI 5 si dispone, cerrando la cámara por el interior, de una barrera resistente a la penetración al agua clase W1 y permeable al vapor de agua, que cumpla con UNE-EN 13859-2: 2006 + A1:2009 “Laminas flexibles para impermeabilización. Definiciones y características de las láminas auxiliares. Parte 2: Láminas auxiliares para muros”.

Puede considerarse que una fachada tiene GI 4 si no se producen fugas, según los ensayos descritos en las normas anteriores, para presiones inferiores pero no menores a 0,25 veces la de diseño y a 300 Pa. En este caso, el sistema o las hojas interiores no deben presentar danos ante las posibles pérdidas de estanquidad puntuales para presiones mayores a estas”. (IETcc, 2010)

No obstante, a pesar de que como se ha dicho, el ensayo constituye una herramienta de gran utilidad ante la ausencia de métodos de verificación que relacionen la exposición esperada con las condiciones de diseño, es necesario analizar con mayor detalle la representatividad de las condiciones de exposición utilizadas durante los ensayos, en relación a las condiciones reales de exposición en condiciones de servicio de cualquier cerramiento.

Como ha quedado claro a lo largo de este trabajo, las condiciones de exposición frente a la lluvia batiente oscilan enormemente entre diferentes emplazamientos, dependiendo de las condiciones pluviométricas, eólicas y topográficas de los mismos. Así en nuestro país, la oscilación puede llegar desde los valores anuales detectados en Fuerteventura, Murcia o Daroca (0,6 a 0,69 m²/s de índice daDRI), hasta valores de 11,05 m²/s en Santiago de Compostela.

Similar oscilación se tiene al analizar otros parámetros ya presentados y recopilados en los anejos A.1 y A.2, como I_A, I_{AS} o I_D y otro tanto ocurre si se analiza la presión eólica media simultánea a la precipitación, con oscilaciones que van desde 3,28 N/m² en Daroca, hasta 62,28 N/m² en la estación meteorológica de montaña de Izaña en el Teide o los 55 N/m² en Tarifa.

Dado que las condiciones de velocidad de viento y lluvia batiente sobre el cerramiento también se ven afectadas por las condiciones locales del edificio (altura, rugosidad del entorno, presencia de obstáculos...), resulta inverosímil la utilización de unas condiciones de ensayo fijas y constantes, no solo para todo nuestro país, sino también válidas para cualquier otra condiciones de servicio en toda Europa, tal y como la norma UNE-EN 12865:2002 establece a partir de estándar europeo EN 12865:2001 (EN, 2001).

Tampoco resulta objetivo homologar las prestaciones de una determinada solución de cerramiento en base a su estanqueidad frente a estas condiciones estandarizadas, dado que un cerramiento no satisfactorio en un emplazamiento, sí puede serlo en otro. Inversamente, un sistema de cerramiento que supera unas determinadas condiciones de ensayo, puede presentar penetraciones de agua si su condición de servicio se ve sometida a condiciones más desfavorables que las ensayadas.

Por todo ello, tampoco puede que los ensayos de estanqueidad, en su configuración actual, representen un sistema de verificación prestacional para el cumplimiento de la protección frente a la estanqueidad en los cerramientos.

Dado que el ensayo trata de recrear la respuesta del sistema de cerramiento ante condiciones ambientales verosímiles, representativas de condiciones de exposición extremas que pueden llegar a producirse, es necesario articular los procedimientos necesarios para que estos parámetros de ensayo se adapten a las condiciones extremas en cada configuración posible del cerramiento y en cada emplazamiento.

Solo de esta forma, podrán utilizarse adecuadamente los ensayos para caracterizar la estanqueidad de cerramientos tanto en Lanzarote como en Estocolmo, a pesar de que tal y como se entiende, las condiciones de exposición en ambos emplazamientos no son para nada comparables entre sí.

El presente capítulo aborda la tarea de optimizar la utilización de estos ensayos, de tal manera que su resultado no represente una homologación aproximada y generalizada, sino que aporte información válida y específica para cada posible utilización futura que se haga del sistema de cerramiento ensayado.

Para ello se define una metodología que permite relacionar en base a un criterio de prstacionalidad, los resultados obtenidos por cualquier ensayo de estanqueidad internacional, con la situación de exposición real que se produce sobre cualquier configuración real de cerramiento, permitiendo de esta forma evaluar su idoneidad para cada caso de utilización.

Igualmente, esta nueva metodología permitirá dos importantes avances de utilidad para la industria de la construcción:

- Permitir el diseño óptimo y prestacional de los cerramientos, determinando el grado de seguridad o periodo de retorno con el que se producen en el cerramiento real, las condiciones estandarizadas superadas por el cerramiento durante el ensayo.
- Permitiendo la comparación de los resultados obtenidos por diferentes ensayos internacionales, eliminando la necesidad de realizar nuevos ensayos de acuerdo a la normativa propia de cada ámbito de utilización. Un único ensayo, permite así mediante la aplicación de esta metodología, homologar la prestación del cerramiento en cualquier condición de uso y emplazamiento del mundo.

V.2.- PARÁMETROS DE EXPOSICIÓN UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS DE ESTANQUEIDAD

Dos parámetros fundamentales son empleados durante el ensayo para simular condiciones de exposición reales sobre el cerramiento:

- Un aporte de agua (spray rate) sobre la muestra, que representa la lluvia batiente que incidiría sobre el cerramiento en condiciones reales (I).
- Una diferencia de presión aplicada entre la superficie interior y exterior del cerramiento (ΔP), que representa la presión eólica que incidiría sobre el cerramiento en condiciones reales durante la incidencia de lluvia batiente (DRWP o Driving Rain Wind Pressure).

A estos dos parámetros se les aúna indirectamente un tercero, el tiempo durante el cual se mantiene dicha exposición en la realización del ensayo.

Así, una exposición mantenida durante un intervalo de tiempo mayor con unos mismos parámetros de aporte de agua y diferencia de presión, representa una sollicitación más severa e infrecuente que la producida por los mismos parámetros mantenidos durante un menor intervalo de tiempo.

Este hecho se comprueba dado que una misma situación de exposición atmosférica, varía en su intensidad máxima según el intervalo de tiempo en el cual se recopile o promedie. En la figura siguiente, la intensidad de la exposición asociada a un intervalo de 5 minutos es muy superior a la intensidad de la misma exposición asociado a un intervalo de una hora.

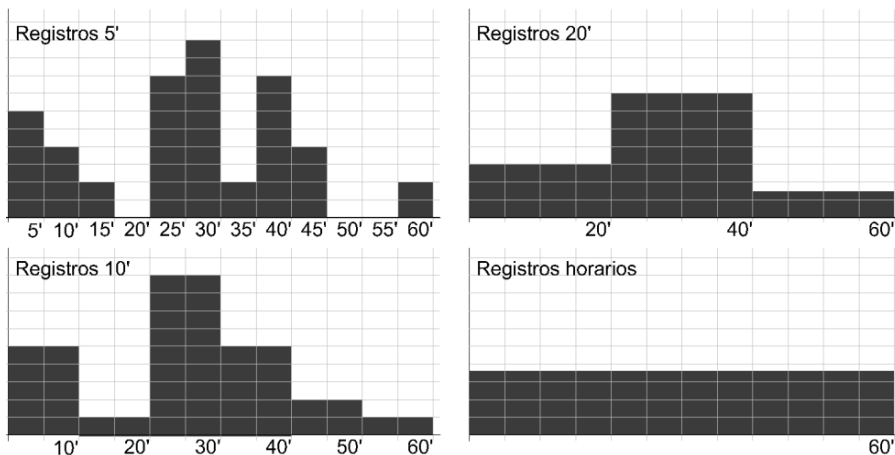


Figura V.2.- Diagrama de la influencia del intervalo de registro de datos en el valor máximo de una misma variable climática (Pérez-Bella et al., 2012).

En conclusión, aportes de agua más elevados, diferencias de exposición más severas y duraciones del ensayo más prolongadas, son indicativas de la simulación de exposiciones reales más severas durante el transcurso del ensayo.

Si nos centramos en el ensayo definido por la norma UNE-EN 12865:2002 “Comportamiento higrotérmico de componentes y elementos de edificación. Determinación de la resistencia al agua de lluvia de muros exteriores bajo impulsos de presión de aire”, en el mismo se especifica un método general para evaluar la resistencia al agua de lluvia de elementos de pared mediante la determinación de la estanqueidad al agua de los propios elementos de pared o parte de ellos, bajo una presión atmosférica variable mediante impulsos (escalones).

Para simular estas condiciones, sobre la muestra de ensayo se dispone un sistema de rociado que garantiza la aplicación de una película continua de agua sobre la superficie del elemento de ensayo. El aporte de agua aplicado se divide en dos fuentes:

- Agua de escorrentía (1,2 l/m · min aplicado uniformemente en la parte superior de la muestra de ensayo).
- Agua de lluvia directa (1,5 mm/min aplicado sobre la superficie exterior del elemento de ensayo).

Dado que las dimensiones de la probeta de ensayo se fijan de forma general en una anchura de 1,2 m y una altura de 2,4 m, el aporte total de agua que ha de aplicarse sobre el cerramiento por unidad de superficie, puede calcularse como:

$$WDR_{ensayo\ UNE-EN\ 12865:2002} = 1,5 + \frac{1,2 \cdot 1,2}{2,4 \cdot 1,2} = 2\ mm/min$$

Así pues, dado que la duración del ensayo se fija en 10 minutos, la cantidad de lluvia batiente total que se está simulando en este ensayo corresponde a 20 mm/10’.

Será obviamente de interés determinar si en las condiciones reales de exposición del cerramiento, dicha cantidad de lluvia batiente se va a producir con gran frecuencia o si por el contrario, representa una cantidad de lluvia batiente que nunca se da en tal cantidad.

Es obvio, que mientras en emplazamientos como Santiago de Compostela, la cantidad de lluvia batiente indicada puede corresponder a una situación cotidiana, en otros emplazamientos como Daroca, Lérida, Toledo o Almería, una lluvia batiente similar apenas se dará una vez cada muchos años. El discernir este hecho de una forma prestacional y automatizable en cualquier emplazamiento del mundo, es la tarea abordada por este capítulo.

Simultáneamente, otro dispositivo debe ser capaz durante el ensayo de aplicar cambios controlados de la presión entre la superficie “exterior” e “interior” de la muestra de ensayo, simulando condiciones de presión eólica sobre el cerramiento.

Estas variaciones de presión se aplican en el ensayo UNE-EN 12865:2002 de forma controlada, siguiendo la pauta temporal que se muestra a continuación.

Diferencia de presión Pa	Procedimiento A		Procedimiento B	
	Intervalo de tiempo min	Tiempo total al final de cada paso min	Intervalo de tiempo min	Tiempo total al final de cada paso min
0	20	20	60	60
0 a 150	10	30	60	120
0 a 300	10	40	60	180
0 a 450	10	50	60	240
0 a 600	10	60	60	300
600 + i · 150 i= 1,2,3,...n	10	60 + i · 10	60	300 + i · 60

Figura V.3.- Procedimientos de ensayo. Fuente: AENOR, 2002.

El procedimiento A plasmado, permite establecer una comprobación cualitativa de la estanqueidad del cerramiento en un corto espacio de tiempo de ensayo, mientras que el procedimiento B permite una comprobación cuantitativa, en el que se determina el agua absorbida por la muestra de ensayo mediante pesadas sucesivas de la misma.

Será el procedimiento A, el de mayor interés en este trabajo, ya que permite verificar la prestación de protección frente a la penetración de agua a través del sistema de cerramiento.

Como puede apreciarse, la variación de presión establecida oscila entre 150 y 600 Pa, dato a partir del cual puede determinarse de forma suficientemente aproximada la presión eólica simultánea a la lluvia batiente (DRWP) que se simula sobre el cerramiento:

$$DRWP = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad [\text{Pa}] \text{ o } [\text{N/m}^2]$$

Suponiendo una densidad para el aire constante y aproximadamente de 1,2 kg/m³, si bien ésta es variable en función de la altura y temperatura del mismo, puede estimarse la velocidad de viento simulada en cada condición de ensayo:

Para 150 Pa: $v = 15,81 \text{ m/s}$ (56,916 km/h)

Para 300 Pa: $v = 22,36 \text{ m/s}$ (80,496 km/h)

Para 450 Pa: $v = 27,386 \text{ m/s}$ (98,590 km/h)

Para 600 Pa: $v = 31,623 \text{ m/s}$ (113,843 km/h)

Así pues, durante el ensayo se simulan condiciones sobre el cerramiento real, caracterizados por una velocidad media de viento a lo largo de un intervalo de 10 minutos, de 56,9 a 113,8 km/h.

Como para el aporte de agua empleado, será de interés determinar si en las condiciones reales de exposición del cerramiento, esta velocidad de viento simultánea a la lluvia se produce con gran frecuencia o si por el contrario, representa una velocidad nunca registrada en simultaneidad a la precipitación. Discernir este hecho de una forma prestacional y automatizable en cualquier emplazamiento del mundo, es igualmente la tarea abordada por este capítulo.

Estos intervalos de presión son aplicados mediante impulsos, con una duración total de 15 segundos, distribuidos en 3 segundos de presión creciente, 5 segundos de presión máxima, 2 segundos de presión decreciente y 5 segundos de presión nula.

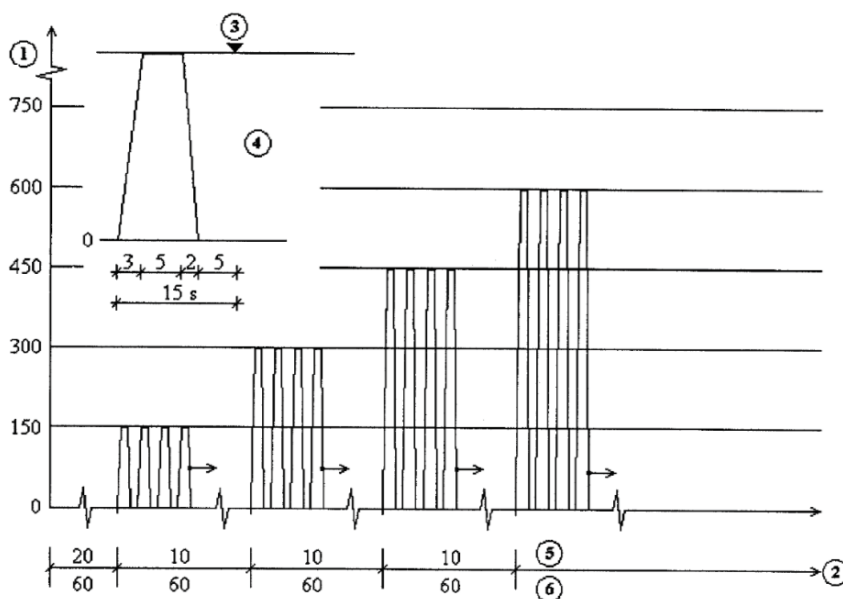


Figura V.4.- Esquema del procedimiento de ensayo, indicando en el eje X la duración de la sollicitación y en el eje Y la presión aplicada, en Pa. Fuente: AENOR, 2002.

En resumen, se han analizado las condiciones de exposición simuladas mediante el ensayo, que aplican una lluvia batiente sobre el cerramiento constante e igual a 2 mm/min y velocidades de viento simultáneas que van de 15,81 a 31,62 m/s durante periodos de 10 minutos de exposición.

Estas condiciones de exposición son comunes para cualquier sistema de cerramiento sometida a ensayo y su realización es utilizada para homologar soluciones utilizadas en toda Europa. Sin embargo se obvia que las condiciones de exposición

difieren en gran medida entre los emplazamientos de España y mucho más si se los compara con otros europeos.

En consecuencia, estas condiciones de exposición del ensayo, no representan prestacionalmente todas las situaciones de servicio que pueden darse sobre los cerramientos y por lo tanto, solo ofrecen una información aproximada, general y por lo tanto poco precisa, de cuál será el comportamiento de estanqueidad del cerramiento en su uso real.

Utilizar en el ensayo cada una de las posibles configuraciones máximas de aporte de agua y velocidad de viento que se dan sobre el cerramiento durante un intervalo de 10 minutos, constituiría una solución muy poco funcional ya que ello obligaría a variar de forma infinita estos parámetros, determinando unos concretos para cada posible emplazamiento, altura, entorno y topografía circundante a donde se fuera a utilizar el cerramiento.

Se hace necesario por lo tanto, utilizar otro sistema que permita, a partir de los resultados obtenidos utilizando los parámetros de exposición actuales, evaluar el grado de exigencia que las condiciones de ensayo representan en las condiciones reales de utilización del cerramiento.

Dicha tarea sin embargo no será sencilla, dado que unas condiciones de lluvia batiente de 20 mm/10' pueden darse con una frecuencia muy diferente a las que se da una velocidad de viento media en 10 minutos, de por ejemplo 15,81 m/s.

Será por lo tanto necesario, analizar la ocurrencia simultánea de ambos parámetros de exposición en cada situación de servicio, análisis que hasta el momento, se estima que ningún investigador a nivel internacional ha abordado de forma integral y rigurosa (aunque sí analizando ambos parámetros por separado).

Dicho análisis se desarrolla en este capítulo, permitiendo mediante el mismo caracterizar la severidad de las condiciones de exposición del ensayo en relación a las condiciones particulares de cada emplazamiento, edificio y cerramiento, permitiendo dotar de total prestacionalidad a los ensayos de estanqueidad, como herramienta de verificación del cumplimiento del requerimiento básico de protección frente a la humedad en cerramientos.

V.3.- CÁLCULO DE PARÁMETROS DE EXPOSICIÓN EN CONDICIONES DE SERVICIO

Un ensayo de estanqueidad se realiza para asegurar las prestaciones del cerramiento ensayado bajo unas condiciones de servicio que garanticen su adecuación incluso en situaciones de gran exigencia.

Al trabajar con eventos climatológicos de gran aleatoriedad como la lluvia y el viento, hemos de recurrir de nuevo a la utilización del concepto de Periodo de Retorno, para evaluar el grado de probabilidad que existe de que las condiciones ensayadas se vean superadas en un momento dado en las circunstancias reales de servicio, a fin de evaluar el margen de seguridad ofrecido por el ensayo.

Para poder evaluar las condiciones de exposición realmente existentes sobre un cerramiento, ha de disponerse de una colección relevante de datos meteorológicos, referidos a las magnitudes necesarias (lluvia y viento simultáneo) a lo largo de un número suficientemente relevante de años, recopiladas en estaciones meteorológicas adecuadamente equipadas (véase capítulo IV).

Dado que los intervalos de exposición que son utilizados en los ensayos no son muy prolongados (van de 5 a 60 minutos en los estándares internacionales analizados en la figura V.1), los datos climáticos han de ser igualmente registrados en intervalos de tiempo muy cortos, inferiores a esta duración.

Tal y como se ha explicado en la figura V.2, la intensidad de la exposición asociada a una duración menor (inferior a una hora), es mucho mayor que la asociada a un intervalo diario, mensual o anual.

Así pues no pueden utilizarse directamente, los parámetros de exposición recopilados en el capítulo IV (anuales, diarios, por periodos de humedecimiento) ni tampoco registros horarios, al no permitir establecer con precisión las variables climatológicas asociadas a intervalos de por ejemplo, 10 minutos, precisadas para caracterizar las condiciones del ensayo UNE-EN 12865:2002.

Para los fines perseguidos en este capítulo se solicitaron a la Agencia Estatal de Meteorología, los registros diezminutales existentes en las 7 estaciones meteorológicas anteriormente utilizadas en el capítulo IV para la validación de los parámetros de exposición obtenidos (Vigo, Santiago de Compostela, San Sebastián-Igueldo, Bilbao, Madrid, Barcelona y Jerez de la Frontera), solicitando para ello las series completas disponibles.

Estos datos, registrados en intervalos de 10 minutos de forma continua, permiten la evaluación de las condiciones de lluvia batiente y presión eólica en ese intervalo de tiempo reducido.

Sin embargo, la necesidad de utilizar estaciones automáticas para su recopilación y la relativamente reciente implantación de estos dispositivos en los sistemas de AEMET, condiciona enormemente la antigüedad de estas series, como se comprueba a raíz de los datos recibidos por parte de la Agencia:

- Vigo aeropuerto: 5 años (2007-2011)
- Santiago de Compostela aeropuerto: 5 años (2007-2011)
- San Sebastián (Igueldo): 7 años (2001-2007, discontinuidades)

- Bilbao aeropuerto: 15 años (1997-2011, discontinuidades)
- Madrid aeropuerto: 2 años (2010-2011)
- Barcelona aeropuerto: 2 años (2010-2011)
- Jerez aeropuerto: 18 años (1992-2009)

Así pues, únicamente una estación proporciona información suficiente para establecer un análisis representativo (antigüedad mayor a 10 años), habida cuenta de que la estación de San Sebastián solo cuenta con algunos meses registrados en cada uno de los años indicados.

La carencia de este tipo de datos climáticos con la suficiente antigüedad, constituye por lo tanto un hándicap importante para la aplicación de esta metodología. No obstante, al término de este capítulo se marcarán las pautas a seguir para soslayar esta dificultad y ampliar el cálculo realizado a cualquier otro emplazamiento sin disponibilidad de estos datos precisos.

En cualquier caso, el análisis de la estación de Jerez de la Frontera, va a permitir ilustrar igualmente la idoneidad de los parámetros marcados por el ensayo para las condiciones reales de exposición en ese emplazamiento, tal y como se podría haber realizado para cualquier otro.

La breve duración establecida para los ensayos de estanqueidad (5 minutos a 60 minutos), obedece no solo a cuestiones de optimización de tiempo, sino también a otros parámetros de interés para la adecuada simulación de la exposición.

Tal y como Choi (1998) afirma, es una cuestión muy subjetiva afirmar cuanto tiempo debe resistirse la penetración de agua a través del cerramiento para afirmar que este es suficientemente estanco. Tanto Choi como Mayo (1998a, 1998b), consideran un intervalo de 5 minutos como razonable y cercano al intervalo temporal que provocaría una máxima escorrentía sobre la superficie del cerramiento en condiciones de lluvia.

No obstante, otros autores como Sahal y Lacasse (2008), consideran otros intervalos válidos que oscilan desde 1 minuto hasta incluso 10 minutos.

En todo caso, puede concluirse que este intervalo de tiempo de ensayo en condiciones desfavorables, no debe exceder de 15 minutos en condiciones realistas, tal y como recogen la mayoría de las normas destinadas a este tipo de ensayos en diferentes países (véase figura V.1).

Autores como Choi (1998) y Lindsey (1975), proporcionan expresiones que permiten aproximar con adecuada precisión los valores máximos de lluvia y viento que se producen en un intervalos de 5 minutos o similares, a partir de datos climáticos horarios, si bien mediante esta aproximación, se dispondría de un único dato cincominutal por cada registro horario, un número muy inferior al real (12 intervalos de 5 minutos en cada hora):

$$\frac{prep_{(t)}}{prep_{horaria}} = \left(\frac{3600}{t}\right)^{0,42}$$

$$\frac{v_{(t)} - v_{horaria}}{v_{(3s)} - v_{horaria}} = \frac{\ln(t/3600)}{\ln(3/3600)}$$

Siendo:

- t, Intervalo de la magnitud requerida en s. Para 5 minutos, $t = 300$.
- $V_{(3s)}$, Valor de racha máxima de viento, habitualmente estimada sobre un valor promedio de 3 s.

En este capítulo se desestima este tipo de aproximaciones, por considerarse que no son lo suficientemente exacta ni representativa, ya que sin ir más lejos, la estimación del viento presentada se basa únicamente en el análisis de los datos recopilados a lo largo de 25 años en una única estación (Mascot, Sydney).

Solo la recopilación exhaustiva de registros en cada estación y en todo caso la interpolación entre estaciones cercanas, puede dar lugar a resultados suficientemente precisos.

Tampoco sería válido utilizar registros climáticos de una duración diferente a la del ensayo de estanqueidad, ya que a mayor duración de la exposición, mayor es su intensidad (figura V.2). Así pues, un ensayo en el que se simula un determinado aporte de agua durante 10 minutos (2 mm/min), representa una situación de exposición muy superior a la que se simula si el mismo aporte de agua se mantiene solo durante 5 minutos.

Es por lo tanto fundamental partir de registros climáticos recopilados en intervalos idénticos a los de la duración de la exposición en el ensayo, si se quieren comparar ambas situaciones de exposición (real y ensayada).

El primer paso para establecer adecuadamente las condiciones de ensayo, se basa por lo tanto en obtener estos registros climáticos con la mayor precisión posible, medidos en el intervalo de tiempo mínimo disponible, a fin de eliminar los posibles errores derivados del promedio de las variables climáticas y obtener los datos climáticos en un intervalo idéntico al del ensayo de estanqueidad analizado.

Utilizando los registros diezminutales de la estación meteorológica de Jerez de la Frontera (aeropuerto), recopilados entre los años 1992-2009, podemos estimar el valor de lluvia batiente y de presión eólica que se ha dado durante ese periodo, para cada intervalo de 10 minutos analizados.

El análisis de tal cantidad de datos (casi 730.000 filas Excel para los 18 años analizados), supone igualmente un problema que puede obligar a seccionar el análisis en intervalos de menos años (por ejemplo, cada lustro).

Para la estimación de la lluvia batiente (WDR), como se expuesto en capítulos precedentes, existen diferentes aproximaciones posibles (aproximación de Lacy, UNE-EN ISO 15927-3:2011, índice DRI...).

Una de las más adecuadas para la estimación de la magnitud en cortos periodos de tiempo fue definida por Straube y Burnett (2000), apoyándose en los mismos conceptos semi-empíricos de “wind driving rain” que se han indicado a lo largo de todo el documento.

Para ello estima la lluvia batiente como:

$$WDR = K_{WDR} \cdot F_{captación} \cdot v_z \cdot prep \cdot \cos(D - \theta)$$

En este caso, dado que no interesa el análisis de la cantidad de lluvia batiente sobre sada cerramiento de orientación dada, sino la lluvia batiente máxima que puede darse en un momento dado (10 minutos), sobre cualquiera de ellos, el componente direccional puede igualarse a 1, quedando:

$$WDR = K_{WDR} \cdot F_{captación} \cdot v_z \cdot prep \quad [\text{ec. V.1}]$$

Siendo:

$F_{captación}$ El factor de captación dependiente de la posición analizada en la fachada, que en su valor más desfavorable puede asimilarse a un valor medio de 0,9 según las investigaciones de los autores de la aproximación.

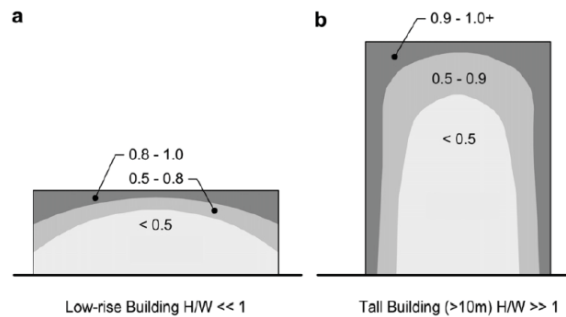


Figura V.5.- Valores del factor de captación en diferentes tipologías de edificio, derivadas de los estudios de los autores. En fachadas bajo aleros, este factor puede llegar a ser inferior incluso a 0,2 lo que ofrece una alta indeterminación sobre la exposición. Fuente: Straube y Burnett, 2000.

- $prep$ Intensidad de precipitación (mm) durante el intervalo de tiempo considerado.
- v_z Velocidad del viento a una altura z (m) definida por el edificio y la posición de captación del valor de lluvia batiente. Dado que se adopta un valor único de 0,9 como valor promedio desfavorable, y que el mismo se da en esquinas y zonas altas del edificio, se adoptará como altura z , la correspondiente a la cornisa superior del mismo, como condición más desfavorable.
- K_{WDR} Coeficiente de lluvia batiente, inversamente proporcional a la velocidad terminal de caída de la gota de agua de lluvia (m/s) y por lo tanto dependiente de su tamaño, siendo:

$$K_{WDR} = \frac{1}{vel.terminal}$$

Esta velocidad terminal de caída ha sido intensamente analizada, pudiéndose aproximar con un alto grado de precisión a través de la expresión publicada por Dingle y Lee (1972), que se muestra a continuación:

$$vel.terminal \approx 0,054888 \varnothing^3 - 0,888016 \varnothing^2 + 4,91884 \varnothing - 0,16603$$

Obviamente, el diámetro de todas las gotas de agua es variable en una precipitación y por lo tanto, también lo son sus respectivas velocidades terminales.

Varios han sido los intentos para caracterizar la distribución de diámetros de gota que se producen en una precipitación, basados en múltiples modelos matemáticos y observaciones empíricas. Relevante es la distribución propuesta por Best (1950), estimando dicha distribución en base a la intensidad de la precipitación.

No obstante, resulta más sencillo el procedimiento presentado por Cornick et al. (2002), a través del cual se determina el diámetro medio de la precipitación D_{50} (el 50% de las gotas presentes en la atmósfera tienen un tamaño inferior al indicado) y el diámetro predominante de la precipitación D_{pred} (diámetro de las gotas de agua que representan el mayor volumen de agua en la atmósfera), a partir de la intensidad de la precipitación:

$$D_{50} = 1,102353 \cdot prep^{0,232}$$

$$D_{pred} = 1,001126 \cdot prep^{0,232}$$

Se considera para este trabajo más apropiada la utilización de un diámetro de gota de lluvia predominante, por ser una indicación más precisa de la distribución fundamental de las gotas existentes en la atmósfera.

Substituyendo las anteriores expresiones y simplificaciones en la ecuación V.1, se llega a la siguiente expresión, que determina la lluvia batiente en la condición real de servicio, a partir de la precipitación recogida y la velocidad de viento en las condiciones de altura y entorno definidas para el cerramiento:

$$WDR = \frac{0,9 \cdot v_z \cdot prep}{0,055 \cdot prep^{0,696} - 0,89 \cdot prep^{0,464} + 4,9244 \cdot prep^{0,232} - 0,166} \quad [\text{ec. V.2}]$$

La precisión de este método de estimación de la lluvia batiente (Straube y Burnett, 2000), al igual que para el método recogido en la norma UNE (estándar ISO), ha sido analizado recientemente por comparación con una tercera vía de estimación basada en programas de simulación numérica mediante elementos finitos (Blocken y Carmeliet, 2010) (Blocken et al., 2010 y 2011).

Estos métodos CFD (Choi 1991, 1993, 1994a y 1994b) (Blocken y Carmeliet, 2002 y 2007), han demostrado que los procedimientos semi-empíricos presentan limitaciones relevantes. Precisamente, la indeterminación en el coeficiente de captación utilizado a la hora de estimar con precisión la cantidad de lluvia recogida sobre fachadas de geometrías y configuraciones concretas, es la principal causa de su menor precisión.

No obstante, su utilización permite obtener de forma ágil y funcional resultados de exposición, con una muy limitada complejidad de cálculo y de forma generalizada para un gran número de emplazamientos y situaciones de servicio que de otra manera serían inasumibles mediante laboriosas simulaciones CFD. Así, el método de Straube y Burnett, se considera suficientemente preciso y funcional para los objetivos prácticos y funcionales marcados para este trabajo.

Con las anteriores aproximaciones y contando con los datos climáticos de precipitación y velocidad de viento referidos a intervalos de 10 minutos, es posible obtener definitivamente el valor de lluvia batiente asociado a cada intervalo de 10 minutos en la serie histórica disponible.

La influencia de la altura del edificio puede ser simulada mediante la siguiente expresión potencial (wind power-law de Hellmann), donde z representa la altura del edificio en m:

$$v_{(z)} = v_{(10)} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha$$

Siendo:

$v_{(10)}$ la velocidad del viento medida en condiciones de referencia, a 10 m sobre la rasante libre de obstáculos. Este valor coincide de forma aproximada con los registros efectuados en las estaciones meteorológicas y por lo tanto, será en base a este valor, respecto al cual se aplicarán los cálculos posteriores basados en la determinación de periodos de retorno.

α coeficiente de fricción o de Hellmann derivado empíricamente, que puede aproximarse para edificios de altura z menor a 50 m (16 plantas) situados en un terreno abierto y de un valor constante e igual a 0,143 (ley de potencia de un séptimo), si bien existen aproximaciones mucho más exactas y detalladas, derivadas del tipo de entorno existente cerca del edificio. No obstante, se utilizará esta primera aproximación constante en primera instancia, a fin de no incrementar la complejidad del método que se propone.

Si se sustituye la anterior expresión potencial en la ecuación V.2, es posible llegar a la expresión general de la lluvia batiente, que permite determinar este parámetro en cualquier condición de servicio posible (z y α), únicamente partiendo de los registros climáticos disponibles ($prep$ y $v_{(10)}$)

$$WDR = \frac{0,9 \cdot v_{(10)} \cdot prep \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha}{0,055 \cdot prep^{0,696} - 0,89 \cdot prep^{0,464} + 4,9244 \cdot prep^{0,232} - 0,166} \quad [\text{ec. V.3}]$$

Combinando la determinación de esta velocidad a una determinada altura, con la estimación de la presión eólica establecida a partir de la velocidad de viento, es posible obtener la presión eólica asociada a duraciones de 10 minutos (definidas por el intervalo de registro de los datos climáticos), tomando un valor de densidad de aire de valor constante e igual a 1,2 kg/m³:

$$DRWP_z = 0,5 \cdot \rho_{aire} \cdot v_z^2 = 0,6 \cdot v_{(10)}^2 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{2 \cdot \beta} \quad [\text{ec. V.4}]$$

Partiendo de los datos diezminutales disponibles en este caso para la estación meteorológica de Jerez de la Frontera, es posible mediante estas aproximaciones a la presión eólica y a la lluvia batiente, determinar ambos parámetros en cada intervalo de 10 minutos entre los años 1992-2009.

Puede igualmente con ellos, establecerse los valores máximos de ambos parámetros que se dan anualmente para así, estimar el valor máximo de lluvia batiente o

presión eólica simultanea a lluvia, que se espera que se presente en un determinado periodo de retorno.

En la siguiente tabla se presenta la recopilación de valores máximos anuales de velocidad de viento producida entre los años 1992 y 2009 en Jerez de la Frontera, así como el proceso de cálculo estadístico realizado mediante la distribución de Gumbel (1958), que da lugar a la obtención de los parámetros necesarios para estimar los valores de viento asociados a diferentes periodos de retorno.

Tabla V.1.- Máximo valor anual de velocidad de viento registrado en intervalos diezminutales y cálculo de los parámetros de la distribución de Gumbel, para el cálculo de periodos de retorno.

Jerez de la Frontera. 36°45'02"N 06°03'21"W			
Año	Máxima U ₁₀ (m/s)	Año	Máxima U ₁₀ (m/s)
1992	10,7	2001	16,4
1993	11,5	2002	15,1
1994	10,9	2003	12,0
1995	11,5	2004	10,9
1996	13,6	2005	11,8
1997	13,4	2006	13,3
1998	11,9	2007	15,1
1999	13,4	2008	15,4
2000	13,3	2009	17,1

Magnitude	Value	Comment
N	18	Número de datos x_i .
\bar{x}	13,183	Promedio: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$
σ_x	1,907	Desviación estandar: $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}$
u_y	0,520	Promedio de 1 a N y_i valores de la variable reducida: $y_i = -\ln(\ln(\frac{N+1}{i}))$ (Solo depende del valor N y puede ser aproximado por un valor constante de 0,5772)
σ_y	1,048	Desviación estandar de 1 a N y_i valores de var. reducida: $y_i = -\ln(\ln(\frac{N+1}{i}))$ (Solo depende del valor N y puede ser aproximado por un valor constante de 1,2856)
$u_{(v10)}$	12,238	Moda: $u = \bar{x} - u_y \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$
$\alpha_{(v10)}$	0,54957	Parámetro de dispersión: $\alpha = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$

En la segunda tabla (V.2) se presenta la recopilación de valores máximos anuales de lluvia batiente, calculada según la aproximación de Straube y Burnett (2000), producida entre los años 1992 y 2009, así como el proceso de cálculo estadístico realizado mediante la distribución de Gumbel, que da lugar a la obtención de los parámetros necesarios para estimar los valores de precipitación asociados a diferentes periodos de retorno.

Tal y como se aprecia, los parámetros que rigen la aproximación estadística varían, dado que se trata de otra magnitud diferente. No obstante, estos parámetros serán constantes para la magnitud en cualquier condición de servicio que se produzca en el emplazamiento (en este caso Jerez de la Frontera), por lo que no han de ser nuevamente calculados para cada posible altura, entorno o configuración del cerramiento.

Tabla V.2.- Máximo valor anual de precipitación registrada en intervalos diezminutales y cálculo de los parámetros de la distribución de Gumbel, para el cálculo de periodos de retorno.

Jerez de la Frontera. 36°45'02"N 06°03'21"W			
Year	Máxima <i>prep</i> (mm/10 minutos)	Year	Máxima <i>prep</i> (mm/10 minutos)
1992	8,2	2001	6,4
1993	9,3	2002	17,9
1994	10,2	2003	6,5
1995	6,1	2004	7,2
1996	22,3	2005	3,7
1997	14,3	2006	7,5
1998	4,0	2007	9,7
1999	13,0	2008	9,2
2000	10,5	2009	13,2

Magnitude	Value	Comment
N	18	Número de datos x_i .
\bar{x}	9,956	Promedio: $\bar{x} = \sum x_i / N$
σ_x	4,633	Desviación estandar: $\sigma_x = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / N}$
u_y	0,520	Promedio de 1 a N y_i valores de la variable reducida: $y_i = -\ln(\ln(N + 1/i))$ (Solo depende del valor N y puede ser aproximado por un valor constante de 0,5772)
σ_y	1,048	Desviación estandar de 1 a N y_i valores de var. reducida: $y_i = -\ln(\ln(N + 1/i))$ (Solo depende del valor N y puede ser aproximado por un valor constante de 1,2856)
$u_{(prep)}$	7,658	Moda: $u = \bar{x} - u_y \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$
$\alpha_{(prep)}$	0,22623	Parámetro de dispersión: $\alpha = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$

Es necesario mencionar que los datos máximos recopilados de velocidad de viento se refieren a las velocidades de viento medidas en condiciones de referencia, en la estación meteorológica. Así pues, estos resultados únicamente son válidos para cerramientos con una altura máxima de 10 m sobre la rasante del terreno, siendo éste un espacio abierto y libre de obstáculos.

Para obtener los datos de velocidad de viento asociados a otras alturas del cerramiento y otros entornos y rugosidades del terreno, será necesario transformar la

velocidad en condiciones de referencia, mediante la ley potencial anteriormente presentada.

Una similar recopilación de datos y cálculos puede realizarse para cualquier otro emplazamiento, siguiendo el mismo procedimiento.

Ambas tablas permiten por lo tanto determinar las condiciones de exposición en condiciones reales, asociadas a un intervalo de 10 minutos similar al del ensayo y para un periodo de retorno determinado.

Solo resta establecer ahora, como criterio de comparación entre las condiciones reales de exposición y las utilizadas en el ensayo, el periodo de retorno con el cual se producirá en cualquier condición posible de servicio en este emplazamiento, la situación de exposición simulada durante el ensayo.

V.4.- ANALISIS DEL PERIODO DE RETORNO ASOCIADO A LA EXPOSICIÓN

Utilizando las anteriores expresiones para calcular la presión eólica y la lluvia batiente en condiciones reales de servicio, pueden utilizarse los datos diezminutales disponibles en Jerez de la Frontera para determinar los valores de ambos parámetros asociados a diferentes periodos de retorno, a través de la expresión de la distribución de Gumbel:

$$\frac{1}{TR \text{ combinado}} = P(x > \gamma) = 1 - e^{-e^{-\alpha x(x-u_x)}} \quad [\text{ec. V.5}]$$

Para ello se determina el valor de precipitación y de velocidad de viento asociado a cada periodo de retorno, para a continuación derivar de ellos los valores de ambos parámetros de exposición. La siguiente tabla ilustra este cálculo, ya utilizado y cuya naturaleza se presentó en el capítulo IV, en relación de los periodos de retorno de 3, 10, 30 y 50 años.

Tabla V.3.- Condiciones de exposición analizadas en Jerez de la Frontera, para un intervalo de registro de 10 minutos.

TR	Jerez de la Frontera	
	WDR (mm)	DRWP a 10m (Pa)
3 años	23,316	117,914
10 años	53,675	158,218
30 años	79,219	192,130
50 años	90,88	207,612

Si se plantean otras condiciones de altura en el edificio en el mismo emplazamiento, mediante la ley potencial anteriormente propuesta (wind power-law de Hellman), pueden obtenerse los valores de presión eólica que se producirían a dicha altura y para ese mismo periodo de retorno.

Así por ejemplo para un periodo de retorno de 50 años, la presión eólica en condiciones de referencia (10 m en terreno abierto y despejado) era igual a 207,612 Pa. Utilizando la ley potencial se obtiene, a una altura z, una presión eólica igual a:

$$207,612 = 0,5 \cdot 1,2 \cdot (v_{10m})^2$$

$$v_{10m} = 18,60 \text{ m/s}$$

$$v_{(z)} = 18,60 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,142857}$$

Se muestra a continuación la variación de las condiciones de presión eólica sobre el cerramiento, calculadas para diferentes alturas del mismo en el emplazamiento y considerando un entorno igualmente despejado de obstáculos y sensiblemente llano.

Tabla V.4.- Condiciones de presión eólica calculadas para diferentes alturas del edificio situado en Jerez de la Frontera, para un intervalo de registro de 10 minutos y un coeficiente de Hellmann igual a 1/7.

TR	Jerez de la Frontera		
	DRWP a 10m (Pa)	DRWP a 25m (Pa)	DRWP a 50m (Pa)
3 años	117,914	153,201	185,754
10 años	158,218	205,567	250,573
30 años	192,130	249,627	304,299
50 años	207,612	269,742	328,820

Tal y como se puede apreciar en la tabla, solo la presión de 150 Pa utilizada en el ensayo (llegando en algunos casos a 300 Pa), representa una presión eólica verosímil para Jerez de la Frontera, mientras que presiones superiores se repetirán en intervalos mucho mayores incluso a 50 años.

Así pues, al utilizar en el ensayo presiones eólicas de 450 o 600 Pa, se están simulando en definitiva velocidades de viento que difícilmente se darán simultáneamente a la precipitación en Jerez de la Frontera, por muy alto que sea el edificio que se pretende diseñar.

Incluso considerando una topografía especialmente favorable para el incremento de la velocidad del viento (terrenos abiertos al mar o a grandes superficies de agua, edificios situados sobre colinas o elevaciones pronunciadas del terreno), los valores máximos utilizados en el ensayo UNE-EN 12865:2002 son a todas luces desproporcionados en relación a las condiciones habituales en el emplazamiento.

No ocurre lo mismo con el valor de agua aplicado en el ensayo, que como recordaremos era de 2 mm/min. En conjunto, en un intervalo de 10 minutos como el utilizado en el ensayo, la cantidad de agua batiente sobre el cerramiento se evalúa en 20 mm/10'.

Realizando el mismo cálculo anterior, esta vez sobre la magnitud de lluvia batiente, se deduce que dicha cantidad de agua se dará sobre el cerramiento una vez cada 2,67 años de media, es decir, el periodo de retorno asociado al aporte de agua en el ensayo, corresponde para Jerez de la Frontera a 2,67 años.

Tabla V.5.- Periodos de retorno asociados a los diferentes parámetros de ensayo (supuesto un edificio de altura máxima 10 m), para un emplazamiento de pluviometría media en España.

	Jerez de la Frontera	
	valor	TR asociado
WDR ensayo	20	2,67 años
ΔP ensayo	150	7,72 años
	300	1.087,46 años
	450	Más de cien mil años
	600	Más de un millón de años

La tabla anterior, representa los periodos de retorno asociados a ambos parámetros del ensayo UNE-EN 12865:2002, en los cerramientos jerezanos para una altura de referencia de 10 metros. Como se aprecia, mientras se utiliza un aporte de agua bastante frecuente y por lo tanto escasamente severo, para la presión eólica se llegan a simular condiciones totalmente carentes de prestacionalidad y optimización.

A raíz de los datos expuestos, se considera que la probabilidad de que sobre los cerramientos jerezanos se den rachas de viento durante 10 minutos, que generen presiones eólicas superiores a 300 Pa, puede considerarse, sino nula, cuasi-despreciable.

Los resultados mostrados por lo tanto, ilustran una preocupante falta de realismo por parte de los ensayos de estanqueidad, cuyos parámetros se importan directamente de ámbitos europeos de mayor pluviometría y caracterizados por una mayor velocidad de viento.

La disponibilidad de 18 años de datos climáticos registrados se considera suficiente como para establecer previsiones precisas basadas en periodos de retorno, si bien un mayor número de años sería recomendable.

V.4.1.- HIPÓTESIS DE INDEPENDENCIA ENTRE LOS PARÁMETROS DE EXPOSICIÓN

Sin embargo, es necesario considerar que durante el ensayo no se simula una condición independiente de lluvia batiente o presión eólica, sino una situación de exposición configurada simultáneamente por ambos parámetros de exposición.

Así, la probabilidad de que en el mismo año se den tanto la lluvia batiente de ensayo, como la presión eólica ensayada, es mucho más reducida que la probabilidad de que se produzca solo una de las variables por separado.

Si se suponen que ambas magnitudes son independientes entre sí (no existe ninguna relación entre la lluvia batiente y la presión eólica simultánea a la misma), la probabilidad combinada de que ambos fenómenos se produzcan en el mismo año se podría calcular del siguiente modo (probabilidad independiente):

$$P(WDR \cap DRWP) = P(WDR) \cdot P(DRWP)$$

Dado que el periodo de retorno representa el número de años en el cual se espera de media que se produzca un determinado fenómeno, éste puede calcularse como la inversa de la probabilidad de ocurrencia de dicho fenómeno en un año concreto, tal y como se ha mostrado en la ecuación V.5:

$$TR(WDR \cap DRWP) = \frac{1}{P(WDR \cap DRWP)} = TR(WDR) \cdot TR(DRWP) \quad [\text{ec. V.6}]$$

Así pues, si lluvia batiente y presión eólica se consideran dos parámetros independientes, el periodo de retorno asociado a la exposición simulada en el ensayo

podría calcularse directamente multiplicando el periodo de retorno con el cual se producen ambos parámetros independientemente:

Tabla V.6.- Periodos de retorno asociados a la simultaneidad de ambos parámetros, considerando los mismos independientes entre sí, para Jerez de la Frontera, considerando un edificio de 10 m de altura.

Combinación	Jerez de la Frontera			
	Prob. (WDR)	Prob. (DRWP)	Probabilidad combinada	TR combinado
20 mm y 150 Pa	1/2,67	1/7,72	1/20,61	20,61 años
20 mm y 300 Pa	1/2,67	1/1.087,46	1/2903,52	2.903,51 años

Dada la vida útil habitual en una vivienda, que puede estimarse en un periodo de entre 30 y 50 años, parece a todas luces desproporcionado ensayar situaciones que lleguen a aplicar un diferencial de presión sobre la muestra de ensayo de 300 Pa, para cualquier cerramiento utilizado en Jerez de la Frontera. El coeficiente de seguridad que se está aplicando en ese caso, sería sencillamente desproporcionado a todas luces.

Dado que como se ha analizado en el capítulo IV, Jerez de la Frontera presenta unos parámetros de exposición medios-moderados dentro de lo habitual en nuestro país, esta desproporción podría perfectamente extrapolarse a otras muchas ciudades de España.

En cualquier caso, el coeficiente de seguridad que se está considerado mediante esta estimación va más allá, ya que el hecho que de ambos parámetros puedan darse en el mismo año, no implica que los mismos vayan a darse en los mismos 10 minutos de precipitación.

Habida cuenta de que de media en la ciudad de Jerez se producen un total de 834 intervalos anuales de 10' con precipitación y presión eólica, las probabilidades de que ambos valores o superiores se den simultáneamente, son todavía mucho menores.

V.4.2.- HIPÓTESIS DE DEPENDENCIA ENTRE LOS PARÁMETROS DE EXPOSICIÓN

Queda comprobar no obstante, que efectivamente, ambas variables (lluvia batiente) y presión de viento, son independientes y que por lo tanto, el periodo de retorno combinado puede estimarse mediante la ecuación V.6 anterior:

Dado que la velocidad de viento v , interviene simultáneamente en las expresiones para el cálculo de la presión eólica (ec. V.4) y la lluvia batiente (ec V.3), lógicamente ambos parámetros tienen una cierta relación entre sí, de tal manera que su valor y ocurrencia no son estrictamente independientes.

Es necesario por lo tanto establecer una estimación del periodo de retorno de mayor complejidad que la simple consideración de probabilidades independientes.

Sin embargo, tal y como se observa de las siguientes figuras, la relación entre lluvia batiente (WDR) y presión eólica (DRWP) no es lo suficientemente fuerte como para poder afirmar que las mayores presiones eólicas se dan simultáneamente a los mayores valores de lluvia batiente y viceversa:

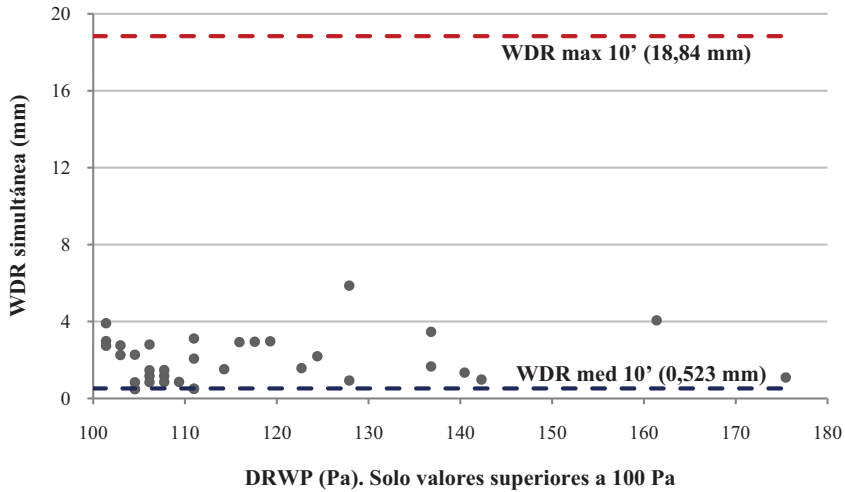


Figura V.6.- Lluvia batiente simultánea a los intervalos de 10' de mayor presión eólica en Jerez de la Frontera (puntos), para el periodo 1992-2009 en edificios de 10 m de altura.

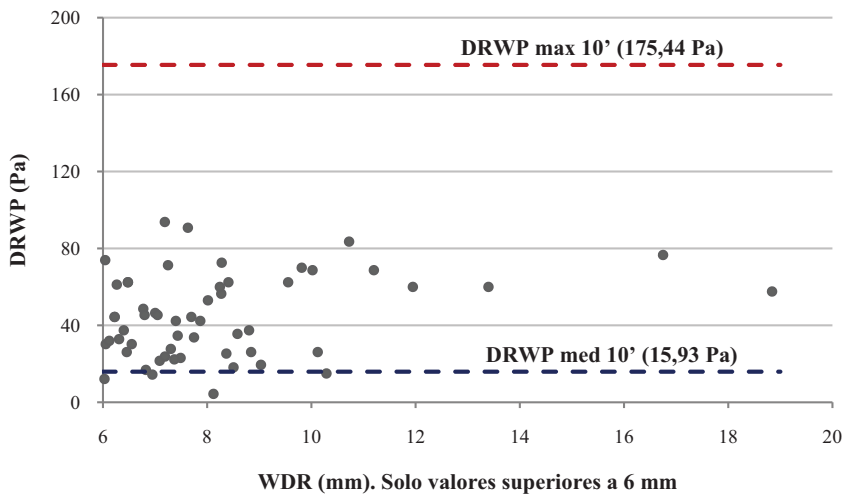


Figura V.7.- Presión eólica simultánea a los intervalos de 10' de mayor lluvia batiente en Jerez de la Frontera (puntos), para el periodo 1992-2009 en edificios de 10 m de altura.

Tal y como se observa, los mayores valores de presión eólica sobre el cerramiento de 10 m se dan simultáneamente a valores de lluvia batiente habitualmente superiores a la media, pero alejados de los máximos registrados.

Del mismo modo, esos valores máximos de lluvia batiente se dan acompañados habitualmente de presiones eólicas superiores a la media, pero también alejados de los valores máximos registrados.

No existe por lo tanto una correlación fuerte entre la magnitud de ambos factores, pero si, una cierta tendencia. Este hecho puede interpretarse analizando las ecuaciones que definen ambos fenómenos (ec. V.3 y ec. V.4):

Una velocidad de viento elevada, por un lado generará una elevada presión eólica sobre el cerramiento (ec. V.4), al mismo tiempo que aumentará la lluvia batiente registrada (ec. V.3).

No obstante, para que la lluvia batiente sea elevada, el parámetro precipitación debe ser igualmente alto. Con una precipitación baja o moderada, la lluvia batiente se verá incrementada por la acción del viento, pero aun así estará alejada de los valores de lluvia batiente máxima que solo se darán cuando se conjuguen precipitaciones altas o moderadas, con vientos altos o moderados (ninguno de los dos parámetros habría de ser máximo).

Es decir, mientras que la presión eólica es directamente proporcional a la velocidad registrada en el viento, la lluvia batiente registrada se ve únicamente ponderada ligeramente por dicho valor de viento, influyendo de forma más decisiva la magnitud de lluvia registrada. Un valor de lluvia alto con viento moderado, puede ofrecer valores de lluvia batiente superiores a los obtenidos con una lluvia moderada y viento máximo.

V.4.2.1.- Análisis de la dependencia entre precipitación y velocidad del viento

Una vez demostrada la ligera dependencia entre ambos parámetros de exposición, se va a analizar si existe alguna dependencia entre los factores climáticos que los definen (precipitación y velocidad de viento).

Para ello, como en el caso anterior, se van a representar los valores de precipitación (prep.) simultáneos a las mayores velocidades de viento v (figura V.8), así como los valores de velocidad de viento simultáneos a los intervalos de mayor precipitación (figura V.9).

Tal y como se observa, las mayores velocidades de viento suelen darse de forma simultánea a precipitaciones medias, por lo tanto muy alejadas de las máximas. Similarmente, las mayores precipitaciones vienen acompañadas de velocidades de viento medias o ligeramente superiores a la media.

No puede por lo tanto establecerse la existencia de relación alguna entre la lluvia que se registra en un momento dado y la velocidad del viento que acontece en ese momento, por lo que ambos factores meteorológicos, pueden a efectos prácticos considerarse totalmente independientes:

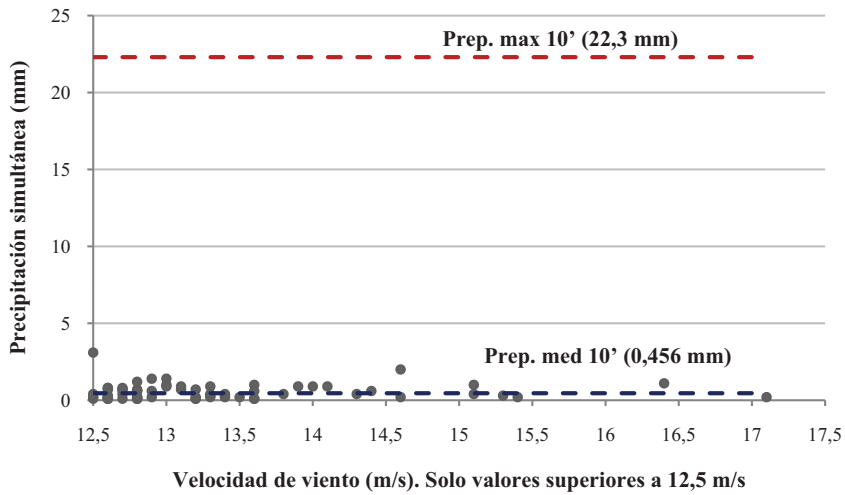


Figura V.8.- Valor de precipitación simultánea a los intervalos de 10' de mayor velocidad de viento en Jerez de la Frontera, para el periodo 1992-2009 en edificios de 10 m de altura.

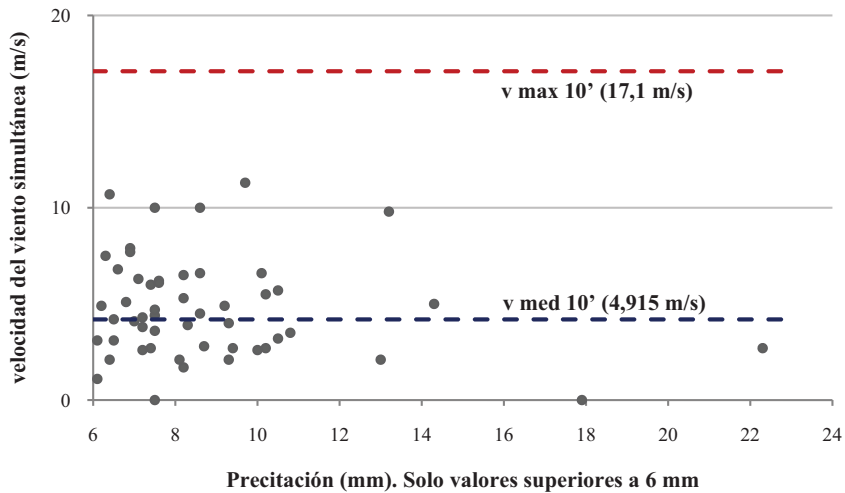


Figura V.9.- Velocidad de viento simultánea a los intervalos de 10' de mayor precipitación en Jerez de la Frontera, para el periodo 1992-2009 en edificios de 10 m de altura.

En vista de los anteriores resultados, es necesario reformular la ecuación V.6, que no tiene en cuenta la dependencia entre WDR y DRWP, planteando una probabilidad condicionada para la ocurrencia simultánea de ambos parámetros y por ende, de la situación de exposición (Bayes, 1763):

$$P(WDR \cap DRWP) = P(DRWP) \cdot P(WDR|DRWP) \quad [\text{ec. V.7}]$$

$$TR(WDR \cap DRWP) = \frac{1}{P(WDR \cap DRWP)} = TR(DRWP) \cdot TR(WDR|DRWP) \quad [\text{ec. V.8}]$$

En estas expresiones ($WDR|DRWP$), representa la probabilidad de que se produzca una determinada lluvia batiente sobre el cerramiento, si también se produce una determinada presión de viento.

La resolución de esta probabilidad condicionada para determinar el periodo de retorno con el cual se produce la exposición, se aborda en el siguiente apartado.

V.4.2.2.- Resolución de la probabilidad dependiente identificada entre ambos parámetros de exposición

A la luz de los anteriores resultados y de otros estudios realizados en otros emplazamientos (Cornick y Lacasse, 2005), no puede concluirse por lo tanto, que exista una dependencia directa entre la magnitud de ambos fenómenos (viento y lluvia), pero si existe una correlación o ponderación entre la lluvia batiente y la presión eólica, ya que una mayor presión eólica tiende a incrementar ligeramente el resultado de lluvia batiente.

Dicha dependencia debe ser evaluada a fin de obtener el periodo de retorno combinado de ambas variables, representativo del periodo de repetición de la situación de exposición sobre el cerramiento (ecuación V.8).

Recuperando las expresiones que nos permiten calcular la presión eólica y lluvia batiente existente sobre el muro, es posible calcular la probabilidad condicionada ($WDR|DRWP$):

$$DRWP_z = 0,6 \cdot v_{(10)}^2 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{2-\alpha} \quad [\text{ec. V.4}]$$

$$WDR = \frac{0,9 \cdot v_z \cdot prep}{0,055 \cdot prep^{0,696} - 0,89 \cdot prep^{0,464} + 4,9244 \cdot prep^{0,232} - 0,166} \quad [\text{ec. V.2}]$$

Operando, obtenemos la expresión que relaciona la lluvia batiente registrada con las condiciones de precipitación y velocidad de viento existentes simultáneamente:

$$WDR = \frac{v_{(10)} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}} \quad [\text{ec. V.9}]$$

$$WDR = \frac{\sqrt{1,6666 \cdot DRWP_z}}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}} \quad [\text{ec. V.10}]$$

Si adoptamos una altura máxima en el edificio de 10 m, las anteriores expresiones pueden ser utilizadas directamente basándonos en los datos climatológicos

recopilados en las estaciones meteorológicas de la agencia, sin necesidad de introducir un valor z o α en ninguna de las ecuaciones.

Suponiendo esta altura de 10 m y que el valor de presión eólica simulado en el primer escalón del ensayo UNE-EN 12865:2002 es igual a 150 Pa, es sencillo determinar la velocidad del viento necesaria para producir dicha presión, a través de la ecuación V.4:

$$150 = 0,6 \cdot v_{(10)}^2 \cdot 1$$

$$v_{(10)} = 15,811 \text{ m/s}$$

Del mismo modo, sabiendo que en ensayo se aportan 20 mm de agua a lo largo de 10 minutos, es también posible a través de las ecuaciones V.7 o V.8, determinar la precipitación necesaria, para que simultánea a esa presión o velocidad de viento, se produjera un aporte de agua de 20 mm:

$$20 = \frac{\sqrt{1,6666 \cdot 150}}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$prep = 8,03 \text{ mm}$$

El mismo procedimiento anterior puede seguirse para los restantes escalones de presión, determinando la precipitación que ha de darse de forma simultánea a dicha presión para obtener la lluvia batiente aplicada durante el ensayo:

$$20 = \frac{\sqrt{1,6666 \cdot 300}}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$prep = 5,30 \text{ mm}$$

$$20 = \frac{\sqrt{1,6666 \cdot 450}}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$prep = 4,15 \text{ mm}$$

$$20 = \frac{\sqrt{1,6666 \cdot 600}}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$prep = 3,48 \text{ mm}$$

Como se observa, cuanto mayor es la presión eólica utilizada en el ensayo, menor precipitación es necesaria para alcanzar el valor de lluvia batiente determinado y por lo tanto, menor será el periodo de retorno asociado a esa precipitación.

Si nos centramos en el escalón de presión de 150 Pa, unas condiciones simultáneas de 15,811 m/s y 8,03 mm de precipitación a lo largo de 10 minutos, producirían unas condiciones reales sobre el cerramiento idénticas a las simuladas en el ensayo por 150 Pa de diferencia de presión y un aporte de agua de 20 mm.

La probabilidad de que se produzca sobre el cerramiento una presión de 150 Pa, es la misma que la probabilidad de que se produzca sobre el cerramiento una velocidad de viento de 15,811 m/s, luego es posible expresar:

$$P(DRWP_i) = P(v_{(10)_i})$$

$$P(150 Pa) = P(15,811 m/s)$$

De la misma manera, la probabilidad de que se produzca una lluvia batiente de 20 mm si también se da una presión eólica de 150 Pa, es la misma que la probabilidad de que se produzca una lluvia batiente de 20 mm con una velocidad de viento de 15,811 m/s.

Bajo esas condiciones de velocidad, la única precipitación que puede proporcionar una lluvia batiente semejante es de 8,03 mm, como se ha deducido antes. Así pues, estas probabilidades pueden expresarse también de la siguiente manera:

$$P(WDR_i | DRWP_i) = P(WDR_i | v_{(10)_i})$$

$$P(20 mm | 150 Pa) = P(20 mm | 15,811 m/s)$$

$$P(20 mm | 150 Pa) = P(8,03 mm)$$

Por lo tanto, el proceso de resolución de la probabilidad condicionada presentado en la ecuación V.7, se puede expresar de forma generalizada del siguiente modo, pasando a depender únicamente de la probabilidad independiente de ocurrencia de los dos factores climáticos necesarios para producir la exposición:

$$P(WDR_i \cap DRWP_i) = P(DRWP_i) \cdot P(WDR_i | DRWP_i)$$

$$P(WDR_i \cap DRWP_i) = P(v_{(10)_i}) \cdot P(WDR_i | v_{(10)_i})$$

$$P(WDR_i \cap DRWP_i) = P(v_{(10)_i}) \cdot P(prepi)$$

El periodo de retorno global de la situación de exposición utilizada en el ensayo, en condiciones reales de servicio, puede obtenerse de forma simple aplicando la siguiente expresión:

$$TR(WDR_i \cap DRWP_i) = TR(DRWP_i) \cdot TR(WDR_i | DRWP_i)$$

$$TR(20 mm \cap 150 Pa) = TR(15,811 m/s) \cdot TR(8,03 mm)$$

Analizando en cada emplazamiento, el periodo de retorno con el que se producen valores de precipitación diezminutales mayores o iguales a 8,03 mm, podemos determinar cuál sería el periodo de retorno de la lluvia batiente diezminutal de 20 mm, simultánea a la presión de 150 Pa, es decir, la probabilidad condicionada (WDR|DRWP).

Dado que en las tablas V.1 y V.2 se calcularon los parámetros necesarios para determinar el periodo de retorno de cualquier valor de velocidad de viento y precipitación en el emplazamiento de Jerez de la Frontera, el cálculo del periodo de retorno combinado

asociado a la exposición de ensayo puede resolverse utilizando las ecuaciones V.5 y V.8, tal y como se recoge en la siguiente tabla:

Tabla V.7.- Periodos de retorno asociados a la simultaneidad de ambos parámetros, analizándola dependencia entre ambos, para la ciudad de Jerez de la Frontera en un edificio de 10 m de altura.

Combinación	Jerez de la Frontera			
	Prob. (DRWP)	Prob. (WDR DRWP)	Probabilidad combinada	TR combinado
20 mm y 150 Pa	1/7,64	1/1,66	1/12,79	12,79 años
20 mm y 300 Pa	1/261,21	1/1,22	1/319,20	319,20 años
20 mm y 450 Pa	1/4127	1/1,12	1/4634	4.634 años
20 mm y 600 Pa	despreciable	1/1,08	despreciable	Casi infinito

Tal y como se aprecia, dado que ambos parámetros de exposición (lluvia batiente y presión eólica) se encuentran relacionados entre sí, los periodos de retorno asociados a la exposición son algo menores que los obtenidos en la tabla V.6, considerando que ambos parámetros son independientes.

En caso de que el edificio contara con una altura superior a 10 m, sería necesario previamente a la estimación del periodo de retorno, determinar la presión eólica equivalente a la altura de referencia de 10 m, ya que las series estadísticas obtenidas de las estaciones meteorológicas solo hacen referencia a factores atmosféricos en condiciones de referencia:

Supongamos que el cerramiento anterior está ubicado a una altura de 50 m en lugar de a 10 m sobre la rasante. Dado que el ensayo mantiene 150 Pa sobre la muestra de ensayo, una presión eólica de 150 Pa a 50 m de altura equivale, aplicando la ley potencial anteriormente presentada, a:

$$DRWP_z = 0,6 \cdot v_z^2$$

$$150 = 0,6 \cdot v_{50}^2$$

$$v_{50} = 15,811 \text{ m/s}$$

$$15,811 = v_{10} \cdot \left(\frac{50}{10}\right)^{0,142857}$$

$$v_{10} = 12,563 \text{ m/s}$$

$$DRWP_{10m} = 0,6 \cdot 12,563^2 = 94,703 \text{ Pa}$$

Será por lo tanto en base a una velocidad de 12,563 m/s, respecto a la cual se calculará el periodo de retorno asociado, que en este caso es igual a 2,94 años.

Por otro lado, si la lluvia batiente utilizada durante el ensayo (igual a la que se producirá a una altura de 50 m), se mantiene constante e igual a 20 mm / 10 minutos de ensayo, es también posible determinar la precipitación, que simultanea a la presión eólica calculada, daría ese mismo caudal de lluvia batiente a una altura de 50 m:

$$20 = \frac{\sqrt{1,6666 \cdot 150}}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$prep = 8,03 \text{ mm}$$

Determinando la probabilidad de ocurrencia de ambos factores meteorológicos mediante la distribución de Gumbel es posible determinar el periodo de retorno con el que se producirán, a una altura de 50 m, los parámetros de 150 Pa y 20 mm simulados en el ensayo:

Tabla V.8.- Periodo de retorno asociado a la simultaneidad de ambos parámetros, analizando la dependencia entre ambos, para la ciudad de Jerez de la Frontera en un edificio de 50 m de altura.

Combinación a 50 m de altura	Jerez de la Frontera			
	Prob. (DRWP)	Prob. (WDR DRWP)	Probabilidad combinada	TR combinado
20 mm y 150 Pa	1/1,77	1/1,66	1/2,94	2,94 años

Como se aprecia, las probabilidades de que a una altura de 50 m se den lluvias batientes de 20 mm y presiones eólicas de 150 Pa durante 10 minutos, son mucho mayores que las probabilidades de que se den a una altura de 10 m sobre la rasante (2,94 años frente a 12,71 años).

Ello se debe a que a una altura de 50 m, la velocidad del viento se considera muy superior que la que se produce a una altura de 10 m. Obviamente, una mayor altura del edificio implica una mayor presión eólica sobre la cornisa que si el edificio fuera de menor altura. En consecuencia, el resultado tiene pleno sentido físico.

Es decir, las mismas condiciones que a una altura de 50 m generaran una presión eólica de 150 Pa y 20 mm de WDR, a una altura de 10 m solo producirían una presión eólica de 94,703 Pa y una lluvia batiente igual a:

$$WDR = \frac{\sqrt{1,6666 \cdot 94,703}}{0,0612 \cdot 8,03^{-0,304} - 0,9889 \cdot 8,03^{-0,536} + 5,4716 \cdot 8,03^{-0,768} - 0,1845 \cdot 8,03^{-1}}$$

$$WDR = 15,891 \text{ mm}$$

Ambos parámetros equivalentes a una altura de 10 m son inferiores a los que se dan a una altura de 50 m, por lo que las probabilidades de que se de esta condición (y por lo tanto la condición estipulada a 150 m), son mucho mayores.

En todo caso como en la disertación anterior, es necesario a recordar que el hecho de que ambos fenómenos se produzcan en el mismo año definido por el periodo de retorno combinado que se ha calculado (por ejemplo WDR de 20 mm y P. eólica de 150 Pa), no significa que ambos vayan a darse de forma simultánea: su probabilidad de coocurrencia es todavía menor a la indicada (por lo que se asume implícitamente un elevado coeficiente de seguridad sobre los resultados de los ensayos).

Assumiendo que de media se producen en Jerez de la Frontera 834 intervalos diezminutales con lluvia (basado en las series analizadas que van de 1992 a 2009), y que no existe ninguna relación de dependencia entre la precipitación y la velocidad de viento simultánea a la misma, la probabilidad de que ambos eventos, dándose en el mismo año, además se den en el mismo evento de lluvia es muy reducida:

$$P = \frac{1}{834} \cdot \frac{1}{834} \approx 0,0001437 \%$$

Esta probabilidad, aunada a la de que ambos eventos se den en ese mismo año (TR combinado), justifica el razonamiento de que las condiciones actualmente ensayadas sobre los cerramientos edificatorios son absolutamente inverosímiles, desproporcionadas y poco realistas.

Dado que internacionalmente no se ha abordado el anterior estudio de forma rigurosa, nunca antes se había llegado a evaluar de forma objetiva la adecuación de los parámetros utilizados en los ensayos. Por el contrario, la práctica habitual desarrollada hasta el momento por todas las investigaciones consultadas (Choi, 1998; Cornick y Lacasse, 2005; Sahal y Lacasse, 2008) y publicadas en prestigiosas revistas internacionales de investigación en la materia, ha consistido en asociar el periodo de retorno de la exposición al periodo de retorno con el que se calculan WDR y DRWP individualmente.

Tal aproximación, constituye una simplificación muy poco realista, tal y como Cornick y Lacasse (2009), reconocen en su trabajo, pero aún así estos investigadores plantean únicamente la consideración de ambos factores como independientes, lo que a tenor del desarrollo matemático anteriormente expuesto, sigue siendo una caracterización poco afortunada.

Por lo tanto y por primera vez, un procedimiento de cálculo permite caracterizar sin ningún tipo de ambages, a tenor de los resultados superados en un ensayo de estanqueidad, cual es la prestación esperada para el cerramiento colocado en una condición de servicio concreta, es decir, cuál será el periodo de retorno de las condiciones de exposición reales que garantiza superar sin presentar problemas de estanqueidad.

Para ello únicamente es necesario conocer los datos climáticos asociados a un periodo de tiempo relativamente corto en el emplazamiento y las condiciones de servicio que el diseño prevea para el sistema de cerramiento ensayado.

No es necesario sin embargo, alterar de modo alguno las condiciones de utilización de los actuales ensayos de estanqueidad vigentes internacionalmente y el método puede ser aplicado directamente sobre cualquiera de ellos indistintamente, sirviendo todos ellos para caracterizar la prestación del cerramiento en cualquier emplazamiento con disponibilidad de los datos climáticos necesarios.

V.5.- PARÁMETROS DE ENSAYO ASOCIADOS A UN PERIODO DE RETORNO COMBINADO

A tenor de los resultados anteriormente obtenidos para Jerez de la Frontera, parece necesario establecer condiciones más realistas en los parámetros del ensayo UNE-EN 12865:2002.

Para ello, el método presentado puede también utilizarse en sentido contrario, estableciendo los parámetros de exposición de ensayo, asociados a las condiciones reales de exposición que se darán sobre el cerramiento para un periodo de retorno combinado de diseño (o prestación que se pretende que el cerramiento pueda garantizar).

Assumiendo el hecho de que si ambos eventos se dan en el mismo año, también se van a dar en el mismo intervalo diezminutal (lo que supone por sí mismo un elevado grado de seguridad), puede establecerse que cualquier cerramiento ha de mantener sus prestaciones ante solicitaciones que pueden repetirse con un periodo de retorno que oscila entre 30 y 50 años, considerado dicho valor como la vida útil habitual del cerramiento.

Conocido el periodo de retorno de las condiciones de exposición que el cerramiento ha de soportar sin filtraciones (adoptaremos 50 años en el cálculo mostrado a continuación incrementando así el coeficiente de seguridad, aunque puede utilizarse cualquier otro valor), fijando el periodo de retorno de uno de los dos parámetros de exposición en un valor razonable, puede deducirse mediante el planteamiento anterior, el periodo de retorno que regula la aparición del otro parámetro:

$$TR(WDR_i \cap DRWP_i) = TR(DRWP_i) \cdot TR(WDR_i | DRWP_i) = 50 \text{ años}$$

$$TR(WDR_i \cap DRWP_i) = TR(v_{10}) \cdot TR(pre_p) = 50 \text{ años}$$

Nótese que para estimar el periodo de retorno asociado a la presión eólica a partir de los datos disponibles, es necesario obtener el equivalente a dicha presión en las condiciones de un cerramiento de 10 m de altura (ya que esas son las condiciones de los datos meteorológicos utilizados para aplicar la distribución de Gumbel).

Assumiendo que una elevada presión eólica sobre el cerramiento contribuye decisivamente a la penetración de agua en condiciones de lluvia batiente sobre cerramientos nuevos sin defectos ni gran porosidad, podemos fijar en una primera propuesta el periodo de retorno para las condiciones de presión en 30 años, obteniendo consecuentemente el periodo de retorno para la lluvia batiente a determinar (1,666 años):

$$30 \text{ años} \cdot TR(WDR_i | DRWP_i) = 50 \text{ años}$$

$$TR(WDR_i | DRWP_i) = 1,666 \text{ años}$$

Haciendo un inciso, hemos de recordar, que en condiciones de ausencia de grietas, fisuras, discontinuidades o defectos de ejecución, efectivamente el viento es el principal responsable de la penetración del agua en el interior de los cerramientos (Cornick y Lacasse, 2005).

No obstante, en cerramientos en los que el paso de los años o una inadecuada ejecución ha generado estos defectos, presentando fisuras de tamaño superior a 1 mm, el agua puede, con independencia del viento existente, penetrar por sus propios medios en el interior de los materiales del cerramiento.

La presión eólica asociada a un intervalo de 10 minutos, con un periodo de retorno de 30 años en el emplazamiento de Jerez de la Frontera, para una altura de 10 m sobre la rasante del terreno, puede calcularse a partir de los parámetros obtenidos en la tabla V.1 para la distribución de Gumbel, invirtiendo el proceso de cálculo.

Esta presión se sitúa en 192,13 Pa, lo que a su vez equivale una velocidad del viento de 17,89 m/s o 64,42 km/h, a una altura sobre el suelo de 10 m.

Para determinar la presión eólica asociada a ese mismo periodo de retorno a otras alturas, es necesario utilizar la ley potencial anteriormente presentada para transformar la velocidad del viento. Así, para una altura de 50 m sobre la rasante, la presión eólica que se espera que se produzca sobre el cerramiento será:

$$v_{50} = v_{10} \cdot \left(\frac{50}{10}\right)^{0,142857}$$

$$v_{50} = 17,89 \cdot \left(\frac{50}{10}\right)^{0,142857}$$

$$v_{50} = 22,51 \text{ m/s}$$

$$DRWP_z = 0,6 \cdot v_z^2$$

$$DRWP_{50 \text{ m}} = 0,6 \cdot 22,51^2$$

$$DRWP_{50 \text{ m}} = 0,6 \cdot 22,51^2$$

$$DRWP_{50 \text{ m}} = 304 \text{ Pa}$$

Es obvio que ambas velocidades de viento se superan en el emplazamiento con mayor frecuencia que la indicada. Ha de recordarse en todo caso que no estamos trabajando con presiones eólicas habituales, sino solo con presiones eólicas simultáneas a la precipitación y que por lo tanto son solo esos valores de velocidad los que se han incluido en el cálculo estadístico.

Es por lo tanto mucho más improbable que se superen esas velocidades, si se impone la condición de que además esté lloviendo simultáneamente. Al situarse España en una zona no caracterizada por la ocurrencia de huracanes, tifones y grandes tormentas tropicales, las precipitaciones se producen estadísticamente acompañadas por rachas de viento con una velocidad sensiblemente inferior a las rachas en ausencia de lluvia.

Por otro lado, utilizando de la misma forma anterior los datos estadísticos de la distribución de Gumbel presentados en la tabla V.2, es posible calcular la intensidad de lluvia que se espera se produzca durante un intervalo de 10 minutos, a una altura de 10 m y con un periodo de retorno de 1,666 años: 8,041 mm.

Aunando este valor de precipitación con el valor de velocidad de viento que se da para un periodo de retorno de 30 años (17,89 m/s) y a su presión consiguiente de

192,13 Pa, es posible obtener el valor de lluvia batiente asociado a las condiciones de exposición que se han marcado:

$$WDR = \frac{\sqrt{1,6666 \cdot 192,13}}{0,0612 \cdot 8,04^{-0,304} - 0,9889 \cdot 8,04^{-0,536} + 5,4716 \cdot 8,04^{-0,768} - 0,1845 \cdot 8,04^{-1}}$$

$$WDR = 22,658 \text{ mm}$$

Por consiguiente, para simular el cerramiento bajo las condiciones reales definidas por un periodo de retorno de 50 años, el mismo debería ser capaz de soportar a lo largo de 10 minutos de ensayo, un aporte de agua de 2,2658 mm/min (valor algo superior al actual) y un valor de presión de 192,13 Pa (superior al primer escalón marcado, pero muy inferior a los siguientes).

No obstante, es posible obtener otras combinaciones posibles de exposición, manteniendo el periodo de retorno combinado en 50 años:

Una segunda propuesta de ensayo podría proponer una situación inversa a la anterior, considerando la presión eólica que se produciría con un periodo de retorno de 1,666 años y un periodo complementario para la lluvia batiente:

$$TR(WDR_i \cap DRWP_i) = TR(DRWP_i) \cdot TR(WDR_i | DRWP_i) = 50 \text{ años}$$

$$TR(WDR_i \cap DRWP_i) = TR(v_{10 i}) \cdot TR(p_{rep i}) = 50 \text{ años}$$

$$TR(DRWP_i) \cdot 30 \text{ años} = 50 \text{ años}$$

$$TR(DRWP_i) = 1,666 \text{ años}$$

La presión eólica asociada con un periodo de retorno de 1,666 años en el emplazamiento de Jerez de la Frontera se sitúa en 93,512 Pa, lo que a su vez equivale una velocidad del viento de 12,48 m/s o 45 km/h a una altura de 10 m.

La intensidad de lluvia que se da con un periodo de retorno de 30 años equivale a 22,618 mm para 10 minutos de intervalo.

Aunando este valor de precipitación con el valor de velocidad que proporciona una presión eólica de 93,512 Pa, se obtiene el valor de lluvia batiente asociado a las condiciones de ensayo que se han marcado:

$$WDR = \frac{\sqrt{1,6666 \cdot 93,512}}{0,0612 \cdot 22,62^{-0,304} - 0,9889 \cdot 22,62^{-0,536} + 5,4716 \cdot 22,62^{-0,768} - 0,1845 \cdot 22,62^{-1}}$$

$$WDR = 38,00 \text{ mm}$$

Por consiguiente, para simular el cerramiento bajo unas condiciones reales definidas por un periodo de retorno de 50 años, el mismo debería ser capaz de soportar a lo largo de 10 minutos de ensayo, un aporte de agua de 3,8 mm/min (muy superior al actual) y un valor de presión de 93,512 Pa (inferior incluso al primer escalón marcado).

Si las anteriores posibilidades de combinación son llevadas a sus valores límites para un mismo periodo de retorno de 50 años (combinaciones A y B), las mismas pueden caracterizarse en base a estos descriptores:

$$TR(WDR_i \cap DRWP_i) = TR(DRWP_i) \cdot TR(WDR_i | DRWP_i) = 50 \text{ años}$$

$$A) \quad 50 \text{ años} = 49 \text{ años} \cdot 1,02 \text{ años}$$

$$B) \quad 50 \text{ años} = 1,02 \text{ años} \cdot 49 \text{ años}$$

En la primera de las combinaciones, la presión eólica que se da con un periodo de retorno de 49 años equivale a 207,01 Pa, mientras que la lluvia que se da con un periodo de retorno de 1,02 años es de 1,606 mm durante 10 minutos. La lluvia batiente derivada de ambas condiciones se calcula como:

$$WDR = \frac{\sqrt{1,6666 \cdot 207,01}}{0,0612 \cdot 1,60^{-0,304} - 0,9889 \cdot 1,60^{-0,536} + 5,4716 \cdot 1,60^{-0,768} - 0,1845 \cdot 1,60^{-1}}$$

$$WDR = 6,227 \text{ mm}$$

Las condiciones del ensayo en la combinación límite A), deberían ser por lo tanto de un aporte de agua de 0,623 mm/min y una presión eólica de 207,01 Pa.

Estas condiciones de ensayo son las más exigentes para cerramientos sin fisuras e imperfecciones, en las que una elevada presión influye más decisivamente en la penetración del agua que una abundante lluvia batiente, ya que se maximiza la acción de la diferencia de presión en el ensayo. No obstante, otros parámetros habrían también de tenerse en cuenta:

El aporte de una cantidad muy baja de agua sobre la muestra de ensayo, como los 0,623 l/m² min que se propone en este caso, puede dar lugar a que partes de la muestra de ensayo carezcan de una película superficial de agua de escorrentía en todos sus puntos, anulando la validez del ensayo.

Será por lo tanto necesario garantizar en cualquier caso, que se aporta una cantidad de agua mínima para que toda la superficie analizada se vea sometida a las mismas condiciones de escorrentía de agua de lluvia.

En el segundo de las combinaciones límite, la presión eólica que se da con un periodo de retorno de 1,02 años equivale a 49,971 Pa, mientras que la lluvia que se da con un periodo de retorno de 49 años es de 24,816 mm durante 10 minutos. La lluvia batiente derivada de ambas condiciones se calcula como:

$$WDR = \frac{\sqrt{1,6666 \cdot 49,971}}{0,0612 \cdot 24,82^{-0,304} - 0,9889 \cdot 24,82^{-0,536} + 5,4716 \cdot 24,82^{-0,768} - 0,1845 \cdot 24,82^{-1}}$$

$$WDR = 30,097 \text{ mm}$$

Las condiciones del ensayo en la situación límite B), deberían ser por lo tanto de un aporte de agua de 3,010 mm/min y una presión eólica de 49,971 Pa. Estas condiciones de ensayo serían las más exigentes para cerramientos deteriorados, con grietas y fisuras de tamaño superior a 1 mm, en la que un abundante aporte de agua tiene más influencia en la penetración que una elevada presión.

Esta situación no es habitual en las muestras de ensayo, donde habitualmente éstas son ejecutadas expresamente para la realización del ensayo y por lo tanto, carecen de ese tipo de imperfecciones, aberturas y defectos. Es por ello que esta hipótesis sería mucho menos desfavorable que las anteriores para la muestra ensayada.

Tabla V.9.- Condiciones extremas y propuestas para el desarrollo del ensayo frente a la penetración de agua en cerramientos verticales para edificios de altura inferior a 10 m en Jerez de la Frontera, con duración de 10 minutos. Validación de la solicitud para las condiciones ambientales definidas por un periodo de retorno de 50 años

Combinación	Jerez de la Frontera		
	DRWP ~ ΔP (Pa)	Aporte de agua (l/m ² min)	TR combinado
Límite A	207,010	0,623	50 años
Propuesta 1ª	192,13	2,266	50 años
Propuesta 2ª	93,512	3,800	50 años
Límite B	49,971	3,010	50 años

Como se aprecia en la tabla anterior, un mayor periodo de retorno considerado para la presión eólica sobre la muestra de ensayo, se traduce en presiones a aplicar más altas. No ocurre sin embargo así con la lluvia batiente. Un mayor periodo de retorno para (WDR | DRWP), no implica necesariamente un mayor valor de lluvia batiente sobre el cerramiento, ya que también interviene la presión eólica que se produce simultáneamente para determinar ese valor.

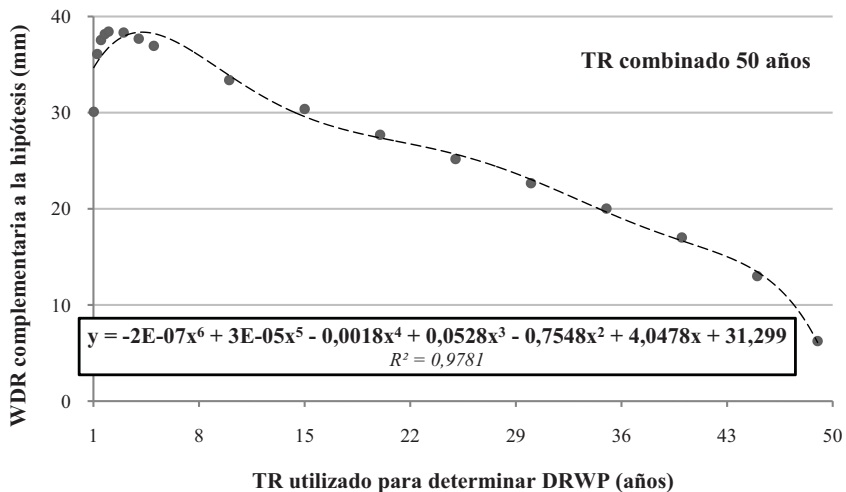


Figura V.10.- Valores de lluvia batiente complementarios a diferentes periodos de retorno para la presión eólica, dentro de la hipótesis combinada de solicitudes producidas con un periodo de retorno de 50 años, en Jerez de la Frontera.

El valor máximo de la variable de lluvia batiente para la hipótesis de periodo de retorno combinado de 50 años, se ha representado en la figura anterior, calculando el valor de lluvia batiente asociado a cada posible periodo de retorno fijado para la presión eólica. Adicionalmente se ha presentado una expresión matemática que ajusta de forma aproximadamente esta tendencia.

El máximo valor de lluvia batiente se da para periodos de retorno en la presión eólica bajos (2 a 3 años), lo que consecuentemente hace que para el cálculo de la lluvia batiente se adopten valores elevados de precipitación diezminutal (17 a 25 años).

Se deduce que si bien una mayor presión eólica tiende a incrementar la lluvia batiente, es un factor secundario frente a la influencia que la precipitación tiene en la cuantía de la lluvia batiente sobre el cerramiento.

A tenor de estos resultados, podría pensarse que las situaciones extremas de mayor exigencia sobre el cerramiento vienen definidas por la situación límite A (mayor presión posible para el periodo de retorno combinado de 50 años) y la situación de lluvia batiente con periodo de retorno de 2,5 años (mayor cantidad de lluvia batiente posible para el periodo de retorno combinado de 50 años). Cualquier condición intermedia a las anteriores, se definirá bien por valores de presión eólica, bien de lluvia batiente, inferiores a los indicados para éstas.

Tabla V.10.- Condiciones extremas de ensayo para la validación de la solución constructiva en base a un periodo de retorno de 50 años

Combinación	Jerez de la Frontera		
	DRWP ~ ΔP (Pa)	Aporte de agua ($l/m^2 \text{ min}$)	TR combinado
Extremo A	207,01	0,6227	50 años
Extremo B	111,01	3,851	50 años

Mientras que la condición extremo A sería el más adecuado para cerramientos de nueva ejecución, carentes de defectos de obra y con fisuras y porosidades inferiores a 0,5 mm (maximiza la presión), la condición extremo B sería especialmente desfavorable en cerramientos con problemas de durabilidad, ejecución inadecuado o con defectos y fisuras superiores a 1 mm (maximiza el aporte de agua por lluvia batiente).

No obstante, la condición extremo B no sería útil para estudiar cerramientos de nueva ejecución (como las muestras de ensayo) y la condición extremo A, dado el escaso caudal de agua aportado en el ensayo, podría producir zonas de la muestra de ensayo sin la suficiente cantidad de agua como para producir una lámina de agua de escorrentía superficial a toda la probeta, alterando las condiciones del ensayo en partes del cerramiento.

En cualquier caso, se ha demostrado que existen infinitas combinaciones de presión eólica y lluvia batiente, que dan lugar a un mismo periodo de retorno combinado definido para la situación de exposición. Para determinar de forma unívoca una única combinación, es necesario fijar uno de los dos parámetros que la definen.

El criterio más adecuado para establecer esta única solución para el sistema, consiste en adoptar como punto de partida uno de los parámetros fijados por el ensayo de estanqueidad que vaya a ser utilizado.

Así por ejemplo, puede imponerse una lluvia batiente igual a la aplicada durante el ensayo (2 mm/min, es decir 20 mm en el caso del ensayo UNE-EN 12865:2002).

De esta forma, la combinación de parámetros queda unívocamente definida y además, resulta equivalente a la utilizada en el ensayo, permitiendo evaluar prestacionalmente la equivalencia ente la combinación real y la utilizada durante la simulación del ensayo de estanqueidad, sin necesidad de variar los parámetros estandarizados que definen al ensayo.

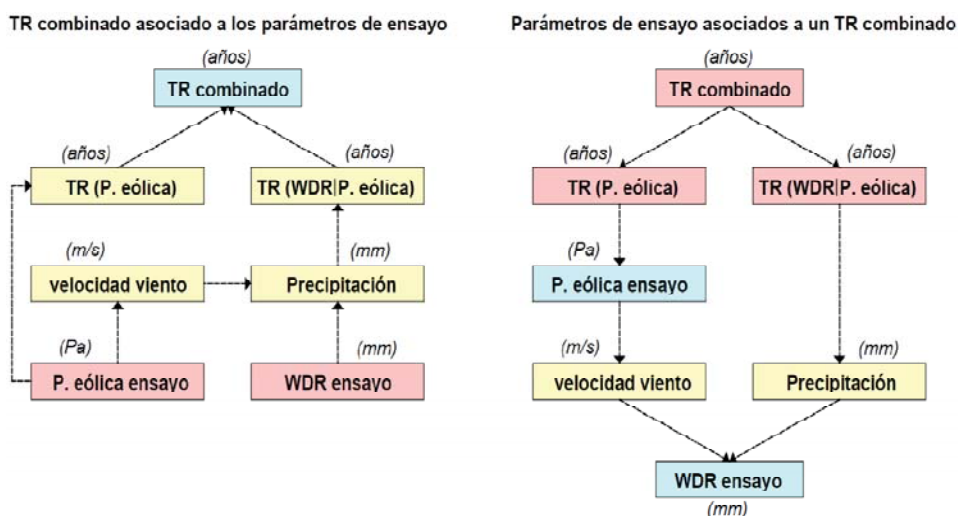


Figura V.11.- Resumen esquemático de los procesos de cálculo utilizados en los dos apartados anteriores. A la izquierda, determinación del periodo de retorno combinado que se utiliza dados los parámetros de ensayo. A la derecha, la presión eólica y lluvia batiente a utilizar, dado un periodo de retorno combinado y fijado uno de los dos periodos de retorno subsiguientes.

V.5.1.- PARÁMETRIZACIÓN PARA LLUVIA BATIENTE Y PERIODO DE RETORNO CONCRETOS

Parece por lo tanto claro, que más allá de otras consideraciones es necesario garantizar un aporte mínimo de agua sobre la probeta de ensayo, para posibilitar la existencia de unas condiciones de humedecimiento homogéneas sobre toda la muestra.

Partiendo del trabajo recopilatorio elaborado por Sahal y Lacasse (2008), la cuantía de agua aplicada en 14 ensayos de estanqueidad sobre cerramientos definidos en diferentes normativas internacionales (figura V.1), oscila entre unos valores muy similares, situándose entre 2 y 4 l/m² min, lo que equivaldría, para una duración del ensayo de 10 minutos, a un caudal de entre 20 y 40 l/m² min.

Como se aprecia, el menor caudal (2 mm/min), coincide con el valor utilizado por los estándares europeos y por consiguiente por las normas nacionales derivadas, como las españolas (UNE-EN 12865:2002; UNE-EN 12154:2000; UNE-EN 12155:2000; UNE-EN 13050:2011) o británicas (BS EN 12155:2000; BS ENV 13050:2001).

No obstante, determinar la cantidad de agua necesaria para generar una película de agua uniforme y constante sobre toda la superficie del cerramiento no es una tarea sencilla.

Dicha película depende de la rugosidad de la superficie exterior del cerramiento, absorción de su matriz porosa, energía cinética de la gota de agua al impactar, tensión superficial del agua sobre la superficie, ángulo de impacto de la lluvia, existencia de grietas, fisuras y juntas, capacidad de almacenamiento del material, ordenación de las juntas, altura del cerramiento... (Blocken et al., 2009); (Chew y Tan, 2003); (Blocken y Carmeliet, 2012); (Abuku et al., 2009); (Abuku, Blocken y Roels, 2009). Para finalizar, también las condiciones de presión eólica simuladas en el ensayo alteran el caudal de agua necesario.

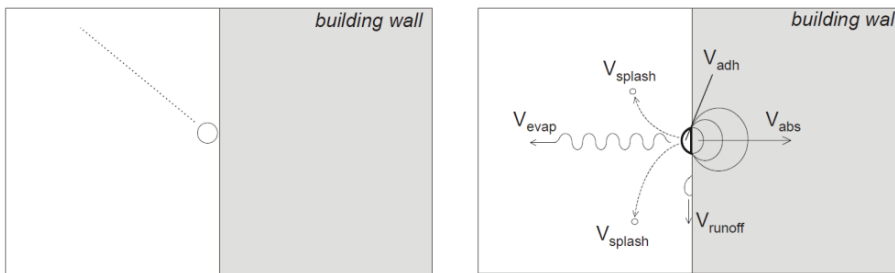


Figura V.12.- Evaluación de la lluvia batiente recibida por un cerramiento vertical, basada en aproximaciones semi-empíricas como las analizadas en este trabajo (izquierda). Parámetros relevantes a analizar en la evaluación de la respuesta del cerramiento ante dicha lluvia batiente. Solo una parte del agua impactada discurre superficialmente sobre la superficie (runoff). Fuente: Blocken et al. 2009.

Así pues, dependiendo de las características del material de revestimiento del cerramiento, se dará el caso de que por debajo de un determinado umbral de lluvia batiente, no se genere una lámina de agua de escorrentía, ya que todo el caudal aportado es inmediatamente absorbido por el cerramiento, retenido por irregularidades en el mismo o bien rebotado por la energía cinética del impacto. Definir por lo tanto un valor general mínimo de lluvia batiente para la aparición de escorrentía, es imposible.

El tiempo es igualmente un factor relevante en la ocurrencia de escorrentía en la superficie del cerramiento, ya que ésta no se produce hasta que los poros abiertos situados en la superficie del material han llegado a un estado de saturación.

Este hecho explica la necesidad impuesta por todos los ensayos, de someter a la probeta de ensayo a un humedecimiento previo, carente de presión externa, previamente al inicio del ensayo.

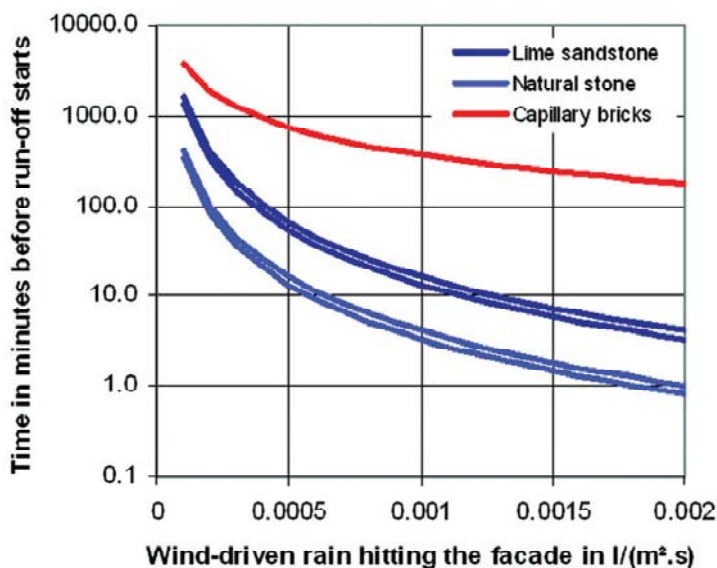


Figura V.13.- Intervalo de tiempo transcurrido entre el inicio de la lluvia batiente sobre el cerramiento y el comienzo del flujo de escorrentía sobre la superficie del cerramiento, para diferentes tipos de material. Fuente: Hens, 2010.

Todo ello hace que la estimación de las condiciones de este flujo superficial de agua sobre la superficie, sea sumamente complicada. Beijer (1977), estimó la velocidad de este flujo de agua sobre superficies de cemento en el rango de 0,007 a 0,022 m/s, con un espesor de lámina comprendida entre 0,04 y 0,12 mm y un caudal total entre 1 y 10 l/m·h.

Otros estudios, realizados en fachadas con diferentes alturas (Hall y Kalimeris, 1982), sitúan estos valores en espesores que van de 0,1 a 0,3 mm y velocidades entre 0,025 y 0,25 m/s, revelan la disparidad de resultados obtenidos si se modifican las situaciones de contorno antes enumeradas.

Todo lo anterior, hace necesario adoptar una cuantía mínima de aporte de agua necesaria a suministrar en el ensayo para garantizar las condiciones de absorción sobre toda la superficie del cerramiento y al mismo tiempo, condicionar que dicha cantidad de lluvia batiente sea lo menor posible, para maximizar la presión a aplicar en el ensayo (simulando así situaciones más desfavorables para cerramientos de nueva ejecución sin defectos, fisuras o grietas importantes).

Siguiendo ambos criterios, se adopta como válido el aporte de 2 mm/min (20 mm/10' de ensayo) sobre la probeta, valor mínimo estipulado en cuantos ensayos en la materia han sido consultados (Sahal y Lacasse, 2008).

No obstante, en la metodología que se presenta, este valor puede ser modificado, ajustándose a estimaciones más precisas en función de las condiciones de contorno presentes o bien a otros estándares de ensayo, que imponen valores de aporte de agua diferentes.

Fijado un valor mínimo de lluvia batiente de 2 mm/min como el mínimo necesario para mantener una película superficial continua de agua de escorrentía sobre la probeta de ensayo (coincidente además con el aporte de agua del ensayo UNE-EN 12865:2002), se va a establecer qué presión eólica debe aplicarse sobre la muestra de ensayo para simular unas condiciones de exposición iguales a las que se darían en las condiciones de servicio para un periodo de retorno razonable, fijado por ejemplo en 50 años.

Desgraciadamente, el cálculo partiendo de un único valor fijo y un periodo de retorno combinado (no de sus periodos de retorno subsiguientes), representa un cálculo algo más complejo que los dos anteriores, ya que se plantea un sistema formado por dos ecuaciones que es necesario resolver.

Una primera aproximación intuitiva puede basarse en sucesivas interpolaciones, tal y como se muestra en la tabla y figura siguiente. Partiendo de un valor de lluvia batiente de ensayo de 20 mm por cada 10 minutos, puede fijarse una determinada precipitación y a partir de la misma, determinar la velocidad de viento (y la presión eólica), que daría lugar a la lluvia batiente anterior en conjunción a cada precipitación.

Conocidos los valores de precipitación y la velocidad de viento, es posible determinar sus periodos de retorno y con ellos, el periodo de retorno combinado de ambos parámetros de exposición y por lo tanto de la situación de exposición, evaluando si es superior o inferior al buscado de 50 años.

La interpolación progresiva de diferentes valores de precipitación, acabará por dar como resultado la combinación de precipitación y velocidad de viento que generan una lluvia batiente de 20 mm/10', con unas condiciones eólicas que solo se repetirán simultáneamente a esa lluvia batiente, de media una vez cada 50 años.

Tabla V.11.- Proceso de interpolación seguido para estimar las condiciones de presión a utilizar fijada una lluvia batiente de 2 mm/min y un periodo de retorno combinado de 50 años.

Parámetros de ensayo			Periodos de retorno (años)		
WDR (mm/10')	Precipitación (mm)	$\Delta P \sim DRWP$ (Pa)	TR (WDR DRWP)	TR (DRWP)	TR combinado
20	5	330,4	1,19	3004	3.574
20	6	244,0	1,30	167,61	217,9
20	7	188,7	1,46	26,80	39,1
20	6,8	198,4	1,42	36,88	52,4
20	6,9	193,4	1,44	31,28	45,0
20	6,82	197,1	1,43	35,33	50,5

Presión de ensayo asociada a un TR combinado y a una lluvia batiente fija

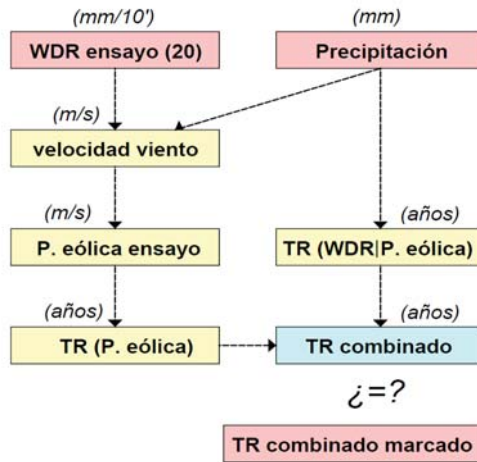


Figura V.14.- Resumen esquemático del proceso de cálculo utilizado. Determinación de la presión eólica de ensayo partiendo de un valor fijo de lluvia batiente (20mm/10 min) y un periodo de retorno combinado marcado (se sugiere adoptar 50 años). Sucesivas interpolaciones del valor de precipitación han de realizarse hasta obtener el periodo de retorno combinado buscado.

Este proceso no obstante, puede resolverse de un modo matemático preciso sin necesidad de interpolaciones, resolviendo el sistema de ecuaciones que se plantea mediante una herramienta informática.

Partiendo de las expresiones matemáticas que regulan la relación entre ambos parámetros de ensayo (ecuaciones V.3 y V.4) y de las expresiones matemáticas que regulan el cálculo del periodo de retorno o distribución de Gumbel (V.5 y V.8), podemos expresar:

$$WDR = \frac{v_{(10)} \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}} \quad [\text{ec. V.9}]$$

$$TR(x) = \frac{1}{P(x)} = \frac{1}{1-F(x)} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

$$TR(WDR_i \cap DRWP_i) = TR(v_{10 i}) \cdot TR(prepi)$$

$$TR_{combinado} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha v(v_{10}-u_v)}}} \cdot \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha prep(preprep-u_{preprep})}}} \quad [\text{ec. V.11}]$$

El sistema formado por las ecuaciones V.9 y V.11 cuenta con cuatro incógnitas (WDR, TR_{combinado}, prep, v₁₀) y varios parámetros fijados por el diseño previsto para el cerramiento (z y α, dependientes del edificio concreto y α_v, α_{prep}, u_v y u_{preprep}, dependientes del emplazamiento, constantes y presentados en las tablas V.1 y V.2 para la ciudad de Jerez de la Frontera). El valor de DRWP se obtiene directamente a partir del valor v₁₀. Fijando dos de las incógnitas, será posible por lo tanto resolver analíticamente la magnitud de las otras dos incógnitas.

Así, supuesto un cerramiento ubicado en Jerez de la Frontera con una altura z , fijado el valor de WDR como 20 mm y el periodo de retorno de las condiciones a determinar en 50 años, solo resta despejar el valor de prep. y v_{10} del sistema de ecuaciones anterior (ecuaciones V.9 y V11).

Conocido el valor de velocidad, puede extrapolarse automáticamente la presión eólica asociada y por lo tanto, la presión de ensayo que debería ser adoptada para simular junto con el aporte de agua del ensayo, unas condiciones que se repetirán en condiciones reales, de media cada 50 años.

Dado que el cálculo del periodo de retorno combinado solo puede realizarse en base a los valores obtenidos de las estaciones meteorológicas, cuya altura de referencia es de 10 m, la presión eólica debe deducirse a partir de la velocidad de referencia:

$$DRWP_z = 0,6 \cdot v_z^2 = 0,6 \cdot \left[v_{10} \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^{0,142857} \right]^2 = 0,6 \cdot (v_{10})^2 \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^{0,2857}$$

Este proceso de cálculo, aplicado para diferentes combinaciones de periodo de retorno y diseño del cerramiento, permite obtener los resultados recopilados en la tabla siguiente:

Tabla V.12.- Diferentes ejemplos de condiciones de ensayo obtenidas para Jerez de la Frontera, marcando la lluvia batiente mínima a aplicar en el ensayo y el periodo de retorno combinado que se desea en las condiciones de ensayo. Se simulan varias alturas de edificación.

Jerez de la Frontera (serie de datos utilizada para calcular los periodos de retorno)					
WDR ensayo (mm/10')	TR combinado (años)	Altura z del edificio (m)	DRWP_z (Pa)	TR años (WDR DRWP)	TR años (DRWP)
20	10	10	139,259	1,75	5,71
20	30	10	187,791	1,46	20,53
20	50	10	210,693	1,38	36,13
20	100	10	242,799	1,31	76,44
20	200	10	276,367	1,25	159,59
20	10	25 (8 alt.)	189,908	1,45	6,89
20	10	50 (16 alt.)	237,134	1,32	7,58
20	30	25 (8 alt.)	250,295	1,29	23,198
20	30	50 (16 alt.)	309,192	1,21	24,74
20	50	25 (8 alt.)	279,077	1,25	40,08
20	50	50 (16 alt.)	344,195	1,18	42,34
20	100	25 (8 alt.)	320,344	1,20	83,20
20	100	50 (16 alt.)	393,646	1,15	86,98

Como se aprecia de los resultados obtenidos en la tabla, un mayor periodo de retorno combinado implica la utilización de presiones de ensayo crecientes, al igual que la utilización del cerramiento en edificios de mayor altura, para un mismo periodo de retorno combinado. Estos resultados son por lo tanto lógicos y ajustados al sentido físico de los parámetros que se simulan.

Esta metodología propuesta solo depende de las condiciones de servicio reales en las que se pretenda utilizar el cerramiento y de las series climatológicas obtenidas en el emplazamiento donde va a ser ubicado. Así pues, los parámetros de entrada en esta metodología de determinación de los parámetros de ensayo son:

- WDR de ensayo en mm, condicionado por la necesidad de mantener una película constante de agua superficial sobre la muestra de ensayo, en toda su superficie. Se recomienda la utilización de un valor constante de 2 l/min (lo que equivale en ensayos de 10 minutos de duración a 20 mm).
- TR combinado en años, determinado en relación al grado de seguridad precisado para el cerramiento objeto de ensayo. Un valor de 50 años indicará que las condiciones simuladas y a las que el cerramiento es capaz de hacer frente, se repetirán de media, una vez cada 50 años.
- Altura z de diseño del edificio en metros. Una mayor altura implica que el cerramiento deberá someterse a unas condiciones más exigentes de presión, para un mismo periodo de retorno combinado y WDR.
- α_v parámetros de ajuste de la distribución Gumbel, para los datos de velocidad del viento obtenidos de la estación meteorológica del emplazamiento. El valor por lo tanto es constante y dependiente del emplazamiento. Solo la disponibilidad de un mayor número de datos climáticos, posibilitará la actualización de su valor. El parámetro de ajuste se determina como:

$$\alpha_v = \frac{\sigma_v}{\sigma_y}$$

Siendo:

σ_v la desviación estándar de la serie de máximos anuales de velocidad de viento en el emplazamiento, asociada a condiciones de referencia de 10 m de altura:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum (v_i - \bar{v})^2}{N}}$$

σ_y la desviación estándar de 1 a N valores de la variable reducida y_i , y que puede ser aproximada de forma simplificada por el valor constante de 1,2856, siendo la variable reducida:

$$y_i = -\ln \left(\ln \left(\frac{N+1}{i} \right) \right)$$

N, número de datos máximos anuales de la presión eólica en la estación meteorológica. Coincide con el número de años disponibles en los datos meteorológicos recopilados.

- α_{prep} parámetros de ajuste de la distribución Gumbel, para los datos de lluvia (precipitación), obtenidos de la estación meteorológica del emplazamiento. El valor por lo tanto es constante y dependiente del emplazamiento. Solo la disponibilidad de un mayor número de datos climáticos, posibilitará la actualización de su valor.
- u_v moda de la distribución de Gumbel, para los datos de velocidad de viento obtenidos de la estación meteorológica del emplazamiento. El valor por lo tanto es constante y dependiente del emplazamiento. Solo la disponibilidad de un mayor número de datos climáticos, posibilitará la actualización de su valor. El parámetro de ajuste se determina como:

$$u_v = \bar{v} - u_y \frac{\sigma_v}{\sigma_y}$$

Siendo:

u_y el promedio de 1 a N valores de la variable reducida y_i , y que puede ser aproximada de forma simplificada por el valor constante de 0,5772, siendo la variable reducida:

$$y_i = -\ln \left(\ln \left(\frac{N+1}{i} \right) \right)$$

- u_{prep} moda de la distribución de Gumbel, para los datos de lluvia (precipitación) obtenidos de la estación meteorológica del emplazamiento. El valor por lo tanto es constante y dependiente del emplazamiento. Solo la disponibilidad de un mayor número de datos climáticos, posibilitará la actualización de su valor. El parámetro de ajuste se determina como:

$$u_{prep} = \text{Precipitación media} - u_y \frac{\sigma_{prep}}{\sigma_y}$$

Siendo:

u_y el promedio de 1 a N valores de la variable reducida y_i , y que puede ser aproximada de forma simplificada por el valor constante de 0,5772, siendo la variable reducida:

$$y_i = -\ln \left(\ln \left(\frac{N+1}{i} \right) \right)$$

Por lo tanto, solo dos parámetros son fijados por el usuario (WDR y TR combinado), mientras que los restantes parámetros son constantes y dependientes del emplazamiento concreto para el cual se simula el cerramiento. Estos valores dependientes del emplazamiento, pueden ser fácilmente actualizables al disponer de un mayor registro de datos climáticos para su análisis.

Si bien para este trabajo solo se dispone de los datos meteorológicos diezminutales de la estación de Jerez de la Frontera, la progresiva recopilación de un mayor número de datos en otras estaciones ha de permitir siguiendo el procedimiento presentado, elaborar estimaciones precisas de las condiciones de ensayo asociadas a un amplio número de emplazamientos españoles.

Con objeto de aumentar la funcionalidad de este procedimiento, se ha automatizado el anterior cálculo mediante una herramienta de cálculo, de tal manera que simplemente seleccionando el emplazamiento e imponiendo la lluvia batiente (WDR) y periodo de retorno combinado a utilizar, permita obtener la presión de ensayo asociada a ambas condiciones.

Del mismo modo, en la aplicación automatizada se ha optimizado la evaluación de la velocidad del viento, sustituyendo el valor constante $\alpha = 0,142857$ de la ley de potencia a un séptimo, por un valor más elaborado, válido para alturas del edificio superiores también a 50 metros de altura y otro tipo de terrenos:

Tabla.V13.- Coeficientes de fricción alternativos a la ley potencial general a un séptimo, para diferentes tipos de terreno, utilizado en la ley potencial de Hellmann. Fuente: Ray, Rogers y McGowan, 2006.

Tipo de terreno	Coefficiente de fricción α
Terrenos abiertos al mar; orilla de lago con una significativa superficie de agua; espacios abiertos de superficies suaves y duras	0,10
Terrenos abiertos con superficies de césped o similar	0,15
Terreno con superficies de terreno de cultivo, setos, vallas o arbustos	0,20
Terreno con superficie boscosa	0,25
Terreno suburbano rugoso con algunos árboles y arbustos	0,30
Terrenos urbanos rugoso, con edificios altos	0,40

$$DRWP_z = DRWP_{10m} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha \cdot 2}$$

No obstante, este valor α oscila también en función de la hora del día, época del año, temperatura y velocidad del viento, por lo que cualquier aproximación en este sentido debe interpretarse como una aproximación media o generalista.

Otras aproximaciones posibles, como la ley de perfil logarítmico del viento utilizada en el coeficiente de rugosidad aplicable mediante la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011 (AENOR, 2011), se ven sometidas a similares dependencias, por lo que no se considera una aproximación que mejore la ley potencial de Hellmann.

Esta aproximación se efectuaría multiplicando el valor de velocidad a una altura de referencia (habitualmente 10 m), por un factor corrector, dependiente de la altura y rugosidad del terreno CR, siendo:

$$CR = K_R \cdot \ln \frac{z}{z_0} \quad \text{para } z \geq z_{min}$$

$$CR = K_R \cdot \ln \frac{z_{min}}{z_0} \quad \text{para } z < z_{min}$$

Categoría del terreno	Descripción	K_R	z_0	z_{min}
I	Terreno rugoso abierto al mar; orilla de lago con al menos 5 km de agua libre en contra del viento, y terreno plano y liso sin obstáculos	0,17	0,01	2
II	Terreno agrícola con vallados limítrofes, pequeñas granjas dispersas, casas o árboles.	0,19	0,05	4
III	Zonas suburbanas o industriales y bosques permanentes	0,22	0,3	8
V	Zonas urbanas con al menos el 15% de la superficie cubierta con edificios de altura media superior a 15 m.	0,24	1	16

Figura V15.- Parámetros asociados a la ley de perfil logarítmico de viento, recogidos por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011.

En cualquier caso, los coeficientes de rugosidad para la ley potencial de Hellman recopilados en la tabla anterior, han sido incluidos en la automatización del

método de estimación, permitiendo una mejor adaptación a las condiciones reales de los cerramientos que se pretenden ensayar.

El procedimiento de cálculo y la herramienta desarrollada a partir del mismo, permiten indistintamente aplicar dos posibilidades de cálculo, definidas según los dos parámetros fijados inicialmente en el sistema de ecuaciones anterior (ecuaciones V.9 y V.11):

- 1) Fijados los parámetros de exposición superados durante el ensayo (WDR y DRWP), se resuelve del sistema de ecuaciones el periodo de retorno con el que dicha exposición superada durante el ensayo, se dará en condiciones de servicio sobre el cerramiento (cálculo ya realizado en el apartado V.4.2.2).
- 2) Fijado el aporte de agua a utilizar durante el ensayo (WDR) y la prestación necesaria en el cerramiento o periodo de retorno de las exposiciones que ha de ser capaz de superar de forma estanca ($TR_{\text{combinado}}$), se resuelve la diferencia de presión DRWP o ΔP que debe ser aplicada en el ensayo para caracterizar dichas condiciones de exposición (cálculo ya realizado en el presente apartado).

DETERMINACIÓN PRESTACIONAL DE PARÁMETROS DE ENSAYO DE ESTANQUEIDAD EN CERRAMIENTOS			
EMPLAZAMIENTO PARA LA UBICACIÓN DEL CERRAMIENTO Y CONDICIONES DE ANÁLISIS DEL PERIODO DE RETORNO		Universidad de Zaragoza	
Emplazamiento: Jerez de la frontera	Serie de datos utilizada: Dizimnuita1, 1992-2009	Condiciones de referencia: 10 m, terreno despejado	
F. acumulativa de distribución: Gumbel	Velocidad viento. Parámetro α : 0,549572	Velocidad viento. Moda u : 12,237309	Precipitación. Parámetro α : 0,226226
			Precipitación. Moda u : 7,657857
CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE ENSAYO EQUIVALENTE A LAS CONDICIONES DE DISEÑO		CÁLCULO DEL PERIODO DE RETORNO REAL EQUIVALENTE A LAS CONDICIONES DE ENSAYO	
CONDICIONES DE DISEÑO DEL CERRAMIENTO		CONDICIONES DE DISEÑO DEL CERRAMIENTO	
Altura máxima del cerramiento, en situación de uso (m)	25,0	25,0	Altura máxima del cerramiento, en situación de uso (m)
Rugosidad del entorno del cerramiento (Coef. Hellmann)	Suburbano, árboles y arbustos	Potencial α (por defecto)	Rugosidad del entorno del cerramiento (Coef. Hellmann)
Periodo de retorno combinado de las condiciones a simular (años)	100,0	71,151	Periodo de retorno combinado de las condiciones simuladas (años)
PARÁMETROS DE ENSAYO DEL ESTANQUEIDAD SOBRE EL CERRAMIENTO		PARÁMETROS DEL ENSAYO DE ESTANQUEIDAD SOBRE EL CERRAMIENTO	
Condiciones genéricas	Ensayo de estanqueidad utilizado para evaluar el cerramiento	Condiciones genéricas	Ensayo de estanqueidad utilizado para evaluar el cerramiento
Lluvia batiente sobre la muestra durante el ensayo (mm/min) <i>(Módulo 2 minutos, para garantizar una exposición homogénea sobre la muestra)</i>	2,0 A definir	2,0 A definir	Lluvia batiente sobre la muestra durante el ensayo (mm/min) <i>(Módulo 2 minutos, para garantizar una exposición homogénea sobre la muestra)</i>
Duración de la exposición durante el ensayo (minutos)	10 A definir	10 A definir	Duración de la exposición durante el ensayo (minutos)
Presión eólica (Pa) a simular en el ensayo para las condiciones indicadas	431,996	300,000	Presión eólica (Pa) superada en el ensayo sin fugas de agua
PERIODOS DE RETORNO INDIVIDUALES DE LOS PARÁMETROS DE EXPOSICIÓN SIMULADOS EN EL ENSAYO		PERIODOS DE RETORNO INDIVIDUALES DE LOS PARÁMETROS DE EXPOSICIÓN SIMULADOS EN EL ENSAYO	
Periodo de retorno para la presión eólica ensayada [TR(P eólica)]	88,463	58,224	Periodo de retorno para la presión eólica ensayada [TR(P eólica)]
Periodo de retorno para la lluvia batiente ensayada [TR(WDR P eólica)]	1,130	1,222	Periodo de retorno para la lluvia batiente ensayada [TR(WDR P eólica)]

Figura V.16.- Herramienta informática WTES, elaborada para la determinación de condiciones de ensayo de estanqueidad en cerramientos en base a requisitos prestacionales.

Aunque en esta automatización solo ha sido incluido el cálculo estadístico basado en la ecuación de Gumbel, igualmente podrían utilizarse otras aproximaciones (Gauss, Pearson, Anheer, Log-normal, Gamma, Exponencial...), que no obstante en este caso se consideran menos apropiadas para el cálculo de periodos de retorno.

V.5.2.- PARAMETRIZACIÓN ASOCIADA A UN EMPLAZAMIENTO CONCRETO

Utilizando la metodología desarrollada a lo largo de los apartados anteriores y aprovechando la funcionalidad aportada por la herramienta informática para la rápida ejecución de los cálculos necesarios, es posible analizar las condiciones bajo las cuales se realizan los ensayos de estanqueidad para cada emplazamiento, en relación a la exposición a la cual se ven realmente sometidos en sus condiciones de servicio.

Centrándonos en la ciudad de Jerez de la Frontera es posible conocer los periodos de retorno que se asocian a las condiciones simuladas en ensayos tales como UNE-EN 12865:2002, si estas condiciones de ensayo se asocian a diferentes configuraciones de altura en los cerramientos y entorno sobre los mismos (primera posibilidad de cálculo expuesta en la página anterior):

Tabla V.14.- Condiciones de presión eólica a recrear en el ensayo de un cerramiento, dado un periodo de retorno estimado de las condiciones simuladas de 50 años y una lluvia batiente de 2 mm/min, en ensayos de 10 minutos de duración, tales como UNE-EN 12865:2002. Se presentan diferentes configuraciones de altura (de edificación), para estas condiciones de ensayo.

Jerez de la Frontera (serie de datos utilizada para calcular los periodos de retorno)						
WDR ensayo (mm/10')	Presión ensayo (Pa)	Altura del edificio (m)	Entorno	TR combinado (años)	TR años (WDR P.eólica)	TR años (P.eólica)
20	150	10 (unifamiliar)	-	12,71	1,66	7,64
20	300	10 (unifamiliar)	-	319,20	1,22	261,21
20	450	10 (unifamiliar)	-	4,127	1,12	4,127
20	600	10 (unifamiliar)	-	No realista	1,08	No realista
20	150	30 (8 alturas)	Urbano	1,74	1,66	1,05
20	150	30 (8 alturas)	Sup. abierta	4,26	1,66	2,56
20	300	30 (8 alturas)	Urbano	4,67	1,22	3,82
20	300	30 (8 alturas)	Sup. abierta	54,08	1,22	44,25
20	450	30 (8 alturas)	Urbano	22,52	1,12	20,06
20	450	30 (8 alturas)	Sup. abierta	521,19	1,12	464,17
20	600	30 (8 alturas)	Urbano	95,46	1,08	88,17
20	600	30 (8 alturas)	Sup. abierta	3673	1,08	3393
20	150	60 (18 alturas)	Urbano	1,66	1,66	1,01
20	150	60 (18 alturas)	Sup. abierta	2,63	1,66	1,58
20	300	60 (18 alturas)	Urbano	1,40	1,22	1,15
20	300	60 (18 alturas)	Sup. abierta	20,48	1,22	16,76
20	450	60 (18 alturas)	Urbano	2,71	1,12	2,41
20	450	60 (18 alturas)	Sup. abierta	155,38	1,12	138,38
20	600	60 (18 alturas)	Urbano	6,86	1,08	6,34
20	600	60 (18 alturas)	Sup. abierta	905,90	1,08	836,71

Tal y como ya se había indicado, para edificios de altura inferior a 10 m, la simulación de escalones de presión superiores a 300 Pa representa una situación muy poco realista. Lo mismo ocurre al simular presiones de 600 Pa en cerramientos para

edificios de 8 alturas, o incluso de 18 alturas si el entorno del edificio es una superficie abierta, donde no se producen turbulencias en los regímenes de viento.

Paralelamente, adoptando como valor razonable que las situaciones que ha de soportar el cerramiento no se produzcan con una frecuencia inferior a 50 años (vida útil estimada para el mismo), es posible determinar para el mismo emplazamiento, las condiciones prestacionales a las que ha de verse sometida la fachada durante la ejecución del ensayo de estanqueidad (segunda posibilidad de cálculo).

Así, para la ciudad de Jerez de la Frontera, utilizado el ensayo UNE-EN 12865:2002, con una lluvia batiente de ensayo constante e igual a 2 mm/min, la presión eólica a aplicar sobre el cerramiento oscila en función de la altura prevista para dicho cerramiento y de las características de su entorno inmediato:

Tabla V.15.- Condiciones de presión eólica a recrear en el ensayo de un cerramiento, dado un periodo de retorno estimado de las condiciones simuladas de 50 años y una lluvia batiente de 2 mm/min, en ensayos de 10 minutos de duración, tales como UNE-EN 12865:2002. Se presentan diferentes configuraciones de altura (de edificación), para estas condiciones de ensayo.

Jerez de la Frontera (serie de datos utilizada para calcular los periodos de retorno)						
WDR ensayo (mm/10')	TR combinado (años)	Altura del edificio (m)	Entorno	Presión ensayo (Pa)	TR años (WDR P.eólica)	TR años (P.eólica)
20	50	10 (unifamiliar)	-	210,69	1,38	36,13
20	50	30 (8 alturas)	Urbano	530,566	1,09	45,46
20	50	30 (8 alturas)	Semi-urbano	423,407	1,13	44,41
20	50	30 (8 alturas)	Cultivos/similar	336,841	1,19	42,08
20	50	30 (8 alturas)	Sup. abierta	300,144	1,22	40,90
20	50	60 (18 alturas)	Urbano	805,140	1,06	47,19
20	50	60 (18 alturas)	Semi-urbano	579,825	1,09	45,93
20	50	60 (18 alturas)	Cultivos/similar	416,666	1,14	43,94
20	50	60 (18 alturas)	Sup. abierta	352,535	1,17	42,55

Dependiendo de las condiciones del edificio y su entorno, la presión de ensayo necesaria para garantizar una prestación durante 50 años oscila entre 210 y 805 Pa, llegando incluso a superar el rango de presiones ensayadas habitualmente (máx. 600 Pa). Como puede deducirse, este procedimiento de cálculo posibilita múltiples aplicaciones posteriores:

- Simulando diferentes escalones de presión en los ensayos tal y como se hace en la actualidad, comparando mediante la metodología desarrollada o la aplicación informática creada, si la presión de ensayo que ha soportado el cerramiento, se ajusta a las condiciones concretas de exposición que va a sufrir el cerramiento, evitando utilidades no garantizadas.
- Permitiendo la homologación de cerramientos en cualquier ámbito, en base al resultado de un ensayo de estanqueidad cualquiera, independientemente de sus parámetros reguladores. De esta forma, un producto homologado en Europa o Norteamérica, sería perfectamente aplicable en el otro ámbito, sin necesidad de repetir el ensayo, en base a los parámetros estandarizados en dicho ámbito normativo.

- Utilizando la herramienta generada para optimizar el diseño de las soluciones de cerramiento en cada posible emplazamiento y configuración de la fachada, evitando diseños sobredimensionados o insuficientes. Su utilización permitiría eliminar la aproximación prescriptiva actualmente presente en la normativa española (CTE DB-HS1).
- Permitiendo en definitiva, una evaluación totalmente prestacional de la prestación ofrecida por el cerramiento en condiciones de servicio, a partir de los resultados obtenidos por un ensayo de estanqueidad.

Para poder aplicar este procedimiento, es necesario contar con un mayor número de registros climáticos recopilados en cortos intervalos de tiempo. Hemos de recordar, que de los 7 emplazamientos cuyos datos diezminutales fueron solicitados a AEMET, solo uno (Jerez de la Frontera), contaba con una antigüedad representativa en las series de datos. Corresponde por lo tanto a la AEMET, solventar esta situación a la mayor brevedad, disponiendo los medios necesarios.

Entre tanto, la utilización de aproximaciones a partir de datos horarios recopilados en las estaciones, como las de Lindsey (1975) y Choi (1998), permitiría también utilizar la metodología propuesta, obteniendo estimaciones aproximadas.

La tarea de incrementar el número de localidades implementadas en la aplicación informática diseñada en colaboración con AEMET, constituye una línea futura de trabajo por parte del área de conocimiento de Ingeniería de la Construcción de la Universidad de Zaragoza y en particular del autor de este trabajo. En la misma línea se pretende añadir un mayor número de funciones a la herramienta, pudiendo establecer la función de probabilidad en base a otros modelos (Pearson, Gauss...), así como implementar la ley logarítmica del viento como alternativa para estimar la presión eólica a alturas diferentes de la de referencia.

El objetivo último es contar con una herramienta informática funcional, que en ausencia de un método de verificación para la protección frente a la humedad (condicionado por los límites del actual estado de conocimiento), sí permita de forma prestacional evaluar objetivamente la validez de una determinada solución dadas sus condiciones de utilización y su emplazamiento en nuestro país.

La aplicabilidad del procedimiento es inmediata, ya que los resultados actualmente existentes de los ensayos mantendrían su vigencia, siendo únicamente necesario comparar la presión máxima resistida por el cerramiento con los valores de sollicitación evaluados según el anterior procedimiento en el emplazamiento.

A falta de la aplicación de esta metodología, se está sometiendo actualmente a presiones de ensayo de hasta 600 Pa, a cerramientos que en su gran mayoría van a utilizarse en edificaciones que no superarán los 30 m de altura, por lo que se está incurriendo, en un sobredimensionamiento de los cerramientos y en una sobre-evaluación en los mismos, que no sería necesaria.

Todos los resultados obtenidos ilustran la falta de prestacionalidad amparada por el CTE y el CEC a la hora de validar las soluciones aceptadas apoyándose en estos ensayos y que viene a aunarse a la falta de prestacionalidad exhibida para la estimación de las sollicitaciones sobre los cerramientos, que ha sido tratada con anterioridad en el capítulo III.

A todas luces, la metodología desarrollada posibilita determinar con total prestacionalidad las condiciones a simular en los ensayos de estanqueidad de cerramientos, condiciones, que de ser superadas, sí pueden garantizar la funcionalidad de la solución aceptada de forma objetiva y fiable.

De la misma manera, la determinación objetiva y científica de estos parámetros de ensayo a superar para unas determinadas condiciones de diseño, evitan someter al cerramiento a exposiciones de ensayo poco verosímiles.

V.5.2.1.- Comparación entre solicitud de ensayo, solicitud real y solicitud marcada por el CTE

Recordando el análisis normativo que se desarrolló en el Capítulo III de este trabajo, podemos comparar los valores de presión eólica utilizados por el CTE para definir la solicitud por humedad, con los valores objetivos calculados con anterioridad y los parámetros de ensayo marcados por el ensayo de estanqueidad:

El municipio de Jerez de la Frontera se sitúa en la zona eólica C (velocidad del viento a una altura de 10 m, en superficie abierta, para un intervalo de 10 minutos y para un periodo de retorno de 50 años igual a 29 m/s, según el Apéndice A del CTE DB-HS1). Puede por lo tanto asociarse una presión eólica que determina su exposición de 504,6 Pa.

Sin embargo, analizando los datos climáticos diezminutales de los que parte este estudio, en Jerez de la Frontera, una presión similar simultánea a la precipitación y en las mismas condiciones, solo se producirá con un periodo de retorno de más de un millón de años. Esta disparidad se debe a que mientras que la metodología propuesta analiza la presión eólica simultánea a la precipitación, el CTE no tiene en cuenta esta simultaneidad y analiza simplemente, presiones eólicas, incluyendo también las no simultáneas a la lluvia, de mucha mayor magnitud. Se obtienen por lo tanto caracterizaciones descabelladas.

En las condiciones planteadas por el CTE, Jerez de la Frontera debería tener asignada una presión eólica de 204,53 Pa (18,46 m/s o 66,46 km/h), lo cual es muy inferior incluso a la presión eólica asociada a zonas de tipo A por el CTE (405,6 Pa).

Aplicando la anterior metodología, si se pretende simular en el ensayo esas mismas condiciones (10 m de altura, terreno despejado y 50 años de periodo de retorno), la cantidad de agua a aportar sería de 2 mm/min y la presión a aplicar de 210,69 Pa, valor totalmente razonable y coherente con las exigencias realmente previstas.

Se hace por lo tanto necesario, reelaborar el Documento Básico CTE-DB HS1 completamente, dado que en su actual configuración, no representa un documento válido para la determinación de las soluciones constructivas adecuadas en cada situación y emplazamiento. El mismo debe complementarse con:

- El sistema de verificación presentado en este capítulo, que permite, en base a datos de exposición reales (no aproximados), determinar la prestación exacta (periodo de retorno) de las condiciones de exposición que el cerramiento será capaz de soportar en condiciones de servicio, a partir de los resultados obtenidos en el ensayo estandarizado de estanqueidad.

V.6.- GENERALIZACIÓN DE LA PARAMETRIZACIÓN

La metodología planteada hasta el momento, ha permitido relacionar los resultados obtenidos en los ensayos de estanqueidad con las condiciones de prestación del cerramiento en situaciones de servicio reales, a partir de datos climáticos recopilados en el emplazamiento y un criterio de prestación basado en el cálculo de periodos de retorno:

$$DRWP_Z = 0,6 \cdot v_{(10)}^2 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{2 \cdot \alpha}$$

$$WDR = \frac{v_{(10)} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$TR_{combinado} = \frac{1}{1 - e^{-\alpha v(v_{10} - u_v)}} \cdot \frac{1}{1 - e^{-\alpha prep(pre_p - u_{prep})}}$$

De esta forma, determinando bien los dos parámetros de exposición (WDR y DRWP y por ende v_{10}) o bien uno de los parámetros (WDR) y el periodo de retorno combinado, puede determinarse la variable restante para cualquier cerramiento configurado por su emplazamiento (α_v , u_v , α_{prep} , u_{prep}) y altura z y entorno α .

Esta aproximación presentada, sin embargo solo es válida cuando la duración del ensayo coincide con la duración de los datos climáticos disponibles registrados en el emplazamiento. Como se ha explicado anteriormente, una mayor duración del periodo de exposición, incide también en el periodo de retorno de la situación de exposición, por lo que este parámetro ha de ser también tenido en cuenta.

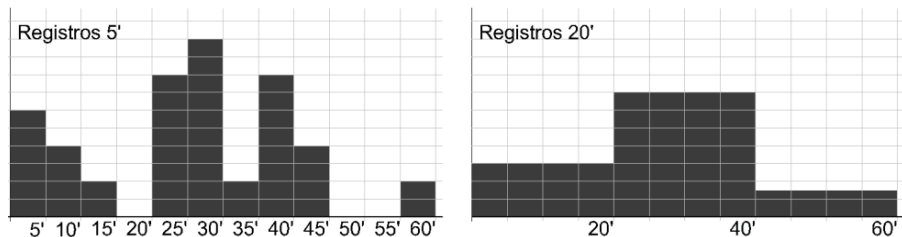


Figura V.17.- Comparación de precisión de registros climatológicos en relación al intervalo de medición utilizado, para un mismo evento climatológico.

Los ensayos europeos EN 12155 y EN 13050, son un ejemplo de ensayos de estanqueidad desarrollados en intervalos diferentes a 10 minutos, con una duración de la exposición simulada de tan solo 5 minutos.

Si la anterior metodología pretende ser capaz de evaluar la equivalencia entre cualquier ensayo de estanqueidad y entre cualquier ensayo y las condiciones de exposición reales, la duración de la exposición debe ser tomada en cuenta en el sistema de ecuaciones anterior.

V.6.1.- ADAPTACIÓN A CUALQUIER DURACIÓN DE EXPOSICIÓN

Aunque al inicio de este capítulo se han presentado la expresiones de Choi (1998) y Lindsey (1975), para aproximar con adecuada precisión los valores máximos de lluvia y viento que se producen en un intervalos de 5 minutos o similares, a partir de datos climáticos horarios, estas aproximaciones generales solo se consideran de utilidad ante la carencia de otros métodos de estimación más precisos:

$$\frac{prep.(t)}{prep.horaria} = \left(\frac{3600}{t}\right)^{0,42}$$

$$\frac{v(t) - v_{horaria}}{v_{(3s)} - v_{horaria}} = \frac{\ln(t/3600)}{\ln(3/3600)}$$

Siendo:

- t, Intervalo de la magnitud requerida en s. Para 5 minutos, t = 300.
v_(3s), Valor de racha máxima de viento, habitualmente estimada sobre un valor promedio de 3 s.

Así, en este apartado se plantea la posibilidad de adaptar los resultados diezminutales obtenidos para el emplazamiento de Jerez de la Frontera, a los valores extremos que se obtendrían en una duración diferente (como por ejemplo de 5 minutos), utilizando para ello la progresión identificada para intervalos mayores.

Partiendo en este caso de los datos diezminutales disponibles, es posible promediar dichos datos en intervalos mayores, calculando así el valor de precipitación y velocidad de viento asociado a intervalos de 20, 30 y 40 minutos.

Como para la serie diezminutal, con estas otras tres series es posible obtener los valores máximos anuales de lluvia y viento que se producen, esta vez, para cada uno de los nuevos intervalos analizados.

Si se calcula un único valor para cada uno de los intervalos de tiempo diferentes (10, 20, 30 o 40 minutos), promedio de los anteriores valores máximos anuales, es posible representar la variación media de este valor máximo en relación al intervalo de tiempo considerado en el registro de los datos climáticos.

En las figuras siguientes se representa para el emplazamiento de Jerez de la Frontera esta progresión, referida tanto al valor máximo promedio anual de velocidad de viento como de precipitación, en diferentes intervalos de registro.

Tal y como se aprecia en ambas figuras, el efecto creciente se hace más acusado cuanto menor es el intervalo de registro considerado, suavizándose para intervalos mayores a 30 minutos. Se comprueba por lo tanto la intuición física mostrada en la figura V.17.

De los dos, el valor de precipitación es más sensible a la variación del periodo, siendo muy superiores las intensidades de precipitación registradas en intervalos pequeños respecto a los intervalos mayores. Para el caso del viento, esta mayoración es menos acusada, siendo menos relevante el periodo de registro considerado:

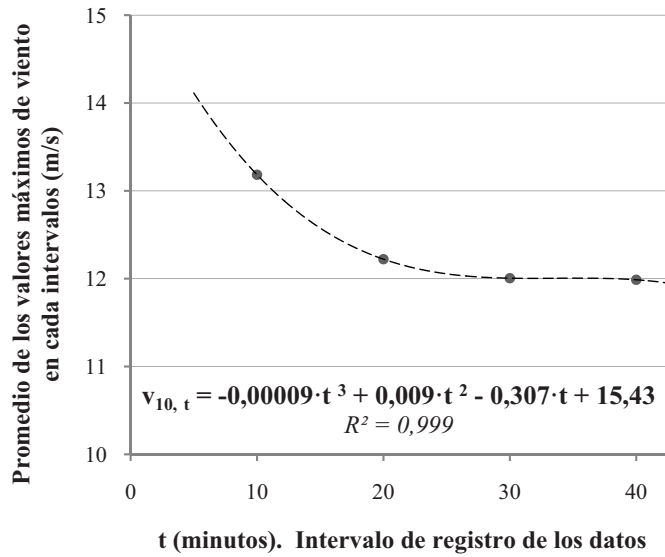


Figura V.18.- Ecuación de ajuste de la velocidad de viento, para cada una de las duraciones del periodo de registro que se ha indicado, en la estación meteorológica de Jerez de la Frontera.

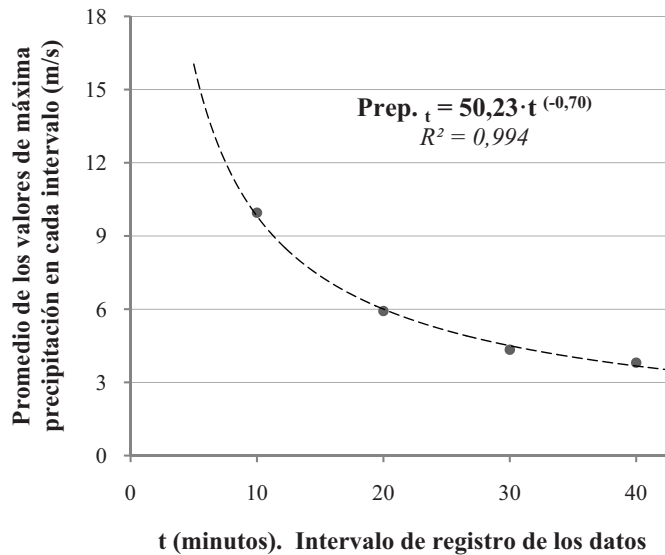


Figura V.19.- Ecuación de ajuste de la intensidad de precipitación, para cada una de las duraciones del periodo de registro que se ha indicado, en la estación meteorológica de Jerez de la Frontera.

Además de la ecuación de ajuste que permite relacionar cada uno de los parámetros con la duración de registro, de ambas gráficas puede extraerse también la magnitud de ambos parámetros asociadas a intervalos de duración habituales en los ensayos de estanqueidad (5 a 20 minutos):

Tabla V.16.- Valores de ajuste para diferentes duraciones del intervalo de registro de datos climáticos.

Intervalo de registro	5'	10'	15'	20'
<i>Valor de v_{10}</i>	14,1088	13,1833	12,5463	12,222
<i>Valor de prep.</i>	16,2811	9,95556	7,54570	5,9250

Obtenidos estos valores, es posible aplicar la parametrización propuesta también a cualquier intervalo de duración del ensayo, simplemente partiendo de la serie de datos disponible (sea diezminutal, cincominutal, veinteminutal...). La aplicación de estos valores en la parametrización se ilustrará a lo largo del siguiente apartado V.6.1.1.

Así pues, conociendo datos climáticos relativos a un intervalo moderadamente corto de tiempo en el emplazamiento, es posible aplicar la metodología planteada a cualquier ensayo de estanqueidad, sean cuales sean sus parámetros de ensayo, para cualquier condición de servicio en dicho emplazamiento.

La obtención de este tipo de registros climáticos en un mayor número de emplazamientos, constituye por lo tanto una iniciativa que debe priorizarse por parte de la AEMET, para permitir de este modo una optimización de la práctica y diseño constructivos en nuestro país.

V.6.1.1.- Aplicación práctica de la parametrización generalizada

Para ilustrar la aplicación generalizada de la parametrización se va a proceder a estimar para un caso concreto (cerramiento de 25 m de altura en un entorno suburbano de la ciudad de Jerez de la Frontera), las condiciones de prestación ofrecidas por el cerramiento en base a los parámetros de ensayo superados, así como la presión a aplicar durante el ensayo para simular condiciones reales con un periodo de retorno definido. Para ello, los ensayos considerados serán EN 12865:2001 y EN 12154:2000, ambos con una duración del ensayo diferente a la diezminutal asociada a los registros climáticos.

Tal y como se ha visto, dos aproximaciones al cálculo a realizar son posibles:

- **Primera aproximación:**
Supuesto un resultado del ensayo, en el que el cerramiento soporta unas condiciones de 450 Pa y 2 mm/min sin pérdidas de estanqueidad, se pretende conocer el grado de prestación (o periodo de retorno de la exposición que el cerramiento puede soportar) en la situación final del servicio del cerramiento.
 - Si el ensayo realizado es la norma EN 12865, los cálculos a realizar se desarrollan de forma similar a lo desarrollado en apartados anteriores:

$$DRWP_Z = 0,6 \cdot v_{(10)}^2 \cdot \left(\frac{Z}{10}\right)^{2 \cdot \beta}$$

$$450 = 0,6 \cdot v_{(10)}^2 \cdot \left(\frac{25}{10}\right)^{2 \cdot 0,3}$$

$$v_{(10)} = 20,804085 \text{ m/s}$$

$$WDR = \frac{v_{(10)} \cdot \left(\frac{Z}{10}\right)^\beta}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$2 \cdot 10 = \frac{20,804085 \cdot \left(\frac{25}{10}\right)^{0,3}}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$prep. = 4,147 \text{ mm en 10 minutos}$$

Una velocidad de viento de 20,804 m/s registrada a una altura de 10 m, simultánea a una precipitación de 0,4147 mm/min, produciría a una altura de 25 m y en un terreno suburbano, una exposición real equivalente a la utilizada en el ensayo (20 mm y 450 Pa). Únicamente resta determinar el periodo de retorno de dichas condiciones de referencia, utilizando los parámetros recogidos en las tablas V.1 y V.2:

$$TR_{combinado} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha_v(v_{10}-u_v)}}} \cdot \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha_{prep}(prep-u_{prep})}}}$$

$$TR_{combinado} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-0,555(20,804-12,237)}}} \cdot \frac{1}{1 - e^{-e^{-0,226(4,147-7,658)}}$$

$$TR_{combinado} = 125 \text{ años}$$

El periodo de retorno de cada uno de los parámetros que configuran la sollicitación, viene indicado por el valor de cada uno de los términos de la multiplicación:

$$TR_{P.eólica} = 111,325 \text{ años}$$

$$TR_{WDR|P.eólica} = 1,123 \text{ años}$$

- Si el ensayo realizado viene definido por la norma EN 12154, definida por un periodo de exposición de 5 minutos (menor al anterior), los cálculos a realizar se desarrollarían de la forma indicada a continuación, utilizando para ello los datos recopilados en la tabla V.16 en el emplazamiento:

Dado que el ensayo se desarrolla durante una duración de 5 minutos, los parámetros del ensayo (2 mm/min y 450 Pa), se refieren a esa duración. Para aplicar el análisis del periodo de retorno, es necesario obtener sus equivalentes asociados a una duración de 10 minutos, para lo cual se utilizará la citada tabla V.16:

$$v_{(10)5 \text{ min}} = 20,804085 \text{ m/s}$$

$$v_{(10)10 \text{ min}} = v_{(10)5 \text{ min}} \cdot \frac{13,1833}{14,1088}$$

$$v_{(10)10 \text{ min}} = 20,804085 \cdot \frac{13,1833}{14,1088} = 19,4364 \text{ m/s}$$

Tal y como se aprecia, la velocidad equivalente a 20,8 m/s medidos durante 5 minutos, sería algo menor si se obtiene la misma referida a un intervalo de 10 minutos (apenas 19,4 m/s). A mayor duración del intervalo de registro, menor es la intensidad del evento climático. Utilizando el dato cincominutal obtenido:

$$WDR = \frac{v_{(10)5 \text{ minutos}} \cdot \left(\frac{Z}{10}\right)^\beta}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$2 \cdot 5 = \frac{20,804085 \cdot \left(\frac{25}{10}\right)^{0,3}}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$prep. = 1,778 \text{ mm en 5 minutos}$$

Para conocer el periodo de retorno con el que producirá dicha precipitación, debe extrapolarse a partir del mismo la lluvia asociada a un periodo de 10 minutos, en el cual se basa el cálculo estadístico disponible:

$$prep_{\cdot 10 \text{ min}} = prep_{\cdot 5 \text{ min}} \cdot \frac{9,9556}{16,2811}$$

$$prep_{\cdot 10 \text{ min}} = 1,778 \cdot \frac{9,9556}{16,2811} = 1,0872 \text{ mm en 10 minutos}$$

Como se observa, los valores equivalentes asociados a una duración de 10 minutos son inferiores a los asociados a una duración de 5 minutos, siguiendo la misma progresión identificada en las dos gráficas anteriores.

Resta por lo tanto, obtener el periodo de retorno combinado de ambos parámetros de exposición, a partir de los datos diezminutales extrapolados y de los datos recopilados en las tablas V.1 y V.2:

$$TR_{combinado} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-0,555(19,4364-12,237)}}} \cdot \frac{1}{1 - e^{-e^{-0,226(1,0872-7,658)}}$$

$$TR_{combinado} = 53,50 \text{ años}$$

Se demuestra como los resultados de ambos ensayos, aun a pesar de utilizar valores de parámetros de ensayo idénticos (presión y aporte de agua), ambos simulan situaciones de exposición muy diferentes entre sí, si se las analiza en relación a un criterio homogéneo de prestación. La reducción de 10 a 5 minutos en la duración de la exposición, reduce en más de un 55% el periodo de retorno en condiciones reales de la exposición ensayada en el ensayo EN 12154, siendo por lo tanto una exposición sensiblemente menos severa que en el ensayo EN 12865.

Se desprende por lo tanto, que los diferentes ensayos internacionales, regulados por parámetros y duraciones de exposición diferentes, ofrecen resultados de estanqueidad no comparables entre sí.

No obstante mediante la aplicación de la metodología, estos ensayos pueden ser utilizados de forma indistinta para caracterizar la prestación frente a la penetración de humedad de cualquier sistema de cerramiento, dado que sus resultados se reducen a un factor común de prestación (periodo de retorno de las solicitaciones simuladas).

No sería por lo tanto necesario realizar diferentes pruebas de estanqueidad en cada ámbito normativo. Los resultados obtenidos mediante uno solo de ellos (por ejemplo un ensayo europeo), permiten con esta metodología, determinar su validez prestacional para cualquier emplazamiento y configuración de servicio en el mundo (ámbito americano por ejemplo).

No obstante, lo que resulta de mayor interés a nivel de diseño, es definir el periodo de retorno de la máxima exposición que todo cerramiento ha de soportar en sus condiciones de servicio y a partir del mismo, determinar las condiciones de ensayo que han de ser superadas sin pérdidas de estanqueidad para garantizar su prestación.

Este cálculo puede abordarse para cualquier ensayo de estanqueidad de forma análoga a lo anterior, mediante la segunda aproximación, permitiendo con ello la utilización indistinta de cualquier ensayo de estanqueidad para este fin:

- **Segunda aproximación:**

Determinado el periodo de retorno combinado de la situación de exposición que el cerramiento debería soportar (50 años por diseño), se pretende conocer las condiciones que el cerramiento debería superar en el ensayo sin pérdida de estanqueidad, para poder garantizar la validez del sistema de cerramiento con esa prestación.

- Si el ensayo realizado viene definido por la norma EN 12865 y por lo tanto por un aporte de agua de 2 mm/min durante 10 minutos, los cálculos a realizar para obtener la presión mínima a superar, se desarrollan de la forma indicada a continuación:

$$WDR = \frac{v_{(10)} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^\beta}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$2 \cdot 10 = \frac{v_{(10)} \cdot \left(\frac{25}{10}\right)^{0,3}}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$TR_{combinado} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha v}(v_{10}-u_v)}} \cdot \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha prep}(prep-u_{prep})}}$$

$$50 = \frac{1}{1 - e^{-e^{-0,54957(v_{10}-12,2375)}}} \cdot \frac{1}{1 - e^{-e^{-0,2262(pre-7,6578)}}$$

La resolución no es inmediata como en el caso anterior, ya que se forma un sistema de dos ecuaciones, cuya resolución puede ser fácilmente automatizada mediante un programa u hoja de cálculo.

El sistema de ambas ecuaciones, aunque compatible, presenta dos posibles soluciones, tal y como se muestra en la figura siguiente V.20, aunque solo una de ellas resulta de interés para el ensayo de estanqueidad en laboratorio:

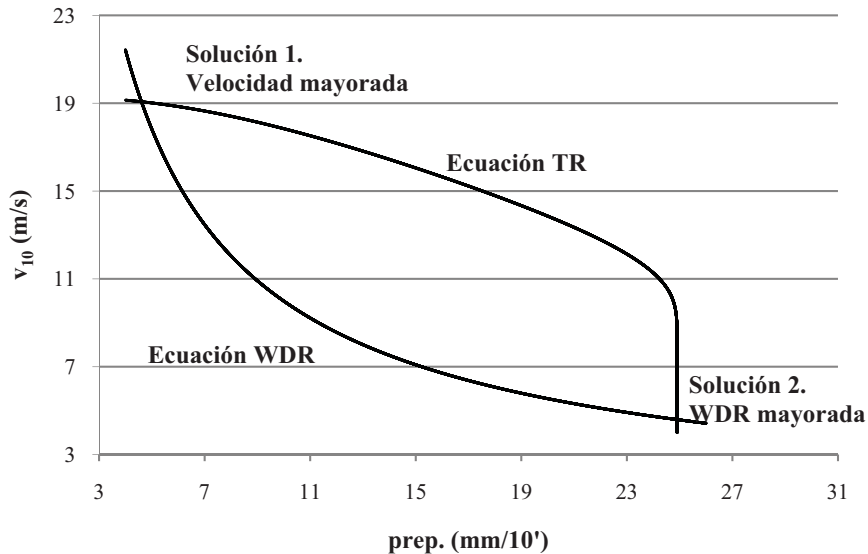


Figura V.20.- Vista gráfica de la solución al sistema de ecuaciones planteado (Pérez-Bella et al., 2012).

La primera solución corresponde a la combinación de factores climáticos que maximiza el valor de la velocidad del viento y minimiza el de la precipitación, para alcanzar las condiciones de exposición marcadas por el periodo de retorno combinado de 50 años:

$$prep. = 4,147 \text{ mm en 10 minutos}$$

$$v_{(10)} = 19,066 \text{ m/s}$$

$$DRWP_z = 0,6 \cdot v_{(10)}^2 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{2 \cdot \beta}$$

$$DRWP_z = 0,6 \cdot 19,066^2 \cdot \left(\frac{25}{10}\right)^{2 \cdot 0,3} = 377,951 \text{ Pa}$$

Superar en el ensayo una presión de 377,951 Pa, con un aporte de agua de 2 mm/min, garantizará en todo caso la estanqueidad del cerramiento en las condiciones de utilización durante el periodo de tiempo pretendido (50 años).

La segunda solución, maximiza la precipitación y minimiza la velocidad del viento en la combinación de exposición. Esta solución no tiene utilidad para los fines perseguidos por el ensayo de estanqueidad. En el ensayo, realizado sobre cerramientos sin defectos ni grietas apreciables, una exposición con una mayor influencia de la presión eólica resulta más relevante.

No obstante, la condición de exposición definida por esta solución, podría ser de interés para la evaluación de estanqueidad en cerramientos “in situ”, sometidos a deterioro o mala ejecución y por lo tanto, más susceptibles de presentar problemas de estanqueidad ante una mayor presencia de lluvia batiente.

$$prep. = 24,906 \text{ mm en 10 minutos}$$

$$v_{(10)} = 4,593 \text{ m/s}$$

$$DRWP_z = 0,6 \cdot 4,593^2 \cdot \left(\frac{25}{10}\right)^{2-0,3} = 21,933 \text{ Pa}$$

- Si el ensayo realizado viene definido por la norma EN 12155 y por lo tanto por un aporte de agua de 2 mm/min durante 5 minutos, los cálculos a realizar para obtener la presión mínima a superar, se desarrollan de la forma indicada a continuación.

Dado que el ensayo se desarrolla durante una duración de 5 minutos, los parámetros del ensayo se refieren a esa duración y es necesario obtener sus equivalentes para una duración de 10 minutos si quiere utilizarse la expresión referida al periodo de retorno. Para ello se utilizará de nuevo la tabla V.16 anterior, obtenida en el emplazamiento:

$$v_{(10)5 \text{ min}} = v_{(10)10 \text{ min}} \cdot \frac{14,1088}{13,1833}$$

$$v_{(10)5 \text{ min}} = v_{(10)10 \text{ min}} \cdot 1,0702$$

$$prep_{\cdot 5 \text{ min}} = prep_{\cdot 10 \text{ min}} \cdot \frac{16,2811}{9,9556}$$

$$prep_{\cdot 5 \text{ min}} = prep_{\cdot 10 \text{ min}} \cdot 1,6354 = prep'$$

Substituyendo ambos valores en el sistema de ecuaciones, se obtiene el sistema adaptado a una duración menor, en este caso de 5 minutos. La lluvia batiente puede expresarse de esta forma en base únicamente a los parámetros disponibles en condiciones de referencia (referidos a un intervalo de 10 minutos):

$$WDR = \frac{v_{(10)5 \text{ minutos}} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^\beta}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$2 \cdot 5 = \frac{v_{(10)10 \text{ min}} \cdot 1,0702 \cdot \left(\frac{25}{10}\right)^{0,3}}{0,0612 \cdot prep^{-0,304} - 0,9889 \cdot prep^{-0,536} + 5,4716 \cdot prep^{-0,768} - 0,1845 \cdot prep^{-1}}$$

$$TR_{\text{combinado}} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha v}(v_{10} - u_v)}} \cdot \frac{1}{1 - e^{-e^{-\alpha prep}(prep - u_{prep})}}$$

$$50 = \frac{1}{1 - e^{-e^{-0,54957(v_{10} - 12,2375)}}} \cdot \frac{1}{1 - e^{-e^{-0,2262(pre - 7,6578)}}$$

Como en el caso anterior, el sistema dispone de dos soluciones posibles. Adoptando la solución de máxima velocidad de viento y menor precipitación (primera solución), se obtiene la solución del sistema referida a una duración del intervalo de 10 minutos (la de la serie de datos climáticos disponibles):

$$prep_{\cdot 10 \text{ min}} = 1,295 \text{ mm en 10 minutos}$$

$$v_{(10)10 \text{ min}} = 19,308 \text{ m/s}$$

Transformando la velocidad del viento obtenida a su equivalente para un periodo de registro de 5 minutos, puede obtenerse la presión eólica a superar durante el ensayo EN 12154 en las condiciones de servicio marcadas:

$$v_{(10)5 \text{ min}} = v_{(10)10 \text{ min}} \cdot 1,0702$$

$$v_{(10)5 \text{ min}} = 19,308 \cdot 1,0702 = 20,663 \text{ m/s}$$

$$DRWP_Z = 0,6 \cdot v_{(10)}^2 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{2 \cdot \alpha}$$

$$DRWP_Z = 0,6 \cdot 20,663^2 \cdot \left(\frac{25}{10}\right)^{2 \cdot 0,3} = 443,966 \text{ Pa}$$

Se observa como en función del ensayo elegido, la presión equivalente a la situación real, varía considerablemente.

Una duración menor del ensayo (5 minutos frente a los 10 minutos iniciales), conlleva que en situaciones reales de servicio esa exposición pueda darse con mayor frecuencia que la referida a 10 minutos. Por ello, una vez fijado un periodo de retorno combinado de 50 años, los parámetros que se darán con esa frecuencia durante un periodo de 5 minutos, han de ser mucho mayores que los que se refieren a 10 minutos (444 Pa frente a 378 Pa).

El sistema metodológico propuesto es capaz, tal y como se ha demostrado, de obtener una total funcionalidad de los ensayos de estanqueidad, pudiendo evaluar la prestación de cualquier cerramiento, conociendo los resultados del ensayo de estanqueidad al que fue sometido, independientemente de las condiciones particulares del ensayo, para la altura, entorno y emplazamiento de su colocación final.

Del mismo modo, permite determinar que parámetros han de ser superados durante el ensayo, para garantizar la estanqueidad incluso en las condiciones más desfavorables que pueden darse sobre el cerramiento, sean cuales sean sus condiciones de servicio, para un periodo de retorno marcado por su diseño.

Para ello, los únicos datos necesarios de partida, los constituyen los registros climáticos propios de cada emplazamiento, recopilados en unas condiciones de referencia conocidas (estaciones meteorológicas homologadas por AEMET) y en intervalos de registro de duración similar a la de la duración de los ensayos de estanqueidad (5 a 20 minutos).

El desarrollo de la herramienta informática que automatiza esta metodología, permitiendo una ágil resolución de los parámetros indicados y la inclusión de series de datos climáticos recopilados en una amplia colección de emplazamientos españoles e internacionales, constituye una línea prioritaria del Área de Conocimiento de Ingeniería de la Construcción de la Universidad de Zaragoza, en colaboración con los datos disponibles y gestionados por la Agencia Estatal de Meteorología.

La inclusión en la metodología de otros procedimientos para estimar la variación de la velocidad del viento en relación a la altura y entorno del edificio, la inclusión de aproximaciones CFD al cálculo del factor de captación en la fachada o la utilización de otros modelos de estimación del coeficiente de lluvia batiente, diferentes al planteado por Straube y Burnett, son igualmente otras líneas de trabajo abiertas en relación a la metodología.

V.7.- ANALISIS COMPARATIVO DE DIFERENTES ENSAYOS DE ESTANQUEIDAD

Utilizando la anterior parametrización, es posible comparar indistintamente los parámetros de ensayo utilizados por diferentes estándares internacionales, evaluando su equivalencia y posibilitando una homologación internacional de la estanqueidad de los sistemas de cerramiento en base a cualquiera de ellos.

Adoptando para este estudio los principales ensayos normalizados dentro del ámbito europeo, estadounidense y australiano, se va a comparar el grado de equivalencia ofrecido por los diferentes ensayos en relación a varias condiciones concretas de servicio, sirviéndonos para ello de los datos disponibles en la ciudad de Jerez de la Frontera.

Tabla V.17.- Resumen de las propiedades de diferentes ensayos de estanqueidad internacionales.

Ensayo	Ámbito de aplicación	Aplicación de la presión	Duración (min)	Aporte de agua (mm/min)	Diferencia de presión (Pa)	Área
EN 12865:2001 (EN, 2001)	Fachadas genéricas	Mediante pulsos	10	2	150, 300, 450, 600 or > 600	CEN ¹
EN 12155:2000 (EN, 2000)	Muros cortina	Estática	5	2	50, 100, 150, 200, 300, 450, 600 or > 600	CEN ¹
ASTM E331 (ASTM, 2009a)	Muros cortina	Estática	15	3.4	At least 137	ASTM ²
ASTM E547 (ASTM, 2009b)	Muros cortina	Estática y cíclica	15	3.4	At least 137	ASTM ²
AAMA 501.1 (AAMA, 2005)	Muros cortina	Dinámica	15	3.4	300, 380, 480, 580, 720	AAMA ³
AS/NZS 4284 (AS/NZS, 2008)	Fachadas genéricas	Estática	15	3	300 or 0,3 w ⁴	AS/NZS ⁵
AS/NZS 4284 (AS/NZS, 2008)	Fachadas genéricas	Mediante pulsos	5	3	300 or 0,3 w ⁴ , 400 or 0,4 w ⁴ , 600 or 0,6 w ⁴	AS/NZS ⁵

CEN¹: European Committee for Standardization; ASTM²: ASTM International; AAMA³: American Architectural Manufacturers Association; w⁴: Structural test pressure. AS/NZS⁵: Australian / New Zealand Standards.

Para ello, se definen cuatro edificios con características diferentes en cuanto a su altura y entorno y que por lo tanto, representan condiciones de servicio variadas en un mismo emplazamiento.

Aplicando la parametrización generalizada desarrollada en el apartado anterior, se evaluarán para cada uno de ellos la presión que debe ser superada durante el ensayo

(DRWP o ΔP), para representar situaciones de exposición asociadas a un determinado periodo de retorno (segunda aproximación).

Tabla V.18.- Configuración de cerramientos y entorno del edificio, utilizadas para la comparación de ensayos internacionales de estanqueidad.

Configuración	Altura (m)	Entorno (coeficiente α)
A	10	Cualquiera ($v_z = v_{10}$)
B	20	Edificios ocasionales y árboles ($\alpha = 0,24$)
C	30	Zona suburbana ($\alpha = 0,3$)
D	40	Zona urbana con edificios altos ($\alpha = 0,4$)

Como se aprecia de la tabla V.17, las normas de ensayo tienden a utilizar grupos de parámetros muy similares si se refieren a un mismo ámbito normativo. Pueden por lo tanto evaluarse cinco grupos de normativas parametrizadas de forma diferenciada: EN 12865; EN 12155; E331-E547- AAMA 501.1; AS/NZS 4284 estática; AS/NZS 4284 por pulsos.

Analizando una configuración del cerramiento asociada a edificios de baja altura como unifamiliares y edificios públicos de escaso tamaño (configuración A), puede obtenerse la siguiente figura, que representa la presión que debe ser aplicada en cada uno de los ensayos para simular condiciones de exposición asociadas a un determinado periodo de retorno:

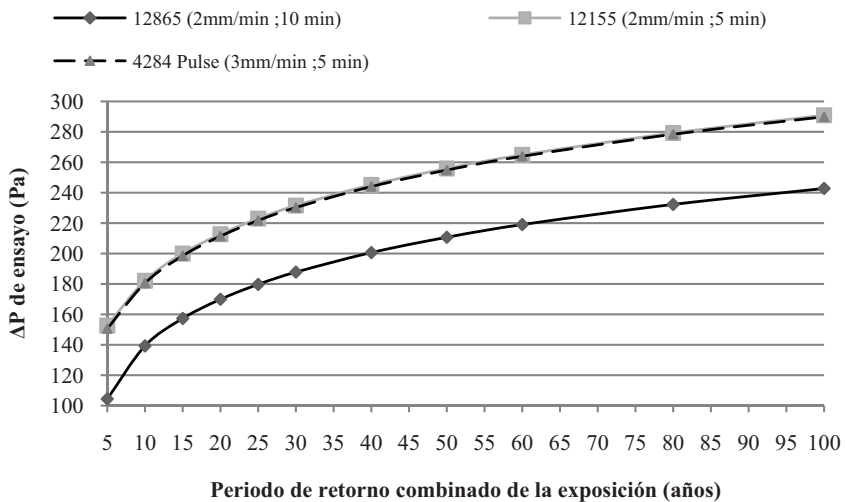


Figura V.21.- Comparación establecida en base a un mismo criterio equivalente para diferentes ensayos de estanqueidad internacionales en la configuración A.

Como se aprecia, los grupos E331-E547-AAMA 501.1 y AS/NZS 4284 estática, no han sido representados en la anterior figura.

La elevada duración de estos ensayos, el elevado aporte de agua suministrado y la baja velocidad del viento registrada en un edificio de tan escasa altura, hacen que no sea posible establecer un valor de diferencia de presión de ensayo que simule la situación de exposición con un periodo menor a 100 años:

No existe una combinación de precipitación y velocidad de viento, capaz de generar la lluvia batiente utilizada en los ensayos en simultaneidad a ninguna presión de ensayo, manteniendo la condición de que el periodo combinado resultante de ambas sea inferior a los 100 años analizados.

De hecho, el periodo de retorno debería ampliarse hasta valores superiores a los 1000 años para poder encontrar una combinación utilizable para el ensayo AS/NZS 4284 estática y de más de 2800 años para los ensayos E331-E547-AAMA 501.1.

Ambos ensayos son por lo tanto totalmente inútiles para caracterizar las prestaciones de cerramientos de baja altura en un emplazamiento de exposición a la lluvia batiente moderada como es Jerez de la Frontera.

De la figura se desprende que el ensayo EN 12865, caracterizado por una duración de la exposición mayor y un aporte de agua parecido al de las otras normas, simula siempre condiciones de exposición con un mayor periodo de retorno para una misma diferencia de presión empleada. Ello se debe a que esta presión se mantiene durante más tiempo sobre el cerramiento, situación más infrecuente en condiciones reales y por lo tanto, caracterizada por un mayor periodo de retorno.

En cuanto a las normas EN 12155 y AS/NZS 4284 por pulsos, la única diferencia entre ellas es el aporte de agua utilizado, ligeramente superior en la norma de ensayo australiana y neozelandesa. Dado que para un mismo intervalo de presión, esta última simula una lluvia batiente más elevada y por lo tanto caracterizada por un periodo de retorno más elevado en condiciones reales, este ensayo simula unas condiciones ligeramente más exigentes que el primero, de ámbito europeo.

Como se ve, la diferencia no es muy apreciable, por lo que se puede concluir que la utilización de diferentes valores de aporte de agua en los ensayos, es un valor mucho menos relevante que la utilización de diferentes intervalos de exposición o de presión sobre la muestra de ensayo. A efectos prácticos, ambos ensayos podrían considerarse prácticamente idénticos en la homologación que ofrecen y por lo tanto, siendo válidas estas homologaciones en el otro ámbito normativo.

La traducción de estas conclusiones a la industria de la construcción actual supone una optimización de recursos económicos inestimable, dado que ya no es necesario repetir la homologación de los sistemas de cerramiento en cada ámbito normativo en el que se pretendan utilizar, ahorrando no solo una enorme cantidad de recursos económicos a las industrias que plantean soluciones innovadoras de cerramientos, sino que también permiten optimizar sus diseños mediante los ensayos a unas condiciones de diseño y prestación, objetivamente definidas.

Gráficamente, puede igualmente establecerse la equivalencia entre diferentes escalones de presión utilizados por todas las normativas, en referencia al periodo de retorno representado por la exposición de ensayo.

Tal y como se aprecia en la figura V.22, una presión de ensayo de 200 Pa, representa en los ensayos EN 12155 y AS/NZS 4284 por pulsos, un periodo de retorno de la exposición muy similar, de 15 y 15,5 años respectivamente. Sin embargo, la misma presión utilizada en el ensayo EN 12865, simula una exposición con un periodo de retorno en la configuración A, de 39,4 años.

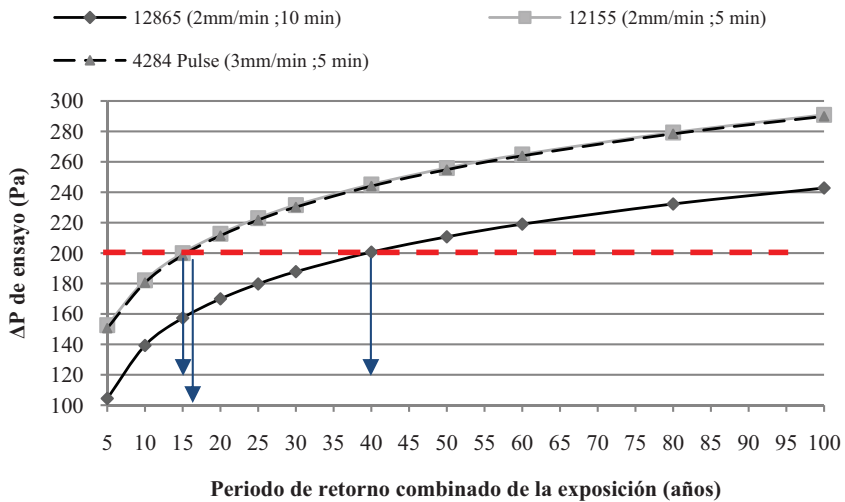


Figura V.22.- Extrapolación de condiciones de prestación en el cerramiento para una misma presión eólica utilizada en diferentes ensayos internacionales en la configuración A.

Si utilizamos la herramienta informática para evaluar el periodo de retorno asociado a dicha presión para los otros grupos de normativas de ensayo, se obtiene un periodo de retorno de 3677 años para E331-E547-AAMA 501.1 y un periodo de retorno de 1615 años para AS/NZS 4284 estática.

Repitiendo el proceso para la configuración B, representativa de edificios de hasta 6 alturas en un entorno rural, arbolado o del extrarradio de las ciudades, es posible obtener la siguiente relación entre los parámetros de ensayo.

Como en el caso anterior, no existe una combinación de precipitación y velocidad de viento, capaz de generar la lluvia batiente utilizada en los ensayos en simultaneidad a ninguna presión de ensayo, manteniendo la condición de que el periodo combinado resultante de ambas sea inferior a los 100 años analizados.

El periodo de retorno debería ampliarse más allá de 1000 años para poder encontrar una combinación utilizable para los ensayos AS/NZS 4284 estática y E331-E547-AAMA 501.1.

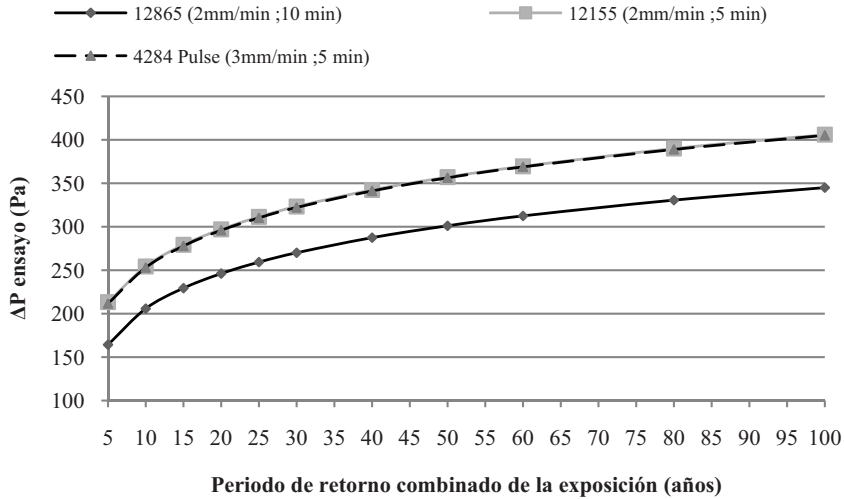


Figura V.23.- Comparación establecida en base a un mismo criterio equivalente para diferentes ensayos de estanqueidad internacionales en la configuración B.

Planteando la misma comparación gráfica anterior o bien utilizando la herramienta informática desarrollada, pude obtener el periodo de retorno equivalente a la utilización de una presión eólica de 200 Pa en los tres ensayos representados.

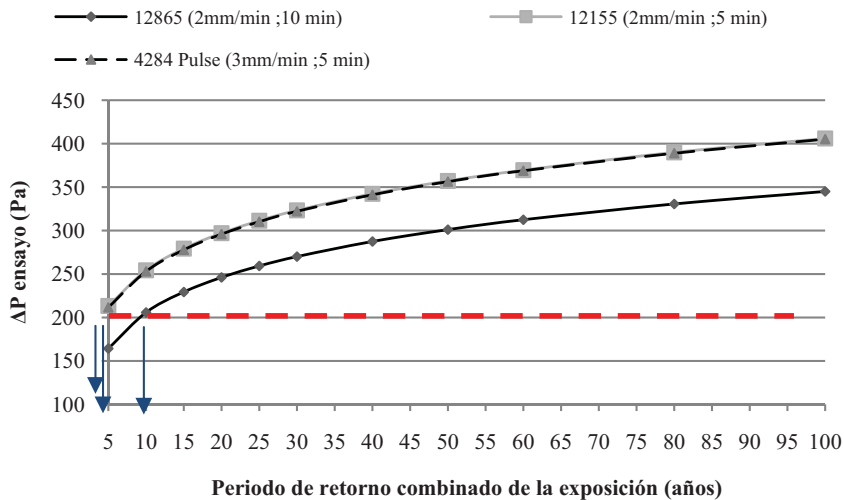


Figura V.24.- Extrapolación de condiciones de prestación en el cerramiento para una misma presión eólica utilizada en diferentes ensayos internacionales en la configuración B.

Así dicha presión, representa en los ensayos EN 12155 y AS/NZS 4284 por pulsos, un periodo de retorno de la exposición muy similar, de 4 y 4,1 años respectivamente. Sin embargo, la misma presión utilizada en el ensayo EN 12865, simula una exposición con un periodo de retorno en la configuración B, de 9 años.

Para la configuración C, representativa de edificios altos de hasta 10 alturas, habituales en los entornos urbanos y suburbanos de nuestras ciudades, la comparación de los parámetros de los diferentes ensayos, arroja la siguiente representación gráfica:

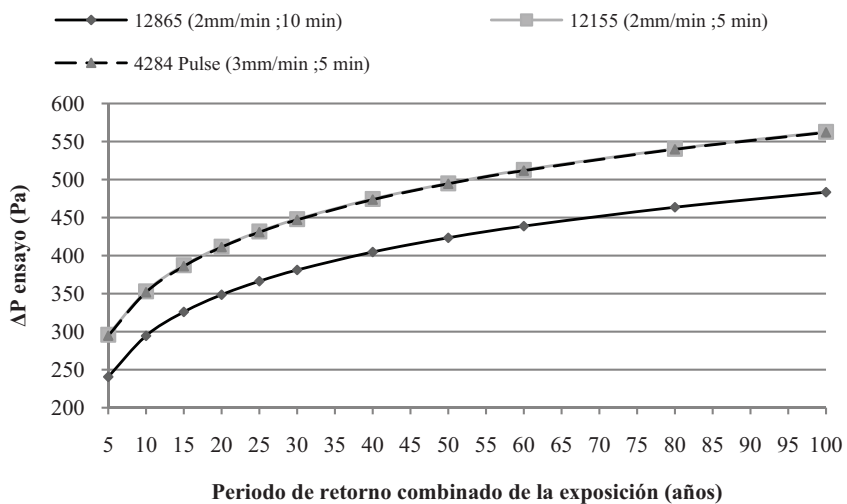


Figura V.25.- Comparación establecida en base a un mismo criterio equivalente para diferentes ensayos de estanqueidad internacionales en la configuración C.

Tampoco en esta ocasión los ensayos AS/NZS 4284 estática y E331-E547-AAMA 501.1 resultan de utilidad, ya que no existe una combinación de precipitación y velocidad de viento, capaz de generar la lluvia batiente utilizada en los ensayos en simultaneidad a ninguna presión de ensayo, manteniendo la condición de que el periodo combinado resultante de ambas sea inferior a los 100 años analizados.

Del mismo modo, comparar una presión eólica de tan solo 200 Pa, resulta a dicha altura de 30 m, en periodos de retorno muy bajos en las tres normas representadas. Así dicha presión, representa en los ensayos EN 12155 y AS/NZS 4284 por pulsos, un periodo de retorno de la exposición muy similar, de 1,6 y 1,7 años respectivamente. Sin embargo, la misma presión utilizada en el ensayo EN 12865, simula una exposición con un periodo de retorno en la configuración C, de 3 años.

Es claro por lo tanto que en cualquiera de los tres ensayos, será necesario superar una presión muy superior por parte del sistema de cerramiento ensayado, si se

pretende garantizar su estanqueidad en edificios de hasta 30 metros de altura, durante un periodo de tiempo aceptable.

Por último simulando la configuración D, relativa a edificios de más de 10 alturas situados en el entorno de otros edificios urbanos de similar altura (y donde se generan turbulencias apreciables que incrementan la velocidad del viento registrada), la comparación anterior, nos permite obtener la siguiente gráfica:

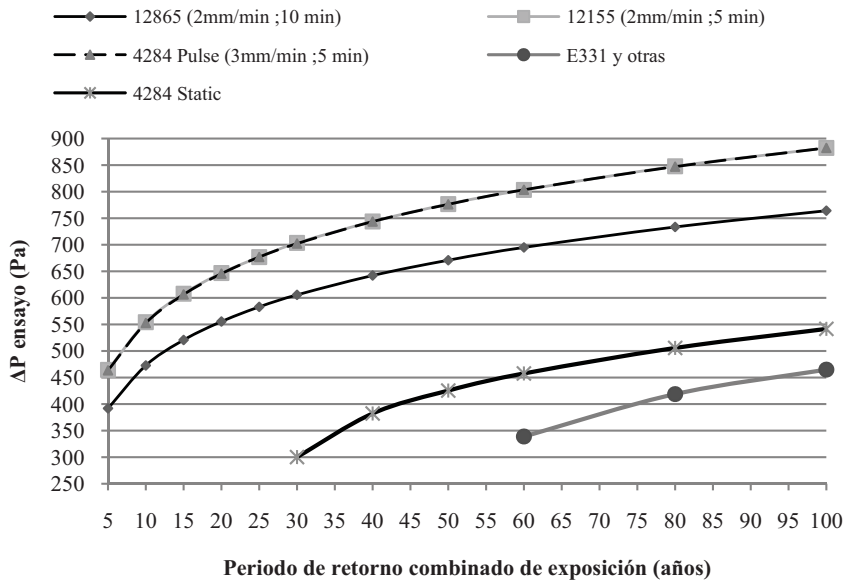


Figura V.26.- Comparación establecida en base a un mismo criterio equivalente para diferentes ensayos de estanqueidad internacionales en la configuración D.

En este caso por primera vez, los ensayos AS/NZS 4284 estática y E331-E547-AAMA 501.1 resultan de utilidad, al definirse combinaciones de valores de precipitación y velocidad de viento que producen los parámetros de exposición utilizados, con un periodo de retorno combinado inferior a 100 años.

La gran altura del cerramiento y las elevadas velocidades de viento registradas a tal altitud, hacen posible que las condiciones de estos ensayos puedan producirse en Jerez de la Frontera para periodos de retorno razonables. Queda claro por lo tanto que ambos grupos de normativas no son aptos para evaluar edificios de moderada altura ni sometidos a una exposición moderada como la existente en Jerez de la Frontera y representativa de muchos otros emplazamientos de nuestro país.

Por el contrario, ambos ensayos si son especialmente idóneos para la evaluación de la estanqueidad en cerramientos que van a ser destinados a edificios altos o rascacielos (más habituales en Estados Unidos y Australia), o para emplazamientos sometidos a exposiciones muy elevadas.

La diferencia entre los diferentes ensayos de estanqueidad puede observarse claramente observando la figura anterior o bien, comparando el periodo de retorno asociado a un mismo valor de presión eólica, como por ejemplo de 450 Pa:

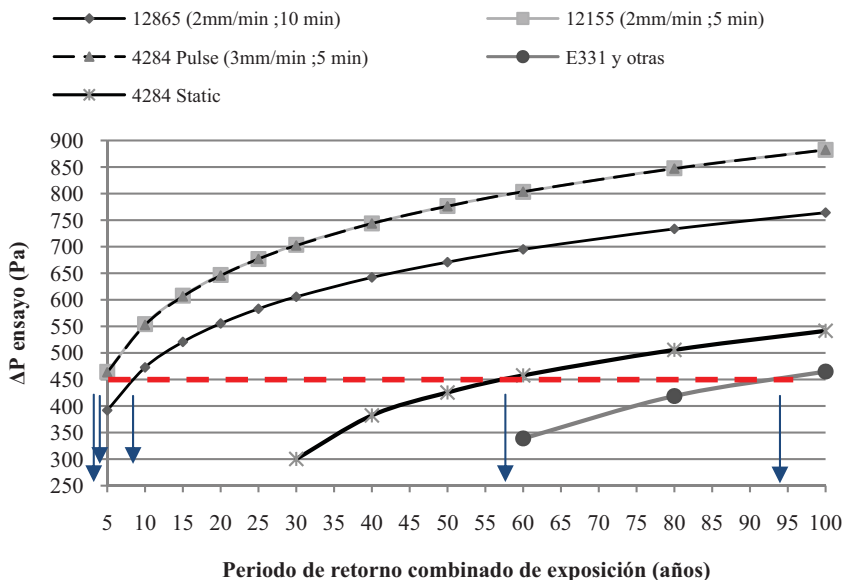


Figura V.27.- Extrapolación de condiciones de prestación en el cerramiento para una misma presión eólica utilizada en diferentes ensayos internacionales en la configuración D.

La presión de 450 Pa, representa en los ensayos EN 12155 y AS/NZS 4284 por pulsos, un periodo de retorno de la exposición como siempre muy similar, de 4,4 y 4,5 años respectivamente. Sin embargo, la misma presión utilizada en el ensayo EN 12865, simula una exposición con un periodo de retorno en la configuración D, de 8,2 años.

Para el grupo de ensayos E331-E547-AAMA 501.1, utilizar dicha presión equivale a simular durante el ensayo una exposición con un periodo de retorno de 92,7 años, mientras que para el ensayo AS/NZS 4284 estática, equivale 57,4 años, siendo por lo tanto este último, algo menos exigente que el primero.

La comparación de los resultados puede realizarse también en otro sentido, comparando la presión eólica que debe ser simulada en cada uno de los ensayos para simular las condiciones de exposición asociadas a un mismo periodo de retorno combinado.

Si se adopta un periodo de retorno razonable de 50 años, la siguiente figura permite establecer gráficamente esta comparación:

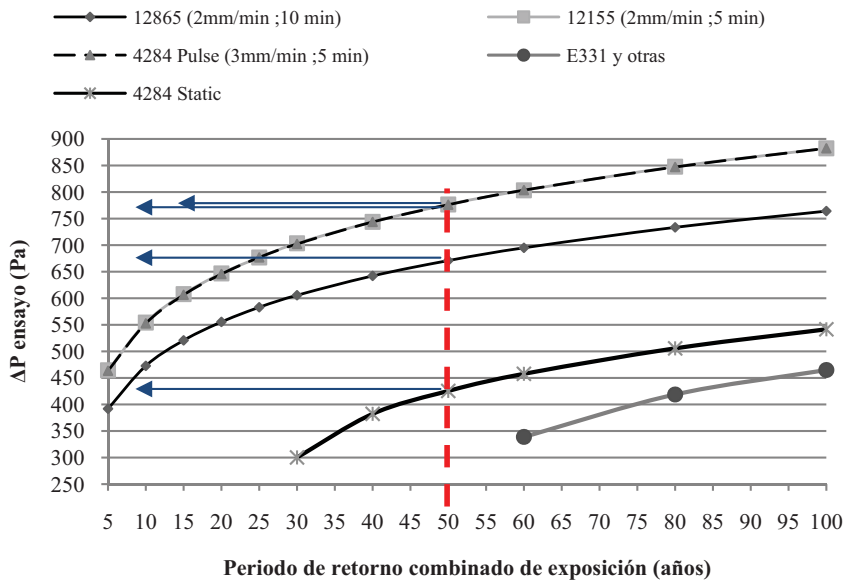


Figura V.28.- Extrapolación del parámetro de presión para un mismo periodo de retorno simulado en la exposición de cada uno de los ensayos, para la configuración D.

Dicho periodo de retorno de 50 años, necesita ser simulado mediante una presión de 670,9 Pa en el ensayo EN 12865; de 776,6 Pa en el ensayo EN 12155; de 776,1 Pa en el ensayo AS/NZS 4284 por pulsos. Para el ensayo AS/NZS 4284 estático, debería utilizarse 425,5 Pa.

No existe sin embargo una combinación de precipitación y velocidad de viento, que se produzca sobre la configuración D con un periodo de retorno combinado de 50 años, produciendo las condiciones de lluvia batiente propuestas por los ensayos E331-E547-AAMA 501.1, para ninguna presión.

V.8.- COMENTARIO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS

A lo largo de este capítulo se ha presentado una parametrización capaz de establecer biunívocamente la equivalencia existente entre los parámetros estandarizados de cualquier ensayo de estanqueidad y la exposición real en condiciones de servicio del cerramiento, mediante un criterio de prestación basado en el cálculo del periodo de retorno asociado a la exposición de ensayo.

Para ello se ha relacionado matemáticamente el cálculo de la exposición real soportada por los cerramientos de edificación en diferentes condiciones de altura y entorno en cada emplazamiento, con los parámetros de aporte de agua, diferencia de presión y duración de cualquier ensayo de estanqueidad.

El criterio utilizado para establecer esta relación matemática ha consistido en la determinación exacta del periodo de retorno asociado a la ocurrencia de la exposición ensayada en las condiciones de servicio del cerramiento. Dicha determinación exacta constituye un aporte original que ha sido soslayado sistemáticamente por las numerosas investigaciones previas relacionadas con la prestacionalidad de los ensayos de estanqueidad y que constituye un avance de vital importancia.

Es posible de esta manera, determinar de forma exacta, la prestación que el ensayo garantiza para el sistema de cerramiento en cualquiera que sea su posible utilización posterior. Inversamente, la parametrización permite a partir de una prestación de servicio demandada para el cerramiento (periodo de retorno combinado), determinar los parámetros bajo los cuales el cerramiento debe ser ensayado.

Ambos aspectos son de vital importancia, para la innovación y el desarrollo en la industria de la construcción, al permitir el diseño óptimo de sistemas de cerramientos ajustados a unas exigencias concretas de exposición, para una duración de sus prestaciones determinada.

Del mismo modo, para diseñadores y proyectistas, constituye una herramienta capaz de determinar de forma exacta y precisa, que sistema de cerramiento se ajusta a sus expectativas exactas, únicamente comprobando los parámetros de exposición superados durante el ensayo de estanqueidad sin pérdida de estanqueidad. En la actualidad, esta comparación se basa únicamente en una aproximación aproximada, general y no asociada a ningún periodo concreto de prestación.

Dado que la parametrización permite relacionar de forma inequívoca la exposición en condiciones de servicio con la prestación del diseño de cerramiento, a través de los resultados de su ensayo de estanqueidad, ésta constituye una herramienta de verificación del cumplimiento de la protección frente a la penetración del agua plenamente prestacional, que puede ser implantada en el Código Técnico de la Edificación para suplantar la actuales soluciones aceptadas descriptivas.

Es posible por lo tanto mediante la misma, evaluar la prestación ofrecida por cada posible diseño de cerramiento en cada emplazamiento concreto, así como para cada condición de altura, entorno y topográfica en la que se pretende utilizar dicho diseño de cerramiento.

Dado que la parametrización no altera los parámetros de ensayo a utilizar durante las pruebas de estanqueidad, los ensayos normalizados actualmente vigentes en nuestro país pueden seguir siendo empleados, siendo igualmente válidos los resultados de ensayos previamente realizados para su utilización en esta verificación prestacional.

Para su aplicación, es necesaria únicamente una recopilación de datos climáticos en cada emplazamiento, referidos a intervalos de tiempo de corta duración (preferentemente inferiores a media hora). El número de años recopilados debe ser representativo (no inferior a 10 años), con el objetivo de permitir estimar periodos de retorno con una cierta fiabilidad.

Por ello, la recopilación y puesta a disposición pública de estos datos meteorológicos referidos a precipitación y velocidad de viento, debería constituir una prioridad para la Agencia Estatal de Meteorología, dada su aplicabilidad directa para mejorar la protección frente a la humedad y optimización de los diseños de fachadas en nuestro país.

De forma similar a como se recopilan en diversas normativas urbanísticas y técnicas de los ayuntamientos de nuestro país, datos de máximas precipitaciones o curvas I-D-F para el adecuado diseño de las redes de saneamiento en nuestras ciudades, cada emplazamiento debería contar igualmente con estudios relativos a estos parámetros meteorológicos que permitirán a diseñadores y proyectistas, comprobar la idoneidad de una determinada solución de fachada en una situación de servicio del municipio.

A este respecto, a lo largo del capítulo IV y anejos A.1 y A.2, se han expuesto resultados de exposición máxima a la lluvia batiente y a la presión eólica simultánea a la precipitación en intervalos anuales, diarios o definidos por diferentes periodos de humedecimiento.

Es indudable que una mayor exposición en el emplazamiento, por ejemplo diaria, irá asociada a unos parámetros de precipitación y velocidad de viento en intervalos de corta duración, también mayores. Inversamente, se tendrán valores más pequeños de precipitación y velocidad de viento en intervalos cortos de tiempo si también las exposiciones máximas diarias son inferiores.

De forma más inexacta, la misma relación podría establecerse sirviéndonos de los datos de exposición anuales, también obtenidos en el capítulo IV o de los índices daDRI que pueden interpolarse para cualquier emplazamiento español a partir de la pluviometría media y la velocidad media anual o mensual (véase capítulo IV). De esta forma, los datos que precisa esta parametrización pueden simplificarse de tal forma que no sea necesario disponer de datos de corta duración para cada posible emplazamiento, utilizando para ello únicamente los datos recopilados en el capítulo IV, disponibles ya para múltiples emplazamientos.

Sería por lo tanto posible, a falta de datos precisos proporcionados por AEMET para cortos intervalos de registro en múltiples emplazamientos, asociar a cada dato de exposición anual, unos parámetros $\alpha_{\text{prep.}}$, $u_{\text{prep.}}$, α_v y u_v que caracterizaran al emplazamiento y que permitieran de esta forma utilizar la verificación prestacional propuesta en cualquier emplazamiento español.

Así, se tiene por ejemplo que para Jerez de la Frontera, un índice daDRI de $3,74 \text{ m}^2/\text{s}$ (mapa 07 del anejo A.1) y un valor de presión eólica media anual simultánea a

la precipitación de 20 Pa/día corresponden a los valores $\alpha_{\text{prep.}}$, $u_{\text{prep.}}$, α_v y u_v presentados en las tablas V.1 y V2 que permiten la aplicación de la parametrización.

No obstante, para ajustar esta posible correlación aproximada entre ambos grupos de parámetros, es necesario contar con un mayor número de datos relativos a cortos intervalos de registros, procedentes de otros emplazamientos, datos de los que se no se ha dispuesto para la realización de este trabajo.

La obtención de un mayor número de datos climáticos registrados en cortos intervalos de tiempo, procedentes de otros emplazamientos españoles, constituye pues una de las principales líneas de acción del Área de Ingeniería de la Construcción de la Universidad de Zaragoza. Con ellos se pretende establecer un mapa inicial de verificación de soluciones constructivas para España, que permita determinar que parámetros han de ser utilizados para la verificación prestacional de la solución constructiva en cada posible emplazamiento español, de una forma aproximada.

Simultáneamente, se pretende recopilar el mayor número posible de series cortas de datos climáticos, a fin de permitir la aplicación exacta de la parametrización en el mayor número posible de ciudades españolas.

Puesto que la parametrización es capaz de relacionar prestación del cerramiento bajo condiciones de servicio, con cualquier ensayo de estanqueidad, es posible igualmente establecer comparaciones entre los distintos estándares internacionales de ensayo vigentes.

Para ello ha sido necesario desarrollar un procedimiento que permitiera obtener parámetros de exposición equivalentes a todos ellos, que pudieran ser comparados mediante la parametrización planteada. Dicho procedimiento es general, pero permite obtener equivalencias ajustadas y precisas en cada emplazamiento, a diferencia de otras alternativas posibles.

El aporte obtenido al permitir la posibilidad de comparar los resultados obtenidos por diferentes ensayos de estanqueidad, ofrece una serie de opciones de gran valor para la innovación de soluciones y la industria de la construcción:

- Permite homologar un sistema de cerramiento en todo el mundo (para cualquier condición de exposición), a partir de los resultados de un único ensayo de estanqueidad.
 - Reduciendo costes económicos asociados a la repetición de ensayos de estanqueidad en diferentes ámbitos normativos para obtener la homologación para su utilización.
 - Eliminando trabas para la libre circulación de productos de construcción, en este caso soluciones constructivas de cerramientos y muros cortina entre los diferentes países y ámbitos de normalización y homologación.
 - Ampliando la utilidad de los diferentes sistemas de cerramiento al discernir su prestación para cada emplazamiento, altura y entorno concretos, lo que permite la utilización de productos de muy reducidas prestaciones en aplicaciones de muy reducida exigencia.
- Permite diseñar sistemas de cerramiento específicamente utilizables en situaciones concretas de exposición y para prestaciones concretas requeridas.

- Evaluando la optimización del cerramiento ensayado en relación a unas determinadas condiciones de exposición, hasta obtener diseños perfectamente ajustados a la prestación deseada.
- Evitando la utilización de soluciones de cerramiento sobredimensionadas para las condiciones de exposición a las que se va a ver sometido (situación muy habitual en la actualidad), optimizando el coste económico de la partida de cerramientos de cualquier edificio.
- Incrementando la seguridad frente a la penetración de agua a través de los cerramientos de los edificios, al evitar la colocación de cerramientos con una prestación insuficientes para diferentes condiciones de exposición, minimizando tareas y gastos de mantenimiento y reparación asociados a los cerramientos verticales.
- Extrapolando el periodo de retorno con el cual se van a producir exposiciones que pueden dar lugar a la penetración de agua a través del cerramiento, permitiendo así ajustar en el diseño o a nivel normativo, la exigencia de prestación en función de los diferentes usos a los que se destinan las edificaciones donde se disponen los cerramientos (edificios públicos, edificios residenciales, construcciones temporales...).

Con el objetivo de agilizar todos los cálculos realizados en esta parametrización presentada, permitiendo su ampliación a un número amplio de emplazamientos y su utilización funcional por parte de técnicos, diseñadores y administraciones relacionadas con la construcción, todos los procedimientos han sido automatizados en una herramienta informática (herramienta WTES – Watertightness Test Evaluation Software), gestionada por el Área de Conocimiento de Ingeniería de la Construcción de la Universidad de Zaragoza.

Dicha herramienta permite la comparación simultánea de diferentes estándares de ensayo internacionales, así como la resolución simultánea de la parametrización desarrollada en este capítulo en base a las dos aproximaciones a la resolución planteadas: determinando la prestación de un cerramiento concreto en base a sus resultados de ensayo o determinando la presión de ensayo a superar, para garantizar la estanqueidad para una prestación de diseño en el cerramiento.

Utilizando todos estos aportes y a tenor únicamente de los resultados obtenidos para la ciudad de Jerez de la Frontera, han podido ya identificarse importantes ámbitos de mejora en relación a los ensayos de estanqueidad:

- Habitualmente las pruebas realizadas sobre los sistemas de cerramiento llegan a simular situaciones inverosímiles sobre los mismos, favoreciendo su sobredimensionado y un mayor coste económico totalmente innecesario.
- Soluciones de cerramiento capaces de superar únicamente el primer escalón marcado para los ensayos (150 Pa), son sin embargo perfectamente utilizables para una gran mayoría de los edificios habituales en una ciudad como Jerez de la Frontera.
- Algunos ensayos de estanqueidad internacionales, no puede ser utilizados para homologar cerramientos utilizables en Jerez de la Frontera, debido a que no simulan situaciones realistas que se producen en el emplazamiento.

- La altura del cerramiento y su entorno, son dos parámetros fundamentales para caracterizar la homologación de un sistema de cerramiento, parámetro que actualmente no recoge ningún estándar de ensayo.
- El aporte de agua a utilizar durante el ensayo (2, 3 o 3,4 mm/min), a pesar de la gran cantidad de estudios realizados al respecto, no constituye un factor especialmente relevante para determinar la homologación del cerramiento.
- Duración de la exposición y diferencia de presión aplicada, son por el contrario parámetros de exposición mucho más decisivos para caracterizar al sistema de cerramiento ensayado, a pesar de que el primero, apenas ha recibido atención internacional.

Por último, es necesario hacer hincapié en un aspecto que se relaciona directamente con los aportes ya identificados en el capítulo III.

Bajo ningún concepto debe someterse a ensayo de estanqueidad soluciones de cerramiento completas, que incluyan hojas interiores, aislamientos térmicos o acabados interiores, ya que la prestación de protección frente a la humedad no debe asociarse a la aparición de humedad en el enlucido o alicatado interior.

En lugar de ello, deben someterse a ensayo únicamente aquellas hojas del cerramiento exteriores a los aislantes térmicos del mismo, garantizando de este modo, la prestación que impide que estos materiales sensibles por sus importantes implicaciones térmicas sobre el cerramiento, se encuentren en contacto directo con la humedad atmosférica.

Este hecho, que parece obvio, en la actualidad no se respeta, siendo frecuentemente sometidas a ensayos soluciones constructivas que incluyen el material aislante térmico como parte fundamental para obtener una mayor estanqueidad, lo que a tenor de lo ya expuesto en el capítulo III, resulta un auténtico disparate.

Habría no obstante que excluir de esta necesidad a las soluciones con cámara de aire ventilada, en las que se supone que el contacto con la humedad desaparece rápidamente por el importante factor de evaporación y convección de aire existente en la misma.

Será, sobre estas hojas de cerramiento exteriores al aislamiento, sobre las que habrá de determinarse la prestación, imponiendo a nivel normativo los límites que se consideren aceptables, excluyendo por lo tanto a estos materiales aislantes de cualquier utilización como barrera frente a la penetración de agua. Esta aclaración, debe ser urgentemente incluida en el articulado normativa tanto del CTE como de las normas de ensayo a nivel español europeo e internacional.

El cumplimiento de la prestación frente a la penetración de agua, en conjunción al cumplimiento de la reducción del riesgo de condensaciones intersticiales ya articulado mediante un método de verificación prestacional, permitirá poder garantizar una protección frente a la humedad integral, científica y objetiva para los cerramientos tanto de nuestro país como de cualquier ámbito internacional.

V.7.- BIBLIOGRAFÍA Y APÉNDICES

- AAMA 501.1-2005. *Standard test method for water penetration of exterior windows, curtain walls and doors using dynamic pressure*. American Architectural Manufacturers Association.
- Abuku, M. Blocken, B. Roels, S. 2009. *Moisture response of building facades to wind-driven rain: Field measurements compared with numerical simulations*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 97: 197-2007.
- Abuku, M. Janssen, H. Poesen, J. Roels, S. 2009. *Impact, absorption and evaporation of raindrops on building facades*. Building and Environment 44: 113-124.
- AENOR UNE-EN 12154:2000. *Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Requisitos y clasificación*.
- AENOR UNE-EN 12155:2000. *Fachadas ligeras. Estanqueidad al agua. Ensayo de laboratorio bajo presión estática*.
- AENOR UNE-EN 12865:2002. *Comportamiento higrotérmico de componentes y elementos de edificación. Determinación de la resistencia al agua de lluvia de muros exteriores bajo impulsos de presión de aire*.
- AENOR UNE-EN 13050:2011. *Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo en laboratorio bajo presión dinámica de aire y proyección de agua*.
- AENOR UNE-EN 13051:2001. *Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo "in situ"*.
- AENOR UNE-EN ISO 15927-3:2011. *Comportamiento higrotérmico de edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 3: Cálculo de índice de lluvia para superficies verticales a partir de datos horarios de viento y de lluvia*.
- ASTM, 2009a. ASTM E331 *Standard test method for water penetration of exterior windows, skylights, doors, and curtain walls by uniform static air pressure difference*. ASTM E331 - 00(2009). American Society for Testing and Materials.
- ASTM, 2009b. ASTM E547 *Standard test method for water penetration of exterior windows, skylights, doors, and curtain walls by cyclic static air pressure difference*. ASTM E547-00(2009). American Society for Testing and Materials.
- AS/NZS 4284:2008. *Testing of building Façades*. Australian and New Zealand Standards Institution.
- Bayes, T., 1763. *An essay towards solving a problem in the doctrine of chances*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 53: 370-418.
- Beijer, O. 1977. *Concrete walls and weathering*. RILEM/ASTM/CIB Symposium on Evaluation of the Performance of External Vertical Surfaces of Buildings, vol. 1: 67-76.
- Best, A.C., 1950. *The size distribution of raindrops*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 76: 16-36.
- Blocken, B. Abuku, M. Roels, S. Carmeliet, J. 2009. *Wind-driven rain on building facades: some perspectives*. European-African Conference on Wind Engineering 5. Florence, ITA.
- Blocken, B., Abuku, M., Nore, K., Briggen, P.M., Schellen, H.L., Thue, J.V., Roels, S., Carmeliet, J., 2011. *Intercomparison of wind-driven rain deposition models based on two case studies with full-scale measurements*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 99(4), 448-459.
- Blocken, B. Carmeliet, J. 2002. *Spatial and temporal distribution of driving rain on a low-rise building*. Wind and Structures 5(5):441-462.
- Blocken, B. Carmeliet, J. 2007. *On the errors associated with the use of hourly data in wind-driven rain calculations on building facades*. Atmospheric Environment 41(11): 2335-2343.

- Blocken, B., Carmeliet, J., 2010. *Overview of three state-of-the-art wind-driven rain assessment models and comparison based on model theory*. Building and Environment 45(3), 691-703.
- Blocken, B., Carmeliet, J. 2012. *A simplified numerical model for rainwater runoff on building facades: Possibilities and limitations*. Building and Environment 53: 59-73.
- Blocken, B., Deszö, G., van Beeck, J., Carmeliet, J., 2010. *Comparison of calculation models for wind-driven rain deposition on building facades*. Atmospheric Environment 44(14), 1714-1725.
- Chew, M.Y.L. Tan, P.P. 2003. *Facade staining arising from design features*. Construction and Building Materials 17: 181-187.
- Choi, E.C.C., 1991. *Numerical simulation of wind-driven-rain falling onto a 2-D building*. Proceedings of Asia Pacific Conference on Computational Mechanics, Hong Kong, 1721-1728.
- Choi, E.C.C., 1993. *Simulation of wind-driven rain around a building*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 46&47, 721-729.
- Choi, E.C.C., 1994a. *Determination of wind driven-rain intensity on building faces*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 51(1), 55-69.
- Choi, E.C.C., 1994b. *Parameters affecting the intensity of wind-driven rain on the front face of a building*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 53(1-2),1-17.
- Choi, E.C.C., 1998. *Criteria for water penetration testing. Water leakage through building facades*. ASTM STP 1314, 3-16.
- Cornick, S.M., Dalglish, A., Said, N., Djebbar, R., Tariku, F., Kumaran, M.K., 2002. *Report from task 4 of MEWS project: Task 4- Environmental conditions final report*. National Research Council Canada IRC-RR-1130.
- Cornick, S.M., Lacasse, M.A., 2005. *A review of climate loads relevant to assessing the watertightness performance of walls, windows, and wall-window interfaces*. Journal of ASTM International 2 (10), 1-16.
- Cornick, S.M., Lacasse, M.A., 2009. *An investigation of climate loads on building façades for selected locations in the US*. Journal of ASTM International 6 (2), 1-17.
- Dingle, A.N., Lee, Y., 1972. *Terminal fall speeds of raindrops*. Journal of Applied Meteorology 11, 877-879.
- EN 12155:2000. *Curtain walling. Watertightness. Laboratory test under static pressure*.
- EN 12865:2001. *Hygrothermal performance of building components and building elements. Determination of the resistance of external wall systems to driving rain under pulsating air pressure*.
- Gumbel, E.J., 1958. *Statistics of extremes*. Columbia University Press, New York.
- Hall, C. Kalimeris, A.N. 1982. *Water movement in porous building materials – V. Absorption and shedding of rain by building surfaces*. Building and Environment 17(4): 257-262.
- Hens, H. 2010. *Wind-driven rain: From theory to reality*. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI International Conference. Clearwater Beach, USA.
- IETcc. 2010. *Catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación. Versión preliminar marzo 2010*. <www.codigotecnico.org/web/galerias/archivos/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf> [Consulta: 14 de julio de 2011]
- Linsley, R.K., Kohler, M.A., Paulhus, J.L.H., 1975. *Hydrology for Engineers*, 2nd Ed. McGraw-Hill Book Co., New York.

- Mayo, A.P., 1998a. *To develop a European standard dynamic watertightness test for curtain walling. Task 4. Compare the conditions produced by existing test methods with the standard test conditions.* Building Research Establishment.
- Mayo, A.P., 1998b. *To develop a European standard dynamic watertightness test for curtain walling. Task 3. Define the conditions to be reproduced in the standard test.* Building Research Establishment.
- Pérez-Bella, J.M., Domínguez-Hernández, J., Rodríguez-Soria, B., del Coz-Díaz, J.J., Cano-Suñén, E., 2012. Performance-based method for calculating test parameters used in wall system water tightness tests. Building and Environment. Submitted for publication.
- Ray, M.L. Rogers, A.L. McGowan, J.G. 2006. *Analysis of wind shear models and trends in different terrains.* AWEA Windpower 2005 Conference, Pittsburgh, USA.
- Sahal, N. Lacasse, M. 2008. *Proposed method for calculating water penetration test parameters of wall assemblies as applied to Istanbul, Turkey.* Building and Environment, 43: 1250–1260.
- Straube, J.F., Burnett E.F.P., 2000. *Simplified prediction of driving rain on buildings.* Proc. of the International Building Physics Conf., Eindhoven, The Netherlands 18-21 September 2000, 375-382.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla V.1	Máximo valor anual de velocidad de viento registrado en intervalos diezminutales y cálculo de los parámetros de la distribución de Gumbel, para el cálculo de periodos de retorno.	Pág. V.-17
Tabla V.2	Máximo valor anual de precipitación registrada en intervalos diezminutales y cálculo de los parámetros de la distribución de Gumbel, para el cálculo de periodos de retorno.	Pág. V.-18
Tabla V.3	Condiciones de exposición analizadas en Jerez de la Frontera, para un intervalo de registro de 10 minutos.	Pág. V.-20
Tabla V.4	Condiciones de presión eólica calculadas para diferentes alturas del edificio situado en Jerez de la Frontera, para un intervalo de registro de 10 minutos y un coeficiente de Hellmann igual a 1/7.	Pág. V.-21
Tabla V.5	Periodos de retorno asociados a los diferentes parámetros de ensayo (supuesto un edificio de altura máxima 10 m), para un emplazamiento de pluviometría media en España.	Pág. V.-21
Tabla V.6	Periodos de retorno asociados a la simultaneidad de ambos parámetros, considerando los mismos independientes entre sí, para Jerez de la Frontera, considerando un edificio de 10 m de altura.	Pág. V.-23
Tabla V.7	Periodos de retorno asociados a la simultaneidad de ambos parámetros, analizándola dependencia entre ambos, para la ciudad de Jerez de la Frontera en un edificio de 10 m de altura.	Pág. V.-30
Tabla V.8	Periodo de retorno asociado a la simultaneidad de ambos parámetros, analizando la dependencia entre ambos, para la ciudad de Jerez de la Frontera en un edificio de 50 m de altura.	Pág. V.-31

Tabla V.9	Condiciones extremas y propuestas para el desarrollo del ensayo frente a la penetración de agua en cerramientos verticales para edificios de altura inferior a 10 m en Jerez de la Frontera, con duración de 10 minutos. Validación de la sollicitación para las condiciones ambientales definidas por un periodo de retorno de 50 años.	Pág. V.-37
Tabla V.10	Condiciones extremas de ensayo para la validación de la solución constructiva en base a un periodo de retorno de 50 años	Pág. V.-38
Tabla V.11	Proceso de interpolación seguido para estimar las condiciones de presión a utilizar fijada una lluvia batiente de 2 mm/min y un periodo de retorno combinado de 50 años.	Pág. V.-42
Tabla V.12	Diferentes ejemplos de condiciones de ensayo obtenidas para Jerez de la Frontera, marcando la lluvia batiente mínima a aplicar en el ensayo y el periodo de retorno combinado que se desea en las condiciones de ensayo. Se simulan varias alturas de edificación.	Pág. V.-44
Tabla V.13	Coefficientes de fricción alternativos a la ley potencial general a un séptimo, para diferentes tipos de terreno, utilizado en la ley potencial de Hellmann. Fuente: Ray, Rogers y McGowan, 2006.	Pág. V.-47
Tabla V.14	Condiciones de presión eólica a recrear en el ensayo de un cerramiento, dado un periodo de retorno estimado de las condiciones simuladas de 50 años y una lluvia batiente de 2 mm/min, en ensayos de 10 minutos de duración, tales como UNE-EN 12865:2002. Se presentan diferentes configuraciones de altura (de edificación), para estas condiciones de ensayo.	Pág. V.-49
Tabla V.15	Condiciones de presión eólica a recrear en el ensayo de un cerramiento, dado un periodo de retorno estimado de las condiciones simuladas de 50 años y una lluvia batiente de 2 mm/min, en ensayos de 10 minutos de duración, tales como UNE-EN 12865:2002. Se presentan diferentes configuraciones de altura (de edificación), para estas condiciones de ensayo.	Pág. V.-50
Tabla V.16	Valores de ajuste para diferentes duraciones del intervalo de registro de datos.	Pág. V.-56
Tabla V.17	Resumen de las propiedades de diferentes ensayos de estanqueidad internacionales.	Pág. V.-64
Tabla V.18	Configuración de cerramientos y entorno del edificio, utilizadas para la comparación de ensayos internacionales de estanqueidad.	Pág. V.-65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura V.1	Recopilación de estándares normalizados de evaluación de cerramientos frente a lluvia batiente y los parámetros característicos a dichos ensayos. Fuente: Sahal y Lacasse, 2008.	Pág. V.-3
Figura V.2	Diagrama de la influencia del intervalo de registro de datos en el valor máximo de una misma variable climática.	Pág. V.-6
Figura V.3	Procedimientos de ensayo. Fuente: AENOR, 2002.	Pág. V.-8
Figura V.4	Esquema del procedimiento de ensayo, indicando en el eje X la duración de la sollicitación y en el eje Y la presión aplicada, en Pa. Fuente: AENOR, 2002.	Pág. V.-9

- Figura V.5 Valores del factor de captación en diferentes tipologías de edificio, derivadas de los estudios de los autores. En fachadas bajo aleros, este factor puede llegar a ser inferior incluso a 0,2 lo que ofrece una alta indeterminación sobre la exposición. Fuente: Straube y Burnett, 2000. **Pág. V.14**
- Figura V.6 Lluvia batiente simultánea a los intervalos de 10' de mayor presión eólica en Jerez de la Frontera (puntos), para el periodo 1992-2009 en edificios de 10 m de altura. **Pág. V.24**
- Figura V.7 Presión eólica simultánea a los intervalos de 10' de mayor lluvia batiente en Jerez de la Frontera (puntos), para el periodo 1992-2009 en edificios de 10 m de altura. **Pág. V.24**
- Figura V.8 Valor de precipitación simultánea a los intervalos de 10' de mayor velocidad de viento en Jerez de la Frontera, para el periodo 1992-2009 en edificios de 10 m de altura. **Pág. V.26**
- Figura V.9 Velocidad de viento simultánea a los intervalos de 10' de mayor precipitación en Jerez de la Frontera, para el periodo 1992-2009 en edificios de 10 m de altura. **Pág. V.26**
- Figura V.10 Valores de lluvia batiente complementarios a diferentes periodos de retorno para la presión eólica, dentro de la hipótesis combinada de solicitaciones producidas con un periodo de retorno de 50 años, en Jerez de la Frontera. **Pág. V.37**
- Figura V.11 Resumen esquemático de los procesos de cálculo utilizados en los dos apartados anteriores. A la izquierda, determinación del periodo de retorno combinado que se utiliza dados los parámetros de ensayo. A la derecha, la presión eólica y lluvia batiente a utilizar, dado un periodo de retorno combinado y fijado uno de los dos periodos de retorno subsiguientes. **Pág. V.39**
- Figura V.12 Evaluación de la lluvia batiente recibida por un cerramiento vertical, basada en aproximaciones semi-empíricas como las analizadas en este trabajo (izquierda). Parámetros relevantes a analizar en la evaluación de la respuesta del cerramiento ante dicha lluvia batiente. Solo una parte del agua impactada discurre superficialmente sobre la superficie (runoff). Fuente: Blocken et al. 2009. **Pág. V.40**
- Figura V.13 Intervalo de tiempo transcurrido entre el inicio de la lluvia batiente sobre el cerramiento y el comienzo del flujo de escorrentía sobre la superficie del cerramiento, para diferentes tipos de material. Fuente: Hens, 2010. **Pág. V.41**
- Figura V.14 Resumen esquemático del proceso de cálculo utilizado. Determinación de la presión eólica de ensayo partiendo de un valor fijo de lluvia batiente (20mm/10 min) y un periodo de retorno combinado marcado (se sugiere adoptar 50 años). Sucesivas interpolaciones del valor de precipitación han de realizarse hasta obtener el periodo de retorno combinado buscado. **Pág. V.43**
- Figura V.15 Parámetros asociados a la ley de perfil logarítmico de viento, recogidos por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011. **Pág. V.47**
- Figura V.16 Herramienta informática WTES, elaborada para la determinación de condiciones de ensayo de estanqueidad en cerramientos en base a requisitos prestacionales. **Pág. V.48**
- Figura V.17 Comparación de precisión de registros climatológicos en relación al intervalo de medición utilizado, para un mismo evento climatológico. **Pág. V.53**
- Figura V.18 Ecuación de ajuste de la velocidad de viento, para cada una de las duraciones del periodo de registro que se ha indicado, en la estación meteorológica de Jerez de la Frontera. **Pág. V.55**

- Figura V.19 Ecuación de ajuste de la intensidad de precipitación, para cada una de las duraciones del periodo de registro que se ha indicado, en la estación meteorológica de Jerez de la Frontera. **Pág. V.55**
- Figura V.20 Vista gráfica de la solución al sistema de ecuaciones planteado. **Pág. V.60**
- Figura V.21 Comparación establecida en base a un mismo criterio equivalente para diferentes ensayos de estanqueidad internacionales en la configuración A. **Pág. V.65**
- Figura V.22 Extrapolación de condiciones de prestación en el cerramiento para una misma presión eólica utilizada en diferentes ensayos internacionales en la configuración A. **Pág. V.67**
- Figura V.23 Comparación establecida en base a un mismo criterio equivalente para diferentes ensayos de estanqueidad internacionales en la configuración B. **Pág. V.68**
- Figura V.24 Extrapolación de condiciones de prestación en el cerramiento para una misma presión eólica utilizada en diferentes ensayos internacionales en la configuración B. **Pág. V.68**
- Figura V.25 Comparación establecida en base a un mismo criterio equivalente para diferentes ensayos de estanqueidad internacionales en la configuración C. **Pág. V.69**
- Figura V.26 Comparación establecida en base a un mismo criterio equivalente para diferentes ensayos de estanqueidad internacionales en la configuración D. **Pág. V.70**
- Figura V.27 Extrapolación de condiciones de prestación en el cerramiento para una misma presión eólica utilizada en diferentes ensayos internacionales en la configuración D. **Pág. V.71**
- Figura V.28 Extrapolación del parámetro de presión para un mismo periodo de retorno simulado en la exposición de cada uno de los ensayos, para la configuración D. **Pág. V.72**

CAPÍTULO VI

CARACTERIZACIÓN DE LA PRESTACIÓN TÉRMICA EN CERRAMIENTOS

VI.1.- Introducción	VI-1
VI.2.- Caracterización de la prestación térmica de los cerramientos	VI-4
VI.3.- Determinación del factor de conversión de temperatura	VI-7
VI.3.1.- Diferencia de temperatura respecto al valor establecido	VI-7
VI.3.2.- Aproximación al coeficiente de conversión de temperatura	VI-9
VI.4.- Determinación del factor de conversión de humedad	VI-14
VI.4.1.- Diferencia de contenido de humedad respecto al valor establecido	VI-14
VI.4.2.- Estimación del coeficiente de conversión de humedad	VI-25
VI.5.- Determinación de la conductividad prestacional de diseño	VI-28
VI.5.1.- Automatización del cálculo prestacional propuesto	VI-35
VI.6.- Validación de la aproximación prestacional analítica planteada	VI-38
VI.6.1.- Cálculo y resultados basados en parámetros del CTE	VI-39
VI.6.2.- Cálculo y resultados basados en el cálculo prestacional propuesto	VI-40
VI.6.3.- Cálculo y resultados obtenidos en base al cálculo numérico	VI-42
VI.7.- Comentario a los resultados obtenidos	VI-52
VI.8.- Bibliografía y apéndices	VI-57

VI.1.- INTRODUCCIÓN

La prestación térmica de un cerramiento se ve influenciada por un gran número de factores ambientales, que potencian o disminuyen las capacidades aislantes de los materiales utilizados en su ejecución.

Así, la lluvia, temperatura, humedad relativa, radiación solar... afectan a las condiciones de temperatura y contenido de humedad de los materiales y por ende, a sus propiedades de conductividad térmica y a la resistencia térmica global ofrecida por la envolvente para aislar el ambiente interior de las condiciones externas. En consecuencia, la variación de las condiciones ambientales, propicia una variación igualmente continuada de la prestación térmica del cerramiento, que ha de considerarse.

Con objeto de evaluar de forma aproximada, la oscilación producida en dichas prestaciones por la variación de condiciones ambientales, es necesario estimar la exposición de los cerramientos de un edificio a las mismas. Para ello pueden emplearse condiciones climatológicas características a cada emplazamiento, proponiendo así una aproximación analítica adecuada a las condiciones de trabajo o diseño del cerramiento.

Partiendo de esta idea, el CTE establece unas condiciones de diseño, en base a las cuales han de aportarse los datos de conductividad de los materiales utilizados en el cálculo de las envolventes térmicas de los edificios. Estas condiciones se fijan uniformemente para todo el país en una temperatura de 10°C y un contenido de humedad en el material, en equilibrio a 23°C y 50% de HR, según se recoge en su apartado DB-HE1.4.1.8:

“En todos los casos se utilizarán valores térmicos de diseño, los cuales se pueden calcular a partir de los valores térmicos declarados según la norma UNE EN ISO 10456:2001. En general y salvo justificación los valores de diseño serán los definidos para una temperatura de 10°C y un contenido de humedad correspondiente al equilibrio con un ambiente a 23°C y 50 % de humedad relativa”.

Como ya se demostró en el Capítulo II.2, estas condiciones de diseño propician un error relevante en los cálculos térmicos efectuados, resultando en nuestro país en diseños habitualmente optimistas que se comportan de forma inferior a la prevista en condiciones ambientales reales.

Una mayor temperatura y contenido de humedad en el material, se relacionan con una mayor conductividad y en consecuencia, con una menor resistencia térmica ofrecida por el material en la envolvente. Suponer que todos los materiales del cerramiento se encuentran a una temperatura de 10°C, independientemente de su posición en el cerramiento, de la época del año y del emplazamiento elegido; y estimar que su humedad es igualmente constante, constituye una simplificación poco acertada en el mejor de los casos.

Por otra parte y a pesar de su importancia, un parámetro tan relevante como las condiciones en base a las cuales se referencian los valores de conductividad a utilizar, queda en el CTE relegado a una posición secundaria, fijada por el párrafo anteriormente citado, correspondiente al DB-HE1.4.1.8.

Como consecuencia, frecuentemente suelen emplearse para la determinación del proyecto edificatorio valores de conductividad no basados en estos parámetros del CTE, sino directamente extraídos de catálogos comerciales. Estos últimos, no han de referenciar necesariamente los valores de conductividad de sus productos en base a los parámetros del CTE, sino que pueden referirse a 4 posibles condiciones de referencia (Ia, Ib, IIa y IIb) definidas por la norma UNE-EN ISO 10456:2001 (sustituida en mayo de 2012 por la norma UNE-EN ISO 10456:2012).

Por todo ello habitualmente son utilizados valores de conductividad aun más optimistas que los determinados por el CTE (cuyas condiciones coinciden con la condición de referencia Ib), que conllevan errores aun más relevantes en el cálculo térmico del edificio.

Con el objetivo de valorar adecuadamente la influencia que los parámetros climáticos característicos de cada posible emplazamiento tienen sobre la conductividad de los materiales que componen las fachadas, se desarrolla la aproximación prestacional presentada en este capítulo.

Por ello se parte de las condiciones medias de diseño existentes en cada emplazamiento, estableciendo un coeficiente corrector dependiente de las mismas, que debe modificar los valores de conductividad actualmente empleados en base a las especificaciones recogidas por el CTE. Estas condiciones ambientales medias se obtienen de datos ya recogidos por la normativa española para la estimación de la ocurrencia de condensaciones en los cerramientos (temperaturas medias mensuales y humedades relativas medias mensuales, según series con una antigüedad de 15 años).

Así, cada emplazamiento español se asocia a unas condiciones ambientales medias y cada una de estas, a un ajuste corrector concreto a aplicar sobre la conductividad que se utiliza actualmente para los materiales. Esta corrección propuesta para el valor de conductividad de los materiales mejora la caracterización establecida por el CTE, independiente de las condiciones climáticas que definan al emplazamiento.

Se pretende dotar así al técnico legislador y al proyectista de una herramienta útil mediante la cual ajustar prestacionalmente sus regulaciones y cálculos, obteniendo previsiones más realistas del comportamiento térmico de los cerramientos en cada localización. El estudio, constituye así una mejora sensible sobre la regulación normativa vigente.

La utilización creciente de herramientas de simulación térmica para la evaluación del comportamiento de los edificios, ha de estar correspondida por una creciente precisión en los datos de partida utilizados en las mismas. Por ello, los valores ajustados mediante la metodología que se propone, pueden servir para partir en dichas simulaciones, de datos más exactos que los actualmente utilizados.

VI.2.- CARACTERIZACIÓN DE LA PRESTACIÓN TÉRMICA DE LOS CERRAMIENTOS

Para abordar la tarea planteada, es necesario definir en primer lugar la influencia que la variación de las condiciones climáticas ejerce sobre las propiedades de transferencia térmica de los cerramientos.

Para ello se han utilizado las disposiciones recogidas por la norma UNE-EN ISO 10456:2012 (AENOR, 2012), que establece los parámetros que interactúan para determinar la $\lambda_{\text{DISEÑO}}$, calculando la influencia de todos ellos en el valor de conductividad finalmente presentado por el material.

Dicha normativa se articula con la finalidad de permitir obtener parámetros de conductividad más adecuados que los declarados por los fabricantes, para su utilización en los cálculos realizados sobre los proyectos en condiciones de diseño. El propio CTE (España, 2006) reconoce esta diferenciación, al reconocer la existencia de una $\lambda_{\text{DISEÑO}}$ que debe ser utilizada en contraposición a los valores declarados $\lambda_{\text{DECLARADA}}$, pero erra al signar unos parámetros de caracterización optimista para dicha conductividad de diseño.

Igualmente, el propio Catálogo de Elementos Constructivos (Ministerio de Fomento, 2010), documento reconocido por el CTE, establece la norma citada como la utilizada para determinar los valores de conductividad de diseño establecidos para una serie de materiales recogidos en sus tablas interiores. Partiendo de la misma norma, se pretende pues, optimizar el ajuste realizado, haciéndolo más realista y representativo de las condiciones en emplazamientos de nuestro país.

Utilizando esta normativa, las conversiones de valores térmicos a partir de un conjunto de condiciones ideales de suministro declaradas (λ_1, R_1), a otro de condiciones reales de utilización, de diseño (λ_2, R_2), puede hacerse de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T \cdot F_M \cdot F_a$$
$$R_2 = \frac{R_1}{F_T \cdot F_M \cdot F_a}$$

Siendo:

- F_T , Factor de conversión de temperatura.
- F_M Factor de conversión por contenido de humedad.
- F_a Factor de conversión por envejecimiento, obtenido de datos experimentales, para un tiempo de vida útil de 50 años, para el que se adopta generalmente la unidad, al estar incluido en las condiciones del valor declarado.

Los dos factores de conversión definidos por las condiciones de temperatura y de humedad del material, pueden caracterizarse en base a varias expresiones matemáticas ajustadas experimentalmente y cuyos parámetros parecen tabulados en la propia norma para una variedad significativa de materiales.

Para su obtención, únicamente los valores de temperatura y contenido de humedad del material son necesarios:

$$F_T = e^{f_T(T_2 - T_1)}$$

$$F_M = e^{f_u(u_2 - u_1)} = e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)}$$

Siendo:

- f_T , coeficiente de conversión de temperatura, variable según material y conductividad del mismo, según valores tabulados en la propia norma para oscilaciones de 0 a 30°C.
- f_u ; f_ψ coeficiente de conversión del contenido de humedad por unidad de masa, según valores tabulados en la propia norma, para el rango de contenido de humedad admisible por cada material (kg/kg). Similar aproximación puede establecerse utilizando para ello el contenido de humedad por unidad de volumen (m^3/m^3).

A partir del análisis de las expresiones anteriores y las tabulaciones contenidas en la norma, se deduce que una mayor temperatura en el material incrementa su conductividad térmica, disminuyendo sus prestaciones térmicas de aislamiento. Del mismo modo, un mayor contenido de humedad en el material, aumenta también la conductividad térmica, reduciendo las prestaciones de aislamiento térmico existentes.

En el anterior cálculo no se tiene en cuenta la existencia de convección natural en los materiales de estructura abierta, posibilidad no recogida en la norma UNE-EN ISO 10456:2001 y ya incluida en su actualización de 2012. La propia norma recuerda que en la actualidad, no hay procedimientos comúnmente aceptados para considerar la convección en materiales de aislamiento, por lo que en todo caso esta consideración podría aplicarse sobre materiales de albañilería.

Conocidas estas relaciones para caracterizar las conversiones térmicas, se pretende establecer un parámetro corrector, asociado a la climatología característica del emplazamiento, capaz de modificar el valor $\lambda_{DISEÑO}$ propuesto por el CTE, obteniendo un valor $\lambda_{DISEÑO PRESTACIONAL}$, más adecuado y realista.

Este factor corrector a aplicar sobre los valores de conductividad declarada, incluye fundamentalmente parámetros de ajuste debidos tanto a la temperatura característica del cerramiento como a su humedad relativa. Estos factores de ajuste se basan esencialmente en la obtención prestacional para cada emplazamiento, de los factores F_T y F_M que se dan de forma característica para cada emplazamiento. Tal y como se observará, este último, será mucho más difíciles de caracterizar.

Para la metodología que se presenta en este capítulo se ha optado por un cálculo analítico de gran simplicidad, que resulta en un parámetro o factor de ajuste único, que se tabula al final de este apartado para cada capital de provincia española. Al hacer dicho factor dependiente únicamente de las condiciones climáticas medias del emplazamiento, se soslayan las infinitas configuraciones posibles de materiales y cerramientos, por lo que el ajuste es meramente aproximado, no exacto.

Las simplificaciones que se presentan y desarrollan más adelante, permiten generalizar el método, independizándolo de tipo de material y configuración del cerramiento elegido y permitiendo su resolución analítica, por lo que el ajuste no es estrictamente exacto aunque sí funcional y valioso.

No obstante a pesar de su cálculo aproximativo, la corrección planteada permite, para cada posible emplazamiento de forma rápida e aproximada, obtener un valor de conductividad más apropiado que el derivado de las condiciones de diseño generalizadas y propuestas por el CTE, siempre constantes e independientes de las condiciones externas de la localización y por lo tanto, no prestacionales.

Adicionalmente, con el objeto de aportar un mayor abanico de opciones de diseño, se ha implementado la metodología en una herramienta informática, de tal forma que el factor de ajuste, puede obtenerse también en función de otros parámetros de interés, como las condiciones internas al cerramiento (humedad relativa interior, temperatura interior...) o de las condiciones de partida del dato de conductividad a ajustar (valor de diseño según CTE, valor declarado según condiciones secas, húmedas, de 23°C, de 10°C...).

Del mismo modo, mediante la herramienta creada se permite estimar los factores correctores asociados a otros emplazamientos diferentes de las capitales de provincia, ampliando el ámbito de aplicación de la metodología planteada.

Por último, para validar el método analítico propuesto, se comparan los resultados obtenidos mediante cálculos numéricos realizados sobre diferentes emplazamientos españoles representativos (Bilbao, Madrid, Palma), con los alcanzados mediante la aproximación propuesta así como respecto a los resultados del cálculo propuesto por el CTE, comprobándose en todos los casos la sustancial mejoría introducida por la metodología analítica y prestacional propuesta.

VI.3.- DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN DE TEMPERATURA

Para determinar los parámetros que permiten caracterizar las anteriores conversiones, en primer lugar se definirá el factor de conversión por temperatura F_T asociado a cada emplazamiento, que tal y como se observa depende tanto del coeficiente de conversión f_i como de la diferencia de temperatura entre el material en condiciones de diseño y la temperatura actualmente considerada para este cálculo.

Esta diferencia de temperatura, analizada en primer lugar, se establece entre la temperatura real del material (dependiente en términos generales de cada emplazamiento español si se obvian las variaciones estacionales y diarias) y los 10°C de referencia establecidos por el CTE actualmente para cualquier material en España.

VI.3.1.- DIFERENCIA DE TEMPERATURA RESPECTO AL VALOR ESTABLECIDO

Para estimar de forma generalizada la temperatura asociada a cada emplazamiento, pueden utilizarse datos ya recogidos por el CTE, como la estimación de temperaturas medias mensuales del DB-HE1, Anejo G, para las diferentes capitales de provincia españolas.

Dos datos se van a considerar en este sentido: la temperatura media anual y la temperatura media en el mes de julio o agosto (valor más conservador para el cálculo, por ser la temperatura más elevada). Para la temperatura interior, de acuerdo al CTE, se adopta una temperatura constante e igual a 20°C.

Determinando estos valores para las ciudades de Madrid, Bilbao y Palma, se obtienen los datos presentados en la tabla siguiente:

Tabla VI.1.- Posible aproximación al factor de conversión de temperatura según norma UNE-EN ISO 10456:2012 para tres emplazamiento españoles. Estimación de la temperatura de diseño.

Ciudad	T _{EXT MED. ANUAL} (*)	T _{INT}	T _{MED ANUAL CERRAMIENTO}	T ₂ - T ₁	T _{EXT MAX MES} (*)	T _{MAX MED CERRAMIENTO}	T ₂ - T ₁
Madrid	14,31	20	17,16	7,16	24,4	22,20	12,20
Bilbao	14,03	20	17,01	7,01	19,8	19,90	9,90
Palma	17,70	20	18,85	8,85	25,3	22,65	12,65

(*) °C a partir de los datos reflejados para medias mensuales en CTE DB-HE1. Anejo G.

La temperatura media en el cerramiento se aproxima como el promedio entre las temperaturas exteriores e interiores, asumiendo que el cerramiento se comporta como un todo uniforme y homogéneo, lo cual no es estrictamente correcto, pero sí una decisión ágil y funcional. Los valores tabulados de temperatura media en el cerramiento para las capitales de provincia española, se tabulan junto con el coeficiente corrector final, al término de este apartado en las tablas VI.6 y VI.7.

Lógicamente, la temperatura en los materiales es mayor o menor a la media calculada considerándolo uniforme y homogéneo, pero tal simplificación permite reducir

en gran medida el esfuerzo de cálculo necesario para implementar el método. Similar error se comete en la actualidad al considerar que todos los materiales se encuentran a una temperatura de diseño de 10°C: los materiales situados en las partes interiores del cerramiento se aproximarán en la mayoría de las ocasiones a 20°C y los situados hacia el exterior, sufrirán variaciones de temperatura muy acusadas, desde temperaturas negativas a los 40°C.

Como se aprecia, Madrid y Bilbao representan temperaturas medias anuales muy similares, mientras que Madrid y Palma presentan máximas muy similares entre sí. Los tres emplazamientos son por lo tanto representativos de las variaciones de temperaturas típicas en la península (clima lluvioso, clima seco y caluroso y clima estepario frío) y también de pluviometría diferente entre sí.

Tal y como recoge el CTE en el citado Anejo G, para poblaciones diferentes de las capitales de provincia y que no dispongan de registros climáticos contrastados, puede suponerse que la temperatura exterior es igual a la de su capital de provincia, minorada en 1 °C por cada 100 m de diferencia de altura entre ambas localidades. Se tomará la misma temperatura que la capital si la población se encuentra a menor altura.

Este sistema de aproximación para otras poblaciones diferentes de la capital de provincia, será igualmente implementado en el método analítico que se propone, como un segundo factor corrector a aplicar por cada 100 m de desnivel, sobre la conductividad de diseño calculada.



Figura VI.1.- Valores de temperatura media anual en España. Los resultados para las tres ciudades estudiadas son muy similares a los obtenidos mediante el CTE: Madrid (12,5°C aprox.), Bilbao (12,5°C aprox.) y Palma (15°C aprox.). Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2005.

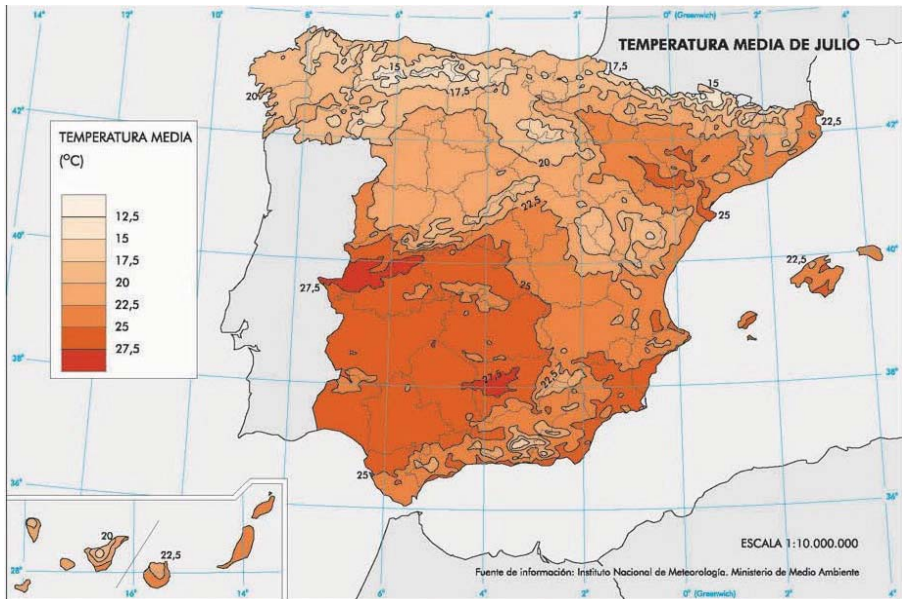


Figura VI.2.- Valores de temperatura media en el mes de julio en España. Los resultados para las tres ciudades estudiadas son muy similares a los obtenidos mediante el CTE: Madrid (22,5°C aprox.), Bilbao (17,5°C aprox.) y Palma (25°C aprox.). Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2005.

Otra posible alternativa al empleo de los datos medios mensuales contenidos en el CTE, consiste en la utilización de otras fuentes de partida para la estimación de las temperaturas exteriores. Un ejemplo son mapas climáticos recopilados en el Atlas Nacional de España, elaborado por el Ministerio de Fomento y el Instituto Geográfico Nacional, si bien la presentación gráfica es más inexacta que los datos recopilados por CTE. Contando con las temperaturas exteriores mostradas en los mapas, puede como en el caso anterior, estimarse la temperatura media del cerramiento, simplemente promediando con la temperatura interior (20°C).

La diferencia entre las condiciones de diseño estimadas para el cerramiento y las condiciones inicialmente previstas para él por el CTE (10°), se obtiene simplemente sustrayendo 10°C a la temperatura promedio, obteniendo así el parámetro (T_2-T_1). Dicho parámetro caracteriza la diferencia entre la temperatura promedio anual utilizada actualmente para estimar el valor de diseño y la temperatura de diseño media anual real (T_2-T_1).

VI.3.2.- APROXIMACIÓN AL COEFICIENTE DE CONVERSIÓN DE TEMPERATURA

Conocida la diferencia existente entre la temperatura de diseño y la fijada por el CTE o declarada por el fabricante, es posible obtener el coeficiente de conversión de

temperatura f_T para cada material que compone el cerramiento, a partir de las tablas aportadas por la norma UNE-EN ISO 10456:2012.

Un mayor valor de f_T , implica una mayor corrección para la conductividad del material. El valor depende de la sensibilidad del material a variar su conductividad por la acción de la temperatura, debido a sus características internas. Por ello este factor es fuertemente dependiente del tipo de material. La caracterización recogida en la norma para f_T oscila entre 0,001 y 0,0069 K⁻¹ (elementos de albañilería y aislantes térmicos respectivamente).

Partiendo de la citada norma, es posible conocer el valor f_T asociado a cada material y con la diferencia de temperatura tabulada al final de este apartado, calcular en cada emplazamiento, la nueva conductividad de diseño ajustada a las condiciones reales medias de temperatura en el cerramiento:

$$F_T = e^{f_T \text{ material} (T_2 - 10)}$$

No obstante, se pretende desarrollar un método mucho más ágil para caracterizar la conductividad de diseño, de tal forma que la corrección aplicada dependa únicamente del emplazamiento y no de los materiales que pueden llegar a conformar el cerramiento (aun a costa de una menor precisión). Para ello, es necesario adoptar algunas simplificaciones destinadas a aumentar la funcionalidad de la metodología.

Tipo de producto	Conductividad λ W/(m·K)	Coefficiente de conversión. f_T 1/K	Tipo de producto	Conductividad λ W/(m·K)	Coefficiente de conversión. f_T 1/K	
Bandas, mantas y borra	0,035	0,004 6	Hormigón aligerado	0,100	0,003	
	0,040	0,005 6		0,150	0,002	
	0,045	0,006 2		0,400	0,001	
	0,050	0,006 9	Hormigón denso, arcilla cocida y mortero	Todas		0,001

Tabla VI.2.- Valores del coeficiente de conversión por temperatura para productos de lana mineral (izq.) y de hormigón, arcilla cocida y mortero (der.). Representan los dos extremos de variación posible del valor. Fuente: UNE-EN ISO 10456:2012.

Adoptando un primer criterio de gran simplicidad, podría adoptarse un valor promedio f_T para todos los materiales habituales en los cerramientos, igual al valor medio de los tabulados en la norma UNE-EN ISO 10456:2012: **0,00395 K⁻¹**.

Un segundo criterio de aproximación, también definido por una más compleja elaboración también analítica, se basa en establecer una ponderación entre los valores f_T asociados a los aislamiento térmicos (más elevados) y los asociados a elementos de albañilería (menores).

Para los materiales aislantes, el valor f_T oscila entre 0,0026 y 0,0069 K⁻¹, por lo que adoptar un valor medio igual a 0,00475 K⁻¹, supone una buena aproximación general al valor medio para todos los materiales del aislamiento.

Por otro lado, para los materiales de albañilería, este f_T oscila entre 0,001 y 0,003, siendo por lo tanto sensiblemente inferior a los anteriores. Un valor promedio de 0,002 K⁻¹, sería igualmente representativo del conjunto de los materiales cerámicos o de hormigón empleados en la fábrica de albañilería.

Un valor medio adecuado para un cerramiento considerado uniforme y homogéneo, podría obtenerse al ponderar ambos valores medios, correspondientes a cada familia de materiales, según un criterio basado en su influencia sobre la caracterización térmica global del cerramiento, desarrollado tal y como se presenta a continuación:

En condiciones normales puede considerarse que un cerramiento vertical exterior en nuestro país se encuentra compuesto por una hoja principal de albañilería cerámica o fábrica de hormigón, con un espesor que oscila de 11,5 a 24 cm (véanse las condiciones impuestas por CTE DB-HS1). Del mismo modo, requisitos constructivos o funcionales, pueden obligar a colocar otra hoja cerámica, con un espesor variable de 4 a 7 cm (ladrillo hueco) y a la disposición de una cámara de aire no ventilada, de 2 a 4 cm de espesor entre ambas hojas.

Por otro lado, la necesidad de aislamiento térmico condiciona la colocación de una capa de aislamiento térmico que oscila entre 2 y 8 cm de espesor, ubicada de forma aneja a la cámara de aire o sustituyéndola completamente, según la adversidad climatológica del emplazamiento y los restantes elementos constructivos dispuestos en la fachada.

Son estas capas (albañilería, cámara de aire y aislante térmico), las que contribuyen para dotar al cerramiento de su resistencia térmica y prestaciones de ahorro energético. A este respecto, se desprecia la influencia de otros elementos que pudieran disponerse, como enlucidos interiores o exteriores, alicatados, aplacados, placas de yeso laminado o enfoscados interiores a la hoja principal, por su habitual escaso espesor y contribución a la prestación térmica.

Tampoco se consideran elementos exteriores a las cámaras de aire ventiladas en caso de disponerse, dado que la prestación térmica del cerramiento, habría de considerarse contando únicamente con los elementos interiores a dicha cámara ventilada (en contacto con las condiciones exteriores).

Analizando diferentes configuraciones de cerramientos dentro de la casuística presentada (espesores totales de cerramiento entre 21 y 42 cm), de acuerdo a las tipologías propuestas por el Catalogo de Elementos Constructivos del CTE puede elaborarse la tabla siguiente (tabla VI.3), donde se representa la influencia del material aislante térmico respecto de la resistencia térmica total existente en el cerramiento (excluyendo las resistencias térmicas superficiales y las debidas a materiales de acabado tales como yesos o alicatados).

De dicho análisis puede desprenderse que a falta de estudios exhaustivos que ofrezcan información estadística acerca del tipo de cerramientos verticales más frecuentemente utilizados en nuestro país o de un estudio pormenorizado sobre el edificio a proyectar, puede adoptarse como valor de consenso que en torno a un 57 % de la resistencia térmica otorgada por los materiales al cerramiento, se debe a los materiales aislantes térmicos, mientras el porcentaje restante se debe a elementos de albañilería dispuestos.

La creciente exigencia térmica exigida sobre los cerramientos por diferentes directivas europeas, puede no obstante propiciar la disposición de espesores de aislantes cada vez mayores, por lo que es factible que el porcentaje obtenido pueda variar en un futuro cercano. Del mismo modo, intereses estratégicos de ahorro energético en nuestro país, podrían condicionar también la adopción de un valor mayor al presentado aquí, por parte de un hipotético futuro articulado normativo. Así, considerar una influencia de los materiales aislantes térmicos del 60 o 65% incrementaría significativamente el f_i a emplear en la formulación que se propone.

Tabla VI.3.- Contribución de los materiales aislantes térmicos a la prestación térmica en diferentes configuraciones habituales de cerramiento en nuestro país.

Composición del cerramiento vertical (*)	Influencia del aislante en R_T (**)
H. principal 11,5 + aislante 2 + doble hueco 7	41,95 %
H. principal 11,5 + aislante 4 + doble hueco 7	59,11 %
H. principal 11,5 + aislante 6 + doble hueco 7 (***)	68,44 %
H. principal 11,5 + aislante 8 + doble hueco 7	74,30 %
H. principal 11,5 + aislante 4 + doble hueco 4	67,68 %
H. principal 11,5 + aislante 6 + doble hueco 4	75,85 %
H. principal 11,5 + aislante 8 + doble hueco 4	80,73 %
H. principal 24 + aislante 2 + doble hueco 7	35,71 %
H. principal 24 + aislante 4 + doble hueco 7	52,63 %
H. principal 24 + aislante 6 + doble hueco 7	62,50 %
H. principal 24 + aislante 2 + doble hueco 4	42,17 %
H. principal 24 + aislante 4 + doble hueco 4	59,32 %
H. principal 24 + aislante 6 + doble hueco 4	68,62 %
H. principal 11,5 + aislante 2 + doble hueco 7 + cámara	36,85%
H. principal 11,5 + aislante 4 + doble hueco 7 + cámara	53,86 %
H. principal 11,5 + aislante 6 + doble hueco 7 + cámara	63,65 %
H. principal 11,5 + aislante 2 + doble hueco 4 + cámara	43,77 %
H. principal 11,5 + aislante 4 + doble hueco 4 + cámara	60,88 %
H. principal 11,5 + aislante 6 + doble hueco 4 + cámara	70,01 %
H. principal 24 + aislante 2 + doble hueco 4 + cámara	37,01 %
H. principal 24 + aislante 4 + doble hueco 4 + cámara	54,03 %
H. principal 24 + aislante 6 + doble hueco 4 + cámara	63,81 %
H. principal 24 + aislante 2 + doble hueco 7 + cámara	31,94 %
H. principal 24 + aislante 4 + doble hueco 7 + cámara	48,42 %
H. principal 24 + aislante 6 + doble hueco 7 + cámara	58,48 %
Cerramiento tipo (promedio)	56,47 %

(*) Espesor indicado en cm

(**) Se ha estimado una conductividad de 0,04 w/mK para los aislantes; 0,6 w/mK para la hoja resistente; 0,14 w/mK para las fábricas de piezas huecas y una resistencia de 0,165 m²K/w para la cámara de aire en caso de existir.

(***) Caso puntual del cerramiento analizado de forma concreta posteriormente en este mismo capítulo.

Así pues, podemos proponer, como mejor aproximación al valor f_T la siguiente expresión ponderada:

$$f_{t \text{ global}} = 0,57 \cdot f_{T \text{ aislantes}} + 0,43 \cdot f_{T \text{ cerámicos}}$$

$$f_{t \text{ global}} = 0,57 \cdot 0,00475 + 0,43 \cdot 0,002 = 0,0035675 \text{ K}^{-1}$$

A pesar de la simplificación inherente a esta aproximación, la simple utilización del valor único aportado (**0,0035675 K⁻¹**), mejorará en gran medida los resultados de cálculo actualmente realizados, como se comprobará más adelante en comparación con los resultados ofrecidos por herramientas de cálculo numérico.

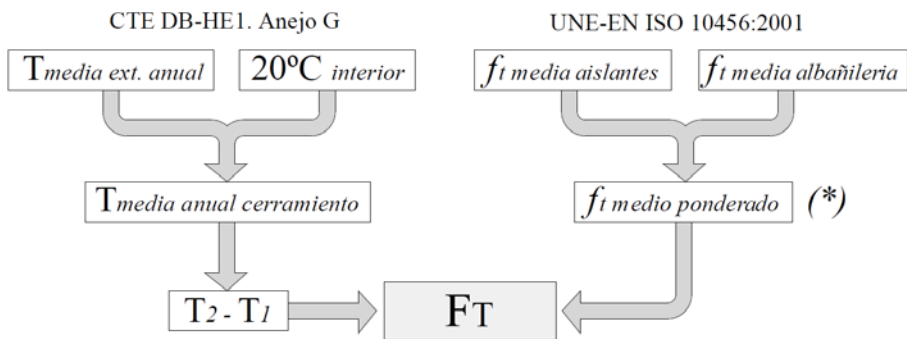
En resumen y adoptando esta segunda aproximación como más precisa que la primera presentada, la estimación del factor de conversión de temperatura puede expresarse de forma general como:

$$F_T = e^{f_r(T_2 - T_1)} \approx e^{0,0035675 (T_{med.cerramiento} - 10)}$$

Siendo:

T_{med} Factor dependiente únicamente del emplazamiento, que se tabulará más adelante para todas las capitales de provincia españolas, utilizando el valor medio de la temperatura exterior anual y suponiendo una temperatura interior constante de 20°C.

De este modo, la conversión de la prestación térmica en el cerramiento, pasa a depender únicamente de la temperatura media del cerramiento en cada emplazamiento, por lo que es posible tabular su valor de forma prestacional para cualquier emplazamiento de nuestro país.



(*) La utilización de valores f_r para cada material mediante una herramienta informática, contribuiría a mejorar la precisión de la aproximación analítica presentada.

Figura VI.3.- Resumen esquemático de la aproximación planteada al valor de F_T .

VI.4.- DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN DE HUMEDAD

De forma paralela al anterior apartado, en éste se definirá el factor de conversión por contenido de humedad F_M asociado a cada capital de provincia y que como se ha visto anteriormente, depende tanto del coeficiente de conversión f_M como de la diferencia de contenido de humedad del material, respecto al valor actualmente utilizado.

La estimación de este segundo aspecto es sensiblemente más compleja que el caso anterior, puesto que la cantidad de agua almacenada es fuertemente dependiente de la naturaleza interna del material. Así, en similares condiciones de humedad relativa exterior, un material puede contener una cantidad de agua en su interior muy diferente a otro material (Véase el capítulo II), variando enormemente la afección a sus propiedades conductivas.

Se procede no obstante a establecer una serie de simplificaciones que permitan soslayar esta problemática, para ofrecer así unos resultados en la línea de lo pretendido: mejor aproximación a las condiciones reales de trabajo, con un escaso aumento del esfuerzo de cálculo.

Para ello, deben emplearse datos de partida independientes de la composición y diseño del paramento, por lo que la aproximación que aquí se plantea es, como en el caso anterior, necesariamente inexacta, aunque más cercana al comportamiento térmico real que el actual valor de diseño definido por el CTE.

VI.4.1.- DIFERENCIA DE CONTENIDO DE HUMEDAD RESPECTO AL VALOR ESTABLECIDO

Para determinar el contenido de humedad en los materiales, pueden utilizarse también datos ya recogidos por el CTE en su articulado, como la estimación de temperaturas medias y humedades relativas mensuales recogida en el DB-HE1. Anejo G, para las diferentes capitales de provincia españolas.

Dos datos se van a considerar para el cálculo en este sentido: la humedad relativa media anual y la correspondiente al mes más desfavorable (valor más conservador para el cálculo, por ser una humedad relativa más elevada). Determinando estos valores para las ciudades de Madrid, Bilbao y Palma, se obtienen los datos presentados en la tabla siguiente:

Tabla VI.4.- Estimación del contenido de humedad medio y más desfavorable en tres emplazamientos españoles.

Ciudad	T _{EXT MED ANUAL} (*)	T _{MED ANUAL CERRAMIENTO} (**)	HR _{ANUAL} (*)	HR _{MES MAX.} (*)	T _{EXT MES} (*)	T _{MED MES CERRAM.} (**)
Madrid	14,31	17,16	56,42 %	73 %	6,4	13,20
Bilbao	14,03	17,01	73,42 %	75%	19,8	19,90
Palma	17,70	18,85	64,92 %	73%	23,5	21,75

(*) °C a partir de los datos reflejados para medias mensuales en CTE DB-HE1. Anejo G.

(**) Supuestas unas condiciones interiores de 20°C.

Como se aprecia, las tres ciudades presentan humedades relativas medias anuales diferenciadas, mientras que su valor máximo mensual es muy similar. No obstante, no lo son las temperaturas a las cuales se produce dicha humedad relativa máxima mensual, que en el caso de Madrid corresponden al mes de diciembre, no así en Bilbao y Palma (agosto y septiembre respectivamente).

Ello provocará que ambos parámetros de conversión (F_T y F_M), se den con su valor máximo en diferentes épocas del año y que por lo tanto, no pueda considerarse la simultaneidad de su valor máximo para el cálculo del coeficiente corrector final.

Conocida la humedad relativa y la temperatura, es posible determinar con precisión la presión de vapor existente tanto en el ambiente exterior como en el interior, aplicando simples relaciones psicométricas. Conociendo que las condiciones interiores se estiman constantes para una higrometría de clase 3 (característica de viviendas), en torno a 20°C y una humedad relativa de 55%, para el caso de Madrid tomando valores medios anuales se tiene que:

$$P_{SAT} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot T}{237,3+T}} \quad [\text{Pa}]$$

$$P_{SAT, 14,31^\circ\text{C}} = 1,63 \text{ kPa en el ambiente exterior. De ahí:}$$

$$P_{V, 56,42\% \text{ HR}} = 0,92 \text{ kPa}$$

$$P_{SAT, 20^\circ\text{C}} = 2,34 \text{ kPa; en el ambiente interior. De ahí:}$$

$$P_{V, 55\% \text{ HR}} = 1,29 \text{ kPa}$$

Del mismo modo, pueden determinarse las condiciones medias del aire contenido en la matriz porosa de los materiales constituyentes del cerramiento:

$$P_{SAT, 17,16^\circ\text{C}} = 1,96 \text{ kPa}$$

$$P_{V, \text{cerramiento}} = 1,10 \text{ kPa (media de la presión de vapor interior y exterior).}$$

$$HR_{\text{cerramiento Madrid}} = \frac{1,10}{1,96} = 0,5637$$

Similar aproximación puede hacerse para Bilbao y Palma, obteniendo una presión de vapor en el cerramiento de 0,6316 y 0,5974 respectivamente en cada uno de los emplazamientos.

Los valores de humedad relativa media en el cerramiento para cada localidad, obtenidos a partir de los cálculos psicométricos presentados con anterioridad, se tabulan al final de este apartado (tablas 6 y 7), con el objeto de proporcionar un factor corrector adecuado a cada emplazamiento.

Si se adoptan los valores correspondientes a los meses de humedad relativa máxima, los resultados pueden obtenerse también por el mismo procedimiento anterior:

- Madrid: HR 65,50% en el cerramiento en mes desfavorable
- Bilbao: HR 64,94% en el cerramiento en mes desfavorable
- Málaga: HR 65,28% en el cerramiento en mes desfavorable

Si el emplazamiento no se sitúa en una capital de provincia, han de seguirse los mismos pasos indicados, pero adoptando la temperatura correspondiente para el ambiente exterior (minorada en 1 °C por cada 100 m de diferencia de altura con la capital de provincia). Para la humedad relativa, puede adoptarse la misma que en la capital de provincia (similares especificaciones a las contenidas en CTE DB-HE1. Anejo G).

Con objeto de evitar la repetición de los anteriores cálculos para cada emplazamiento diferente de la capital, en su lugar se propone un segundo factor corrector, aplicable sobre el resultado final, que a pesar de no ofrecer un valor exacto, si permite aproximar la corrección necesaria de una forma más ágil. Este factor de corrección final se expondrá más adelante.

Como en el punto anterior, otra alternativa para estimar la humedad relativa exterior, consiste en la utilización de mapas climáticos recopilados en diferentes fuentes, que ofrezcan información sobre la humedad relativa ambiental, como en el Atlas Nacional de España elaborado por el Ministerio de Fomento y el Instituto Geográfico Nacional. Con los datos de humedad relativa extraídos de dichos mapas, se repetirían los cálculos anteriores de forma idéntica.



Figure VI.4.- Valores de humedad relativa media anual en España (Madrid 62,5% aprox.; Bilbao 75%; Palma 70%). Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2005.

Como se ha dicho, por desgracia el contenido de humedad en el aire interior al cerramiento, calculado según la humedad relativa calculada, no permite determinar

directamente la cantidad de humedad contenida en el interior de los materiales del cerramiento.

Este fenómeno se expuso con mayor detalle a lo largo del Capítulo II, debiéndose principalmente a los mecanismos de transporte de humedad que se desarrollan en los materiales, que tienden a acumular moléculas de agua en sus superficies porosas y a favorecer la condensación intersticial, incrementando el contenido de humedad en su matriz de forma no lineal.

Del mismo modo, se producen mecanismos de histéresis, que tienden a retener humedad durante los procesos de secado. Dependiendo de las características intrínsecas del material, la histéresis será poco acusada, siendo asumible la utilización de una única curva de sorción para la caracterización unívoca de la función de almacenamiento de humedad del material (en lugar considerar una curva de absorción y desorción diferentes).

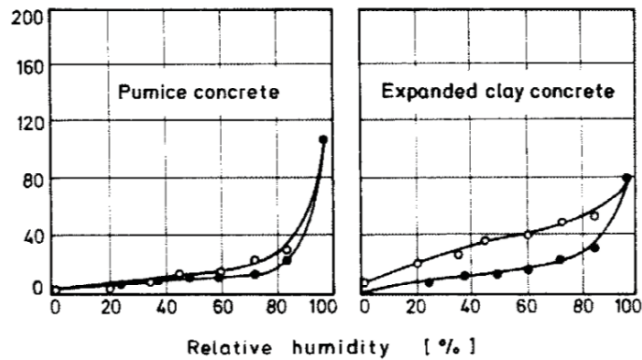


Figura VI.5.- Curvas de sorción isoterma (kg/m^3) para dos tipos de hormigón aligerado. Fuente: Künzel, 1995.

Por todo ello, determinar el contenido de humedad de los materiales a partir de la humedad relativa del aire que les rodea no es una medida lineal ni directa, sino fuertemente dependiente del material y de su temperatura.

La función de almacenamiento de humedad, se representa habitualmente mediante curvas de sorción isotermas obtenidas mediante ensayo en laboratorio (UNE-EN ISO 12571:2000), para una temperatura de referencia de 23°C.

En estas curvas se relaciona la humedad relativa de equilibrio del aire que envuelve al material a 23°C (RH 50% en el caso fijado por el CTE), con el contenido de agua en la matriz porosa del material (por volumen o masa), calculado a través de diferentes pesadas del material sometido a un proceso de humedecimiento (adsorción) o secado (desorción) durante el ensayo.

Sin embargo con frecuencia, se carece de datos relativos a curvas de sorción a otras temperaturas, por lo que los valores de almacenamiento de humedad siempre se dan para una temperatura de 23°C. La temperatura incide en el proceso de almacenamiento de humedad modificando la tensión superficial del agua y con ella la viscosidad del fluido y su presión capilar (Véase Capítulo II).

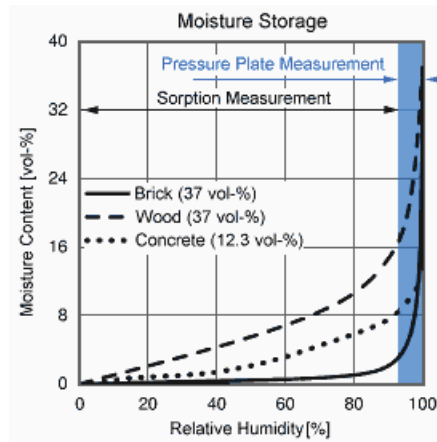


Figura VI.6.- Representación típica para la absorción de agua por parte de materiales escasamente higroscópicos (ladrillo-brick), moderadamente higroscópicos (hormigón-concrete) y muy higroscópicos (madera-wood). Fuente: WUFI, 2012a.

Así, menores temperaturas son responsables de un ligero desplazamiento de las curvas de sorción, incrementando la presión capilar y la tensión superficial del agua y por consiguiente, incrementando el almacenamiento de humedad en el material para un mismo valor de humedad relativa del aire contenido en su interior:

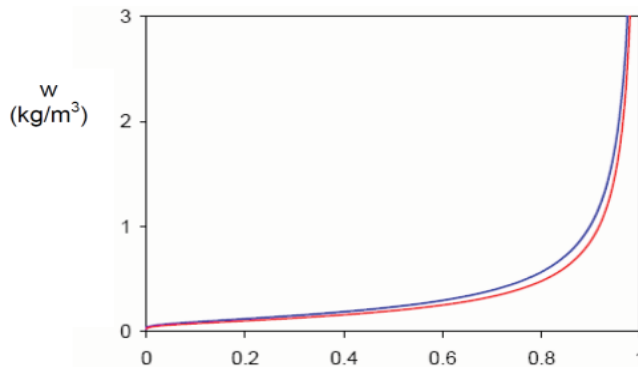


Figura VI.7.- Una temperatura menor (curva superior), modifica ligeramente la curva de sorción, aumentando el almacenamiento de humedad. Fuente: Gómez, 2006.

En la actualidad, son múltiples los estudios que se realizan para caracterizar las curvas de sorción isoterma en diferentes materiales, con el objetivo de permitir su implementación en herramientas informáticas o bases de datos. Las curvas así obtenidas, pueden a su vez ajustarse matemáticamente mediante diferentes expresiones, permitiendo que las funciones de almacenamiento sean utilizadas por programas informáticos específicos de cálculo higrotérmico como WUFI o MOIST.

Entre estos ajustes matemáticos destacan por su simplicidad los modelos de Künzel (1995) y Krus (1996), utilizados en WUFI, el modelo de Kumaran (1994, 1996) y el desarrollado por Burch y su equipo para el software MOIST (1992, 1997). Todos se expusieron con mayor detalle a lo largo del Capítulo II.

Caracterizadas estas curvas y estimada anteriormente la humedad relativa aproximada en el cerramiento, sería posible determinar el contenido de humedad en cada material (ψ_2) y con ello ajustar el valor de F_M de forma independiente para cada material:

$$F_M = e^{f_{\psi}(\psi_2 - \psi_1)}$$

Para ello se pretende presentar un método ágil y funcional, de tal forma que la corrección aplicada dependa únicamente del emplazamiento y no de los materiales puntuales que conforman el cerramiento. Así, será necesario adoptar diferentes simplificaciones destinadas a reducir las dependencias existentes respecto a las propiedades de los materiales.

En primer lugar, dada la carencia de curvas de sorción experimentales o aproximaciones matemáticas válidas para otras temperaturas diferentes a 23°C, se obvia la influencia de la temperatura en la caracterización del contenido de humedad. Así se asume de forma optimista, que el material se comporta en todo caso de forma similar a como lo hace a 23°C, siendo su curva de almacenamiento de humedad o de sorción, constante a cualquier temperatura.

Tomando como ejemplo el caso de Madrid, unas condiciones de diseño adecuadas podrían establecerse considerando el contenido de humedad de los materiales en la isoterma de sorción bajo unas condiciones de humedad relativa del 56,37% a una temperatura de 17,16°C. No obstante, se va a estimar una humedad relativa de 56,37% a 23°C (menor contenido de humedad que en el caso real), permitiendo de esta forma apoyarnos en curvas de sorción ya conocidas.

Por otro lado, tampoco es necesario caracterizar todo el recorrido de la curva de sorción, ya que en los emplazamientos españoles, la humedad relativa media anual y máxima mensual, se localiza entre unos rangos bien definidos.

Tal y como se observará en las tablas 6 y 7, los resultados de humedad relativa media anual en los cerramientos, suelen oscilar en torno a un valor de 61,13% para los emplazamientos españoles (superior al 50% considerado por el CTE), por lo que se deduce que el CTE supone unas condiciones de humedad muy inferiores a las que realmente se dan de media en el cerramiento:

El máximo medio anual se da en Ceuta, con una HR de 66,55% y temperatura media de 18,3°C, mientras que el mínimo se da en Madrid, 56,37% y 17,16°C. En ambos casos, el contenido de humedad es muy superior al resultante de una HR de 50% a 23°C.

Dado que también la temperatura es menor a los 23°C adoptados por el CTE, el contenido de humedad será todavía mayor al inicialmente planteado por el CTE, reduciendo en una mayor conductividad real de los materiales. Por todo ello la caracterización propuesta por el CTE para las condiciones de diseño, resulta claramente insuficientes para evaluar el contenido de humedad real que se produce en los cerramientos españoles.

Analizando los rangos de variación de la humedad relativa media en las capitales de provincia de nuestro país, el intervalo de humedades relativas entre 55 y 70% será el rango de mayor interés en las curvas de sorción de los materiales. Aunque el contenido de humedad sobre el cerramiento puede incrementarse drásticamente como consecuencia de precipitaciones atmosféricas (ya analizadas en el capítulo IV), llegando a la saturación del material, las condiciones de humedecimiento que se describen aquí se basan en condiciones medias anuales (carentes de precipitación).

Los eventos de lluvia deberán atenderse adecuadamente disponiendo un cerramiento con una adecuada prestación frente a la penetración de agua líquida, impidiendo la penetración de esta al interior del cerramiento.

En el rango de estudio interesante para este análisis (55-70% de HR), el almacenamiento de humedad representado en la isoterma de sorción sigue de media un crecimiento constante y no demasiado acusado (véanse las figuras VI.5, VI.6 y VI.7). Al llegar a humedades relativas cercanas al 80% el almacenamiento de humedad en los materiales se incrementa notablemente debido a la predominancia del flujo capilar de humedad en estado líquido a través de la matriz porosa, pero tales humedades relativas no se dan de media en ninguna capital de provincia española.

En el rango de 55 a 70% de HR, las variaciones suelen ser poco acusadas, debido a la predominancia de fenómenos de adsorción multicapa, difusión de vapor en la matriz porosa y creciente condensación capilar (véase el capítulo II).

Por ello, en dicho rango podría ser aceptable utilizar una interpolación lineal, si se dispone de datos relativos a dos HR del entorno del rango.

Para ello, podemos apoyarnos en algunas de las aproximaciones matemáticas para ajustar las curvas de sorción, que ya se presentaron con anterioridad en el capítulo II. De estos modelos de ajuste posibles (WUFI, Kumaran, Burch), el propuesto por Künzle (1995) y Krus (1996), resulta el más interesante, al utilizar como punto del control el contenido de humedad a una humedad relativa del 80% (cercana al rango de interés y disponible en múltiples bases de datos sobre materiales).

$$w \approx w_{cap} \cdot \frac{(b-1) \cdot \phi}{b - \phi} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Siendo:

- b un factor corrector [-], a ajustar en cada caso, según el resultado empírico del contenido de humedad a la humedad referencia w_{80} .
- w_{cap} al máximo contenido de agua que el material puede albergar en condiciones de saturación por capilaridad, expresado en volumen de material seco $[\text{kg/m}^3]$. Dicha condición puede alcanzarse con una humedad relativa cercana al 95%.
- ϕ humedad relativa del momento analizado, expresado en tanto por uno [-].

Como se aprecia en la figura siguiente, dado que el modelo de Künzle se ajusta en base a dos puntos muy próximos entre sí (w_{80} y $w_{cap} \approx w_{95}$) y a un tercero muy alejado de éstos (origen), ello propicia que la curva de sorción real sea ligeramente superior al valor estimado por la aproximación de Künzle en el rango de nuestro interés, al tiempo

que es ligeramente superior en el rango por encima de un 80% de HR. Esta situación puede observarse en las figuras siguientes:

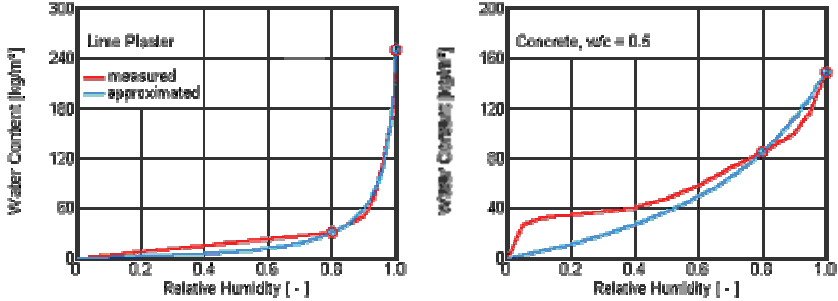


Figura VI.8.- Ajuste obtenido a la curva de sorción mediante el modelo Künzel para enlucido de cal (izq.) y hormigón (der.). El punto de control a HR 80%, garantiza un buen ajuste de la función en su entorno. Fuente: WUFI, 2012b.

Aprovechando que el valor w_{80} para diferentes materiales, se encuentra disponible en diferentes bases de datos para establecer el ajuste de Künzel y Krus, es posible establecer una interpolación lineal entre el valor de origen (w_0) y el valor w_{80} conocido.

El error derivado de esta interpolación lineal, no será muy acusado en la gran mayoría de los materiales. Esta aproximación lineal, a pesar de no ser obviamente exacta sí permite establecer una aproximación analítica de utilidad por su gran simplicidad.

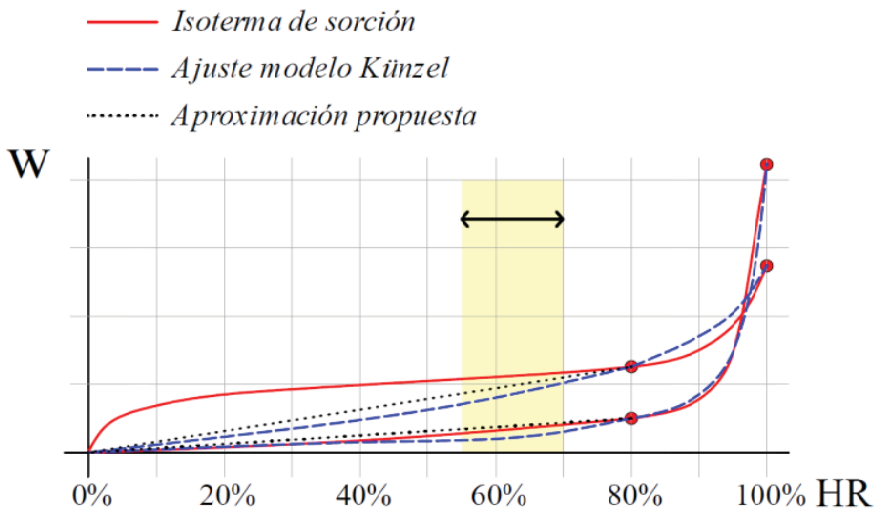


Figura VI.9.- Representación del ajuste lineal propuesto para el rango de humedad relativa 55-70% de interés, a partir del valor w_{80} aportado por diversas bases de datos.

Para realizar este ajuste lineal, solo es necesario conocer el valor w_{80} asociado a cada material, dato afortunadamente disponible para muchos materiales, dado el uso que de él hace el ajuste de Künzel y algún software de simulación higrotérmica como WUFI.

Algunas bases de datos disponibles al respecto son las del Instituto Franhofer-IBP (Alemania), de la Universidad de Lund (Suecia), de la Universidad de Dresden (Alemania) y de la Universidad de Viena (Austria).

Se procede a continuación a estimar un valor w_{80} representativo para los materiales de construcción habitualmente utilizados en nuestro país, de tal forma que una única aproximación lineal, proporcione un ajuste moderadamente aceptable para estimar el contenido de humedad medio en el cerramiento a la humedad relativa marcada para el emplazamiento.

Para ello se presentan algunos datos relativos a aquellos materiales más frecuentemente dispuestos en los cerramientos españoles. Sobre los mismos, se ha calculado un valor representativo (w_{80} medio) referido a la familia de los aislantes térmicos y otro referido a la familia de los elementos de albañilería.

Tabla VI.5.- Determinación aproximada del valor w_{80} (expresado en volumen) para diferentes materiales, para la elección de un valor de consenso genérico y comparación de precisión para HR 55% según aproximación de Künzel.

Material componente del cerramiento vertical	w_{80} [m ³ /m ³]	w_{80} MEDIO [m ³ /m ³]
Lana mineral (Roxul)	0,00020	0,005217
EPS genérico 20 kg/m ³	0,00021	
XPS genérico 20 kg/m ³	0,00021	
Tablero aislante de hormigón celular 95% porosidad	0,00450	
Tablero aislante de fibra de madera tratada (Pavatex)	0,01730	
Aislamiento de celulosa tratado (Isofloc)	0,00780	
Enlucido de yeso aislante genérico	0,00630	
Ladrillo macizo genérico 1900 kg/m ³	0,00302	0,023174
Ladrillo macizo extruido genérico 1650 kg/m ³	0,00920	
Ladrillo hueco genérico 800 kg/m ³	0,01300	
Ladrillo termoarcilla genérico 700 kg/m ³	0,01700	
Ladrillo silicato de calcio genérico 1900 kg/m ³	0,01800	
Hormigón genérico 2300 kg/m ³ (agua/cemento 0,5)	0,08500	
Bloque de hormigón aligerado genérico	0,01700	
OTROS		
Enlucido de yeso genérico	0,00306	
Hormigón aligerado genérico 72 % porosidad	0,01070	
Tablero de yeso laminado genérico	0,00500	
Enfoscado interior de mortero genérico	0,02566	
Mortero monocapa genérico	0,01500	
Revoque exterior de mortero genérico	0,01860	
Revestimiento de granito natural genérico	0,00732	
Piedra arenisca genérica	0,01040	
Piedra caliza genérica	0,01100	
Tablero de fibra de madera genérico	0,13000	
Contrachapado de madera genérico	0,06451	

Para la ponderación de ambos valores, como en el caso de la temperatura, se utiliza un criterio térmico, basado en la contribución de cada familia de materiales en la obtención de la adecuada resistencia térmica del cerramiento (análisis igual al realizado ya previamente en el punto anterior).

A falta de estudios exhaustivos que den información estadística del tipo de cerramientos verticales más frecuentemente utilizados en nuestro país, puede adoptarse, como se determinó para la conversión por temperatura, que en torno a un 57 % de la resistencia térmica otorgada por los materiales al cerramiento, se debe a los materiales aislantes térmicos, mientras el porcentaje restante se debe a elementos de fábrica de albañilería. Se desprecia a este efecto, la contribución de los acabados interiores y exteriores, así como la posible presencia de hormigón en el cerramiento.

Así pues, podemos proponer, como mejor aproximación al valor w_{80} la siguiente expresión de ponderación:

$$w_{80 \text{ ponderado}} = 0,57 \cdot w_{80 \text{ genérico aislantes}} + 0,43 \cdot w_{80 \text{ genérico albañilería}}$$

$$w_{80 \text{ ponderado}} = 0,57 \cdot 0,005217 + 0,43 \cdot 0,012870 = 0,0085779 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Este valor w_{80} ponderado, constituye una aproximación promedio al valor del contenido de humedad en los cerramientos edificatorios en unas condiciones de equilibrio a 80% de humedad relativa y 23 °C, considerando el cerramiento uniforme y homogéneo.

A partir del mismo, se calculará la interpolación lineal para otros valores de humedad relativa (como los valores medios existentes en los emplazamientos españoles).

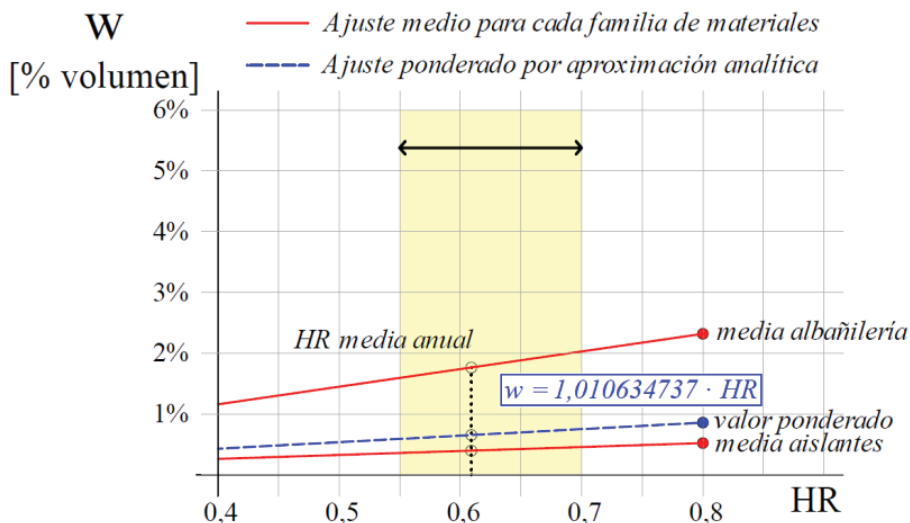


Figura VI.10.- Determinación aproximada ponderada del valor w_{80} (expresado en volumen) y la aproximación lineal para la obtención del contenido de humedad a diferentes humedades relativas en el rango de estudio.

A pesar de su simplicidad, esta aproximación mejora en gran medida los resultados de cálculo, para lo cual se propone la siguiente interpolación lineal (multiplicada por 100 si se utiliza el valor de humedad relativa en términos porcentuales):

$$w_{80 \text{ ponderado}} \approx 0,0085779 = HR \cdot m_{\text{genérico}} = 0,8 \cdot m_{\text{genérico}}$$

$$m_{\text{genérico}} = 0,010634737$$

$$\psi_2 = w_{HR \text{ local}} \left[\frac{m^3}{m^3} \right] \approx HR_{\text{media anual}} \cdot 0,010634737$$

A través de esta aproximación somera, se establece una metodología fácilmente utilizable aportando una complicación al cálculo, perfectamente asumible analíticamente. La expresión, aunque mejorable mediante estudios estadísticos más precisos, es generalizable a todos los posibles cerramientos, soslayando la necesidad de recurrir a un software informático para estimar el contenido exacto de humedad en cada material concreto.

Adoptando esta aproximación, podemos estimar el contenido de humedad medio previsto en un cerramiento de cualquier emplazamiento, una vez conocida su humedad relativa media anual, tal y como se define para las tres ciudades analizadas:

$$\psi_2 = w_{HR \text{ local}} \approx HR_{\text{cerramiento en el emplazamiento}} \cdot 0,010634737$$

$$\psi_2 = w_{\text{Madrid anual}} \approx 0,3927 \cdot 0,010635 = 0,004176 \quad [m^3/m^3]$$

$$\psi_2 = w_{\text{Bilbao anual}} \approx 0,406 \cdot 0,010635 = 0,004318 \quad [m^3/m^3]$$

$$\psi_2 = w_{\text{Málaga anual}} \approx 0,4713 \cdot 0,010635 = 0,005012 \quad [m^3/m^3]$$

El mismo cálculo puede adoptarse para determinar el contenido de humedad de los materiales en las condiciones de diseño previstas por el CTE y que son constantes e iguales para cualquier emplazamiento:

$$\psi_1 = HR_{50\%} \cdot 0,010634737$$

$$\psi_{2 \text{ Madrid}} \approx 0,5 \cdot 0,010635 = 0,0053175 \quad [m^3/m^3]$$

$$\psi_{2 \text{ Bilbao}} \approx 0,5 \cdot 0,010635 = 0,0053175 \quad [m^3/m^3]$$

$$\psi_{2 \text{ Málaga}} \approx 0,5 \cdot 0,010635 = 0,0053175 \quad [m^3/m^3]$$

Debe recordarse en todo caso, que la aproximación realizada se basa en la suposición de que los materiales almacenan una cantidad de agua similar sea cual sea su temperatura, lo cual no es exacto. Para temperaturas inferiores a 23°C (que caracterizan los datos disponibles de w_{80} disponibles que se han utilizado), el almacenamiento de humedad será todavía mayor, incrementándose aun más la diferencia entre los valores reales y los propuestos por el CTE.

El cálculo por lo tanto en este sentido se no se sitúa del lado de la seguridad, habiendo sido necesario adoptar esta limitación, para permitir su resolución analítica (utilizando los datos relativos a curvas de sorción a 23°C).

VI.4.2.- ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE CONVERSIÓN DE HUMEDAD

Conocida la diferencia existente entre el contenido de humedad realmente existente y el actualmente utilizado por el CTE para determinar la conductividad de los materiales (humedad en equilibrio a 50% de HR y 23°C), es posible obtener el coeficiente de conversión de humedad f_M para cada material que compone el cerramiento, a partir de las tablas aportadas por la norma UNE-EN ISO 10456:2012.

Un mayor valor de f_M , implica una mayor corrección para la conductividad del material. El valor depende de la sensibilidad del material a variar su conductividad por la acción de la humedad, debido a sus características internas, por lo que es fuertemente dependiente del tipo de material. La caracterización recogida en la norma para f_M oscila entre 0 y 10 m^3/m^3 (aislantes térmicos y elementos de albañilería respectivamente).

Tipo de producto	Contenido de humedad, Ψ m^3/m^3	Coefficiente de conversión, f_Ψ m^3/m^3
Poliestireno expandido	<0,10	4
Poliestireno extruido	<0,10	2,5
Poliuretano	<0,15	6
Espuma fenólica	<0,15	5
	Ψ m^3/m^3	f_Ψ m^3/m^3
Unidades de arcilla (arcilla cocida)	0 a 0,25	10
Unidades de silicato cálcico	0 a 0,25	10
Unidades de hormigón árido denso y unidades de piedra fabricada	0 a 0,25	4
Unidades de hormigón con:		
– pómez como único árido	0 a 0,25	4
– árido de poliestireno	0 a 0,25	5
– otros áridos ligeros	0 a 0,25	4

Figura VI.11.- Valores del coeficiente de conversión por humedad para algunos productos aislantes (izq.) y de hormigón, arcilla cocida y mortero (der). Representan los dos extremos de variación posible del valor. Fuente: UNE-EN ISO 10456:2012.

Adoptando de nuevo un criterio de gran simplicidad, puede adoptarse en primera aproximación, un valor promedio para todos los materiales, de $5 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Lógicamente, la utilización de herramientas informáticas que fueran capaces de adoptar para cada material su valor f_Ψ concreto, contribuiría a mejorar la precisión de esta aproximación.

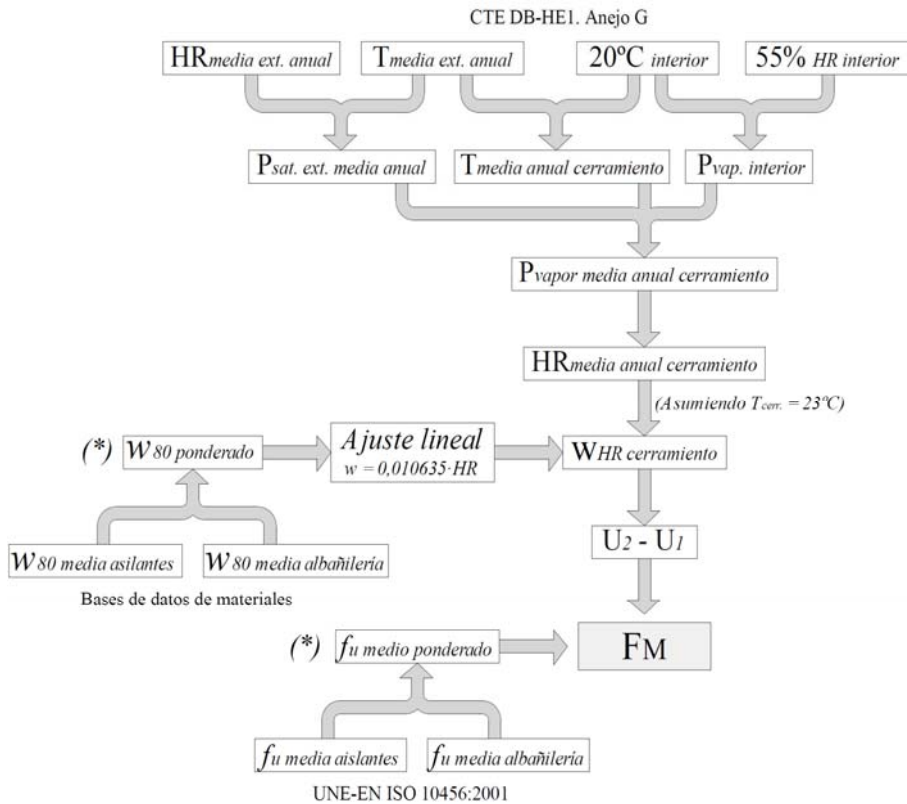
Utilizando el más elaborado criterio anterior, de ponderar la influencia de los materiales aislantes y elementos de albañilería en la resistencia térmica global existente sobre el cerramiento, puede adoptarse como valor de consenso que en torno a un 57 % de la resistencia térmica otorgada por los materiales al cerramiento, se debe a los aislantes térmicos.

Conociendo que para los aislantes térmicos f_Ψ oscila entre 0,8 y 6 m^3/m^3 , siendo 3,4 un buen valor de consenso y que para los materiales de albañilería y cementosos, oscila entre 4 y 10, por lo que 7 m^3/m^3 proporciona igualmente una buena generalización, la estimación de un valor global puede hacer en base a este criterio:

$$f_{\Psi \text{ global}} = 0,57 \cdot f_{\Psi \text{ aislantes}} + 0,43 \cdot f_{\Psi \text{ cerámicos}}$$

$$f_{\psi} = 0,57 \cdot 3,4 + 0,43 \cdot 7 = 4,948 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Por supuesto, también es posible asignar a cada material concreto, su valor f_{ψ} , exacto según la norma UNE-EN ISO 10456:2012, si bien es esfuerzo de cálculo se torna mucho mayor al deber realizarse para cada material concreto separadamente. Estudios estadísticos permitirían una mejor aproximación, e intereses estratégicos de ahorro energético podrían condicionar la adopción de un valor mayor por parte de la normativa con objeto de reducir el consumo energético resultante.



(*) La utilización de valores f_{ψ} y w_{80} para cada material mediante una herramienta informática, contribuiría a mejorar la precisión de la aproximación analítica presentada.

Figura VI.12.- Resumen esquemático de la aproximación planteada al valor F_M .

En cualquier caso, la simple utilización del valor único aportado mediante esta aproximación ($4,948 \text{ m}^3/\text{m}^3$), mejora en gran medida los resultados de cálculo actualmente utilizados:

$$F_M = e^{f_{\psi}(\psi_2 - \psi_1)} \approx e^{4,948(\psi_{med.cerramiento} - 0,0053175)}$$

Siendo:

ψ_{med} Factor dependiente del emplazamiento, que se tabulará más adelante para todas las capitales de provincia españolas, utilizando la aproximación anterior al contenido de humedad del cerramiento.

De este modo, la conversión de la prestación térmica en el cerramiento, pasa a depender únicamente del contenido de humedad medio del cerramiento en cada emplazamiento (caracterizado mediante la interpolación lineal del anterior apartado), por lo que es posible tabular su valor de forma prestacional para cualquier emplazamiento de nuestro país.

VI.5.- DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD PRESTACIONAL DE DISEÑO

Aunando ambas aproximaciones analíticas por temperatura y humedad, puede obtenerse un valor de diseño aproximado y analítico, para mejorar los cálculos utilizados hasta el momento en el ámbito térmico de la edificación española.

El factor corrector aplicado, en base a las simplificaciones asumidas, tiene únicamente una dependencia relativa al emplazamiento en la que se ejecuta el diseño edificatoria, de forma similar a como sucede con otros aspectos técnicos utilizados por el CTE (zona climática de cálculo).

Hasta el momento se han utilizado dos datos de partida para estimar la diferencia de temperaturas y de contenido de humedad respecto de las utilizadas y previstas por el CTE: valores medios anuales y valores medios mensuales correspondientes a los meses más desfavorables.

Si bien estos últimos valores son más exigentes que la media anual al corresponder a valores más extremos, también se dan en periodos de tiempo generalmente diferentes: las máximas temperaturas se producen en los meses de julio y agosto, mientras la humedad relativa máxima suele darse en enero o diciembre.

Considerar simultáneamente estas condiciones puntuales, llevaría por lo tanto a estimar situaciones no realistas, aunque el resultado obtenido fuera más conservador que el derivado de las condiciones medias.

Por lo tanto, para este estudio se opta por utilizar valores anuales medios para la determinación del factor corrector promedio. La aproximación, de gran simplicidad, queda entonces definida del siguiente modo, donde el factor corrector depende exclusivamente de las condiciones térmicas y de humedad relativa en el emplazamiento:

$$\lambda_{DISEÑO} = \lambda_{DE\ BASE} \cdot F_{M\ local} \cdot F_{T\ local} = \lambda_{DE\ BASE} \cdot F_{corrector}$$

Siendo:

$$F_{corrector} = F_T \cdot F_\psi = e^{0,0035125 (T_{med.cerram.} - 10)} \cdot e^{4,948 (\psi_{med.cerram.} - \psi_{50\% HR})}$$

$T_{med.cerr.}$ Temperatura media anual del cerramiento, supuesta una temperatura interior constante de 20°C.

$\psi_{med.cerr.}$ Contenido de humedad medio anual del cerramiento, aproximada según las simplificaciones presentadas, de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$\psi_{med.cerramiento} \approx HR_{media\ anual\ cerramiento} \cdot 0,010634737 \quad [m^3/m^3]$$

$\psi_{50\% HR}$ Contenido de humedad de diseño, estimado por el CTE a una humedad relativa del 50%, que según las simplificaciones presentadas, puede evaluarse mediante la misma expresión:

$$\psi_{50\% HR} \approx 0,5 \cdot 0,010634737 = 0,005317 \quad [m^3/m^3]$$

Con el procedimiento presentado se ha procedido a desarrollar una metodología de aproximación de gran simplicidad, que permite definir valores prestacionales de la conductividad térmica de los cerramientos, partiendo de los valores de conductividad actualmente establecidos por el CTE o declarados por los fabricantes de los productos.

Este ajuste tiene un marcado carácter prestacional, al variar en función de las características de cada emplazamiento, ajustándose a las exigencias climáticas en cada posible emplazamiento.

En la figura siguiente se muestra el resumen esquemático de los pasos seguidos para la determinación del factor de corrección asociado a cada emplazamiento y cuyo valor se tabula en las dos tablas siguientes. Pueden apreciarse en la figura las simplificaciones adoptadas, tanto en los datos de partida utilizados como en los pasos intermedios conducentes a la obtención del factor de ajuste o corrección:

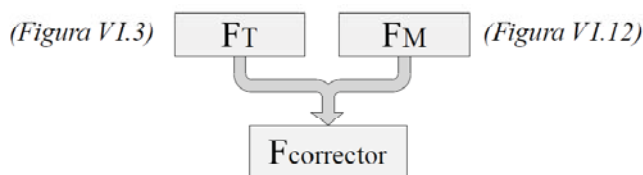


Figura VI.13.- Resumen esquemático de la aproximación planteada al valor $\lambda_{\text{DISEÑO}}$ en España, basada en el ajuste de las condiciones de diseño de humedad y temperatura.

La utilización de datos de partida intermedios más precisos, como por ejemplo datos de temperatura o humedad relativa para el cerramiento obtenidos a partir de mediciones experimentales o estudios más específicos, conllevaría una mejor aproximación del cálculo realizado a las condiciones reales. Del mismo modo la utilización de coeficientes de ajuste de temperatura o humedad específicos para cada material del cerramiento, conllevaría una mayor aproximación conjunta.

Los cálculos anteriores, realizados para todas las capitales de provincia españolas, se tabulan a continuación en las tablas VI.6 y VI.7. La tabla VI.6 hace referencia al factor corrector a aplicar sobre los resultados de conductividad obtenidos en base a los parámetros planteados por el CTE. Por otro lado, la tabla VI.7 se refiere al parámetro corrector a aplicar sobre los valores de conductividad declarados por los fabricantes según las condiciones Ia (temperatura de 10°C y estado seco del material, es decir, sin contenido de humedad apreciable).

En ambas tablas se presentan también los resultados intermedios de la conversión por humedad y temperatura. Se presenta igualmente el procedimiento de corrección a aplicar para localidades diferentes de la capital de provincia, cuya justificación se expone justo después de ambas tablas:

Tabla VI.6.- Factor local de ajuste sobre los valores de $\lambda_{\text{DISEÑO}}$, según condiciones CTE.

Localidad	T _{EXT}	T _{CERR}	(T ₂ -T ₁)	HR _E	HR _{CERR}	($\Psi_2 - \Psi_1$)	F _T	F _M	F _{CORRECTOR} (*)
Albacete	13,47	16,74	6,74	62,67	59,15	0,00097	1,02432	1,00482	1,02926
Alicante	17,85	18,93	8,93	66,50	60,48	0,00111	1,03235	1,00553	1,03806
Almería	18,51	19,26	9,26	67,08	60,82	0,00115	1,03357	1,00571	1,03947
Ávila	10,35	15,18	5,18	59,75	59,06	0,00096	1,01863	1,00478	1,02350
Badajoz	16,38	18,19	8,19	65,83	60,14	0,00108	1,02965	1,00535	1,03516
Barcelona	15,33	17,67	7,67	71,58	62,67	0,00135	1,02772	1,00669	1,03460
Bilbao	14,03	17,02	7,02	72,67	63,16	0,00140	1,02534	1,00695	1,03247
Burgos	9,88	14,94	4,94	73,42	64,18	0,00151	1,01778	1,00749	1,02540
Cáceres	16,16	18,08	8,08	66,50	60,44	0,00111	1,02924	1,00551	1,03492
Cádiz	18,24	19,12	9,12	72,33	63,27	0,00141	1,03307	1,00701	1,04031
Castellón	16,70	18,35	8,35	68,00	61,11	0,00118	1,03024	1,00587	1,03628
Ceuta	16,06	18,03	8,03	80,33	66,55	0,00176	1,02906	1,00875	1,03806
Ciudad Real	14,31	17,16	7,16	64,83	59,88	0,00105	1,02585	1,00521	1,03120
Córdoba	17,44	18,72	8,72	64,25	59,42	0,00100	1,03160	1,00497	1,03672
A Coruña	14,11	17,06	7,06	77,75	65,26	0,00162	1,02549	1,00806	1,03375
Cuenca	12,22	16,11	6,11	63,17	59,66	0,00103	1,02204	1,00510	1,02725
Girona	14,09	17,05	7,05	71,58	62,70	0,00135	1,02545	1,00671	1,03233
Granada	14,84	17,42	7,42	60,50	57,97	0,00085	1,02682	1,00420	1,03114
Guadalajara	13,55	16,78	6,78	68,50	61,50	0,00122	1,02446	1,00607	1,03068
Huelva	18,33	19,17	9,17	64,83	59,73	0,00103	1,03324	1,00513	1,03854
Huesca	13,32	16,66	6,66	65,67	60,39	0,00110	1,02404	1,00548	1,02966
Jaén	16,90	18,45	8,45	63,00	58,85	0,00094	1,03060	1,00467	1,03542
León	10,75	15,38	5,38	66,50	61,38	0,00121	1,01936	1,00601	1,02548
Lleida	14,61	17,31	7,31	64,00	59,49	0,00101	1,02640	1,00501	1,03154
Logroño	13,43	16,72	6,72	64,25	59,79	0,00104	1,02425	1,00517	1,02954
Lugo	11,19	15,60	5,60	79,17	65,99	0,00170	1,02016	1,00845	1,02878
Madrid	14,31	17,16	7,16	56,42	56,37	0,00068	1,02585	1,00336	1,02930
Málaga	17,96	18,98	8,98	66,17	60,34	0,00110	1,03255	1,00545	1,03819
Melilla	18,43	19,22	9,22	70,92	62,64	0,00134	1,03342	1,00667	1,04032
Murcia	16,90	18,45	8,45	71,42	62,67	0,00135	1,03060	1,00669	1,03750
Orense	14,30	17,15	7,15	71,42	62,63	0,00134	1,02584	1,00667	1,03267
Oviedo	12,60	16,30	6,30	77,67	65,27	0,00162	1,02273	1,00807	1,03098
Palencia	11,73	15,87	5,87	70,92	62,77	0,00136	1,02114	1,00674	1,02803
Palma	17,70	18,85	8,85	64,92	59,74	0,00104	1,03208	1,00514	1,03738
Las Palmas	20,48	20,24	10,24	67,33	61,26	0,00120	1,03721	1,00594	1,04337
Pamplona	12,18	16,09	6,09	67,33	61,29	0,00120	1,02196	1,00596	1,02805
Pontevedra	14,97	17,49	7,49	69,58	61,82	0,00126	1,02706	1,00624	1,03347
S. Sebastián	12,99	16,50	6,50	78,00	65,37	0,00163	1,02344	1,00812	1,03175
Salamanca	10,78	15,39	5,39	68,75	62,20	0,00130	1,01941	1,00644	1,02598
St. Cruz Ten.	21,03	20,52	10,52	62,42	58,85	0,00094	1,03822	1,00467	1,04307
Santander	14,20	17,10	7,10	68,75	61,52	0,00123	1,02565	1,00608	1,03189
Segovia	11,77	15,89	5,89	63,25	59,83	0,00105	1,02122	1,00519	1,02651
Sevilla	18,21	19,11	9,11	65,42	60,00	0,00106	1,03302	1,00528	1,03847
Soria	10,44	15,22	5,22	66,67	61,55	0,00123	1,01880	1,00610	1,02501
Tarragona	17,18	18,59	8,59	63,33	59,00	0,00096	1,03112	1,00475	1,03601
Teruel	11,52	15,76	5,76	62,50	59,62	0,00102	1,02076	1,00508	1,02594
Toledo	15,50	17,757	7,75	61,00	58,08	0,00086	1,02803	1,00426	1,03242
Valencia	16,76	18,38	8,38	64,75	59,65	0,00103	1,03035	1,00509	1,03559
Valladolid	12,18	16,09	6,09	63,00	59,61	0,00102	1,02196	1,00507	1,02714
Vitoria	11,13	15,57	5,57	74,33	64,19	0,00151	1,02005	1,00750	1,02770
Zamora	12,51	16,26	6,26	65,50	60,50	0,00112	1,02257	1,00554	1,02823
Zaragoza	14,63	17,32	5,18	63,00	59,06	0,00096	1,01865	1,00478	1,03135

(*) Multiplicar por 0,9965^{(DESNIVEL(m)/100)}, si el lugar está a más altura que la capital de provincia.

VI. Caracterización de la prestación térmica en cerramientos

Tabla VI.7.- Factor local de ajuste sobre los valores de λ DECLARADA en condiciones secas a 10°C (Ia).

Localidad	T _{EXT}	T _{CERR.}	(T ₂ -T ₁)	HR _E	HR _{CERR.}	($\Psi_2 - \Psi_1$)	F _T	F _M	F _{CORRECTOR} (*)
Albacete	13,47	16,74	6,74	62,67	59,15	0,00629	1,02432	1,03161	1,05670
Alicante	17,85	18,93	8,93	66,50	60,48	0,00643	1,03235	1,03234	1,06574
Almería	18,51	19,26	9,26	67,08	60,82	0,00647	1,03357	1,03252	1,06718
Ávila	10,35	15,18	5,18	59,75	59,06	0,00628	1,01863	1,03157	1,05079
Badajoz	16,38	18,19	8,19	65,83	60,14	0,00640	1,02965	1,03215	1,06275
Barcelona	15,33	17,67	7,67	71,58	62,67	0,00666	1,02772	1,03353	1,06218
Bilbao	14,03	17,02	7,02	72,67	63,16	0,00672	1,02534	1,03379	1,05999
Burgos	9,88	14,94	4,94	73,42	64,18	0,00682	1,01778	1,03435	1,05274
Cáceres	16,16	18,08	8,08	66,50	60,44	0,00643	1,02924	1,03232	1,06251
Cádiz	18,24	19,12	9,12	72,33	63,27	0,00673	1,03307	1,03386	1,06805
Castellón	16,70	18,35	8,35	68,00	61,11	0,00650	1,03024	1,03268	1,06391
Ceuta	16,06	18,03	8,03	80,33	66,55	0,00708	1,02906	1,03564	1,06574
Ciudad Real	14,31	17,16	7,16	64,83	59,88	0,00637	1,02585	1,03201	1,05869
Córdoba	17,44	18,72	8,72	64,25	59,42	0,00632	1,03160	1,03176	1,06436
A Coruña	14,11	17,06	7,06	77,75	65,26	0,00694	1,02549	1,03494	1,06131
Cuenca	12,22	16,11	6,11	63,17	59,66	0,00635	1,02204	1,03189	1,05463
Girona	14,09	17,05	7,05	71,58	62,70	0,00667	1,02545	1,03355	1,05985
Granada	14,84	17,42	7,42	60,50	57,97	0,00617	1,02682	1,03098	1,05863
Guadalajara	13,55	16,78	6,78	68,50	61,50	0,00654	1,02446	1,03289	1,05816
Huelva	18,33	19,17	9,17	64,83	59,73	0,00635	1,03324	1,03193	1,06623
Huesca	13,32	16,66	6,66	65,67	60,39	0,00642	1,02404	1,03229	1,05711
Jaén	16,90	18,45	8,45	63,00	58,85	0,00626	1,03060	1,03145	1,06302
León	10,75	15,38	5,38	66,50	61,38	0,00653	1,01936	1,03283	1,05282
Lleida	14,61	17,31	7,31	64,00	59,49	0,00633	1,02640	1,03180	1,05904
Logroño	13,43	16,72	6,72	64,25	59,79	0,00636	1,02425	1,03196	1,05698
Lugo	11,19	15,60	5,60	79,17	65,99	0,00702	1,02016	1,03534	1,05621
Madrid	14,31	17,16	7,16	56,42	56,37	0,00600	1,02585	1,03011	1,05674
Málaga	17,96	18,98	8,98	66,17	60,34	0,00642	1,03255	1,03226	1,06586
Melilla	18,43	19,22	9,22	70,92	62,64	0,00666	1,03342	1,03351	1,06805
Murcia	16,90	18,45	8,45	71,42	62,67	0,00667	1,03060	1,03353	1,06516
Orense	14,30	17,15	7,15	71,42	62,63	0,00666	1,02584	1,03350	1,06020
Oviedo	12,60	16,30	6,30	77,67	65,27	0,00694	1,02273	1,03494	1,05846
Palencia	11,73	15,87	5,87	70,92	62,77	0,00668	1,02114	1,03358	1,05544
Palma	17,70	18,85	8,85	64,92	59,74	0,00635	1,03208	1,03193	1,06503
Las Palmas	20,48	20,24	10,24	67,33	61,26	0,00652	1,03721	1,03276	1,07119
Pamplona	12,18	16,09	6,09	67,33	61,29	0,00652	1,02196	1,03278	1,05546
Pontevedra	14,97	17,49	7,49	69,58	61,82	0,00657	1,02706	1,03306	1,06102
S. Sebastián	12,99	16,50	6,50	78,00	65,37	0,00695	1,02344	1,03500	1,05926
Salamanca	10,78	15,39	5,39	68,75	62,20	0,00662	1,01941	1,03327	1,05333
St. Cruz Ten.	21,03	20,52	10,52	62,42	58,85	0,00626	1,03822	1,03145	1,07088
Santander	14,20	17,10	7,10	68,75	61,52	0,00654	1,02565	1,03290	1,05940
Segovia	11,77	15,89	5,89	63,25	59,83	0,00636	1,02122	1,03198	1,05388
Sevilla	18,21	19,11	9,11	65,42	60,00	0,00638	1,03302	1,03208	1,06615
Soria	10,44	15,22	5,22	66,67	61,55	0,00655	1,01880	1,03292	1,05233
Tarragona	17,18	18,59	8,59	63,33	59,00	0,00627	1,03112	1,03153	1,06363
Teruel	11,52	15,76	5,76	62,50	59,62	0,00634	1,02076	1,03187	1,05330
Toledo	15,50	17,75	7,75	61,00	58,08	0,00618	1,02803	1,03104	1,05994
Valencia	16,76	18,38	8,38	64,75	59,65	0,00634	1,03035	1,03189	1,06320
Valladolid	12,18	16,09	6,09	63,00	59,61	0,00634	1,02196	1,03186	1,05453
Vitoria	11,13	15,57	5,57	74,33	64,19	0,00683	1,02005	1,03435	1,05509
Zamora	12,51	16,26	6,26	65,50	60,50	0,00643	1,02257	1,03235	1,05564
Zaragoza	14,63	17,32	5,18	63,00	59,06	0,00628	1,01865	1,03157	1,05884

(*) Multiplicar por 0,9965^{(DESIVEL(m)/100)}, si el lugar está a más altura que la capital de provincia.

En aquellos casos en los que la población se encuentre a una altura superior a la de la capital de provincia, el factor correcto debe multiplicarse por un coeficiente de ajuste igual a $0,9965^{(\text{desnivel(m)}/100)}$. El proceso seguido para determinar dicho coeficiente de ajuste, se muestra a continuación:

Para aquellas poblaciones diferentes de las capitales de provincia españolas, el CTE DB-HE1. Anejo G estima la necesidad de considerar 1 °C menos de temperatura exterior por cada 100 m de altitud sobre la altura de la capital de provincia. Para aquellos casos en los que la altitud de la población sea inferior, deben considerarse los datos de la capital de provincia. La humedad relativa exterior, se considera en todo caso igual a la indicada para la capital de provincia.

Partiendo de este ajuste propuesto por el CTE, la adaptación del F_T resulta inmediata, aplicando la simple corrección derivada de considerar una variación de un grado por cada 100 m de desnivel en su cálculo:

$$F_{T \text{ mayor altura}} = F_T \cdot F_{\text{ajuste } T}^{(\text{dif altura}/100)}$$
$$F_{\text{ajuste } T \text{ 100 m}} \approx e^{0,0035675 \cdot (-1)} = 0,996438856$$

De tal forma que para ajustar el factor de conversión de temperatura, el único dato necesario es la diferencia de altura respecto de la capital de provincia, expresada en metros:

$$F_{T \text{ mayor altura}} = F_T \cdot 0,99644^{(\text{dif altura}/100)}$$

Se observa por lo tanto como a mayor altura del emplazamiento, menor será su temperatura y por lo tanto, menor será el factor corrector derivado de la diferencia de temperatura.

No obstante, el ajuste del factor de conversión por humedad, no es tan inmediato. A pesar de que la humedad relativa media exterior pueda suponerse como constante, la disminución de temperatura influye sobre la presión de saturación exterior, sobre la presión de vapor y ambas, sobre la humedad relativa en el cerramiento y su contenido de humedad.

Por otra parte, la temperatura en el cerramiento descenderá igualmente 0,5 °C por cada 100 de desnivel (la temperatura exterior se reduce 1 °C por cada 100 m). Además, la variación de la P_{SAT} y P_v no es lineal, lo que obligaría a realizar un cálculo pormenorizado para cada emplazamiento y desnivel.

Se va a proponer por lo tanto, una simple aproximación estimativa para el factor de ajuste, que no obstante, dista mucho de ser exacto. Para una mayor precisión, se recomienda calcular de nuevo el factor F_M partiendo de la nueva temperatura modificada por el desnivel existente.

Adoptando la temperatura media anual exterior promedio de todas las capitales de provincia españolas (14,7°C) y con ella la temperatura media en los cerramientos de todas ellas (17,35°C), así como la humedad relativa media anual exterior (67,48%), es posible estimar la variación media en las condiciones de humedad que se producen por

una disminución de 1°C en la temperatura exterior, aplicando de nuevo simples relaciones psicométricas:

$$P_{SAT. 14,7^{\circ}C} = 1,671 \text{ kPa; en el ambiente exterior. De ahí:}$$

$$P_{V 67,48\% HR} = 1,128 \text{ kPa}$$

$$P_{SAT. 20^{\circ}C} = 2,34 \text{ kPa; en el ambiente interior. De ahí:}$$

$$P_{V 55\% HR} = 1,29 \text{ kPa}$$

$$P_{SAT. 17,35^{\circ}C} = 1,98 \text{ kPa en el cerramiento.}$$

$$P_V = 1,206 \text{ kPa (media de la presión de vapor interior y exterior). De ahí:}$$

$$HR_{MED.CERRAMIENTO} \approx \frac{1,206}{1,98} = 60,94 \%$$

Ajustando para obtener el contenido de humedad medio en los materiales, se obtiene:

$$\psi_2 = w_{HR local} \approx HR_{med.cerramiento} \cdot 0,010634737 = 0,00648 \text{ [m}^3/\text{m}^3\text{]}$$

De donde, el factor de conversión por humedad F_M para las condiciones medias españolas puede estimarse en:

$$F_M = e^{f \cdot \psi(\psi_2 - \psi_1)} \approx e^{4,948(0,00648)} = 1,03258$$

Repitiendo el mismo procedimiento de cálculo anterior, estimando una temperatura exterior inferior en 1°C a la anterior, el resultado obtenido es igual a:

$$HR_{MED.CERRAMIENTO \text{ ajuste } 100m} \approx 61,06 \%$$

$$\psi_2 = w_{HR local \text{ ajuste } 100m} \approx 0,00649 \text{ [m}^3/\text{m}^3\text{]}$$

$$F_{M \text{ mayor altura}} = 1,03265$$

Se deduce por lo tanto, que para unas condiciones medias representativas de todo el país (obtenidas a partir del promedio de todos los datos correspondientes a todas las capitales de provincia españolas), el factor de ajuste a aplicar por cada 100 m de desnivel respecto a la capital de provincia, sería:

$$F_{M \text{ mayor altura}} = F_M \cdot F_{ajuste M}^{(dif \text{ altura}/100)}$$

$$F_{ajuste M 100m} \approx \frac{1,03265}{1,03259} = 1,00006$$

Para ajustar el factor de conversión de temperatura, el único dato necesario es la diferencia de altura respecto de la capital de provincia, expresada en metros:

$$F_{M \text{ mayor altura}} = F_M \cdot 1,00006^{(dif \text{ altura}/100)}$$

De forma inversa al factor de ajuste por temperatura, una mayor altura del emplazamiento, reduce la temperatura, incrementando la humedad relativa ambiental y con ello la diferencia entre la conductividad térmica real del material y la conductividad considerada en base a las condiciones del CTE.

Obviamente, al anterior ajuste es lineal, mientras que la variación real de las propiedades se parece más a un ajuste exponencial. Una variación de 200 m, que mediante el ajuste propuesto resultaría en $1,00006^2$ (1,00012), daría un factor de ajuste ligeramente superior si se realizaran los cálculos psicométricos detallados (concretamente 1,00015). Similar desviación se obtendría para 300m, 400m, 500m...

No obstante, para facilitar el cálculo, se asume la anterior aproximación como suficientemente adecuada. No ha de olvidarse, que el CTE estima en el emplazamiento una humedad relativa igual a la de la capital de provincia, parámetro este mucho más cuestionable que la precisión de la aproximación que se plantea.

Aunando ambos coeficientes de ajuste (humedad y temperatura), como consecuencia de la diferencia de altura, podemos determinar un coeficiente de ajuste unitario, a aplicar sobre $F_{CORRECTOR}$ en el caso de emplazamientos diferentes de las capitales de provincia:

$$F_{ajuste} = 0,99644^{(dif\ altura/100)} \cdot 1,00006^{(dif\ altura/100)}$$

$$F_{ajuste} = 0,9965^{(dif\ altura\ (m)/100)}$$

Las simplificaciones adoptadas en la metodología, obligadas por el carácter analítico del método pretendido y por la funcionalidad y simplicidad de aplicación que se deseaba, conlleva no obstante asumir ciertas indeterminaciones intrínsecas, que se desglosan a continuación:

- La temperatura exterior al cerramiento se evalúa en base a la media anual en el emplazamiento, existiendo condiciones más favorables y desfavorables a la representada, a lo largo del año.
- La temperatura T_2 se evalúa de forma conjunta para todo el cerramiento. En consecuencia, (T_2-T_1) se evalúa de forma uniforme y homogénea a todo el cerramiento vertical, en lugar de para cada material.
- Del mismo modo, no se tiene en cuenta la influencia de la posición del material en el conjunto del cerramiento, para caracterizar su afección térmica.
- El coeficiente f_i se estima de forma conjunta para todo el cerramiento, en base a un criterio aproximativo de ponderación, en lugar de asignar un valor ajustado a cada material.
- La humedad relativa exterior al cerramiento se evalúa en base a la media anual en el emplazamiento, existiendo condiciones más favorables y desfavorables a la representada, a lo largo del año.
- El contenido de humedad ψ_2 se evalúa de forma conjunta para todo el cerramiento. En consecuencia, $(\psi_2-\psi_1)$ se evalúa de forma conjunta para todo el cerramiento vertical, en lugar de para cada material.
- El contenido de humedad ψ_2 se estima de forma conjunta para todo el cerramiento, en base a un criterio aproximativo de ponderación y a una aproximación lineal, en lugar de obtener el valor ajustado a cada material.

- El coeficiente f_w se estima de forma conjunta para todo el cerramiento, en base a un criterio aproximativo de ponderación, en lugar de asignar un valor ajustado a cada material.
- La estimación de la variación del factor de conversión de humedad F_M a consecuencia de la diferencia de altura, se evalúa de forma meramente aproximativa, siguiendo las directrices marcadas por el CTE DB-HE1. Anejo G, dando como resultado un cálculo no exacto.
- Únicamente se ofrece un factor corrector, aun a pesar de que el comportamiento térmico del cerramiento oscila de forma continua a lo largo del año, condicionado por las variaciones de temperatura y humedad.
- El ajuste lineal aplicado para emplazamientos a una altura superior al de la capital de provincia se basa en un criterio aproximado establecido por el CTE y como tal es susceptible de cálculo más preciso. Del mismo modo, el ajuste propuesto por cada 100 m de desnivel no se ajusta exactamente a la variación exponencial que se produce en la humedad relativa del cerramiento.

VI.5.1.- AUTOMATIZACIÓN DEL CÁLCULO PRESTACIONAL PROPUESTO

Dado que los resultados tabulados anteriormente corresponden únicamente a dos casos concretos dentro de la amplia casuística posible (condiciones declaradas según parámetros Ia o condiciones de diseño según CTE y condiciones interiores de 20°C y 55% de humedad relativa), se añade al trabajo de aproximación realizado en este estudio una herramienta informática, que dividida en tres sencillos pasos, permite la automatización de los cálculos presentados anteriormente.

En el primer paso, la herramienta informática permite la definición de hasta 8 hojas de materiales para la descripción de los componentes del cerramiento vertical concreto que se pretenda diseñar. Para cada uno de estos materiales es necesario incluir datos de espesor y conductividad de dichos materiales, indicando las condiciones de base o de partida en las que se dan esos valores de conductividad (Ia, Ib (CTE), IIa o IIb).

PASO 0 MATERIALES Y RESULTADOS:										
Descripción:	Esesor:	m	λ de partida:	w/mK	λ de diseño:	w/mK	Ri:	[m2K/w]	Rse:	[m2K/w]
Mat 1. <input type="text" value="Leonito"/>	<input type="text" value="0,06"/>	m	<input type="text" value="0,6"/>	w/mK	<input type="text" value="0,605287"/>	w/mK	<input type="text" value="0,059127"/>	[m2K/w]	<input type="text" value="0,04"/>	[m2K/w]
Mat 2. <input type="text"/>	<input type="text"/>	m	<input type="text"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	[m2K/w]	<input type="text"/>	Rsi: <input type="text"/>
Mat 3. <input type="text"/>	<input type="text"/>	m	<input type="text"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	[m2K/w]	<input type="text" value="0,13"/>	[m2K/w]
Mat 4. <input type="text"/>	<input type="text"/>	m	<input type="text"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	[m2K/w]	<input type="text"/>	
Mat 5. <input type="text"/>	<input type="text"/>	m	<input type="text"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	[m2K/w]	<input type="text"/>	RT cerramiento: <input type="text"/>
Mat 6. <input type="text"/>	<input type="text"/>	m	<input type="text"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	[m2K/w]	<input type="text" value="0,2691"/>	[m2K/w]
Mat 7. <input type="text"/>	<input type="text"/>	m	<input type="text"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	[m2K/w]	<input type="text"/>	U cerramiento: <input type="text"/>
Mat 8. <input type="text"/>	<input type="text"/>	m	<input type="text"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	w/mK	<input type="text" value="0,000000"/>	[m2K/w]	<input type="text" value="3,71572"/>	[w/m2K]
Especificación para λ de partida:			<input type="text" value="Ia"/>	<input type="text" value="23,000000"/>	<input type="text" value="T1"/>	<input type="text" value="0,000000"/>	<input type="text" value="Ψ1"/>			
PASO 1 CONDICIONES AMBIENTALES Y ALTURA:										
Capital de provincia:	<input type="text" value="Albacete"/>	Temp. interior (°C):	<input type="text" value="20 (CTE)"/>	HR interior (%):	<input type="text" value="55 (CTE)"/>					
Altura sobre capital de provincia (m):	<input type="text"/>	<input type="text" value="1,000000"/>	<input type="text" value="Fallt."/>	<input type="text" value="1,008811"/>	<input type="text" value="FACTOR CORRECTOR GLOBAL (FT-FM-Fallt.)"/>					

Figura VI.14.- Cuadro de trabajo de la herramienta informática. En blanco los datos a rellenar por el usuario. En los Pasos 0 y 1, se rellenan los datos del cerramiento relativos a los materiales del cerramiento y las condiciones ambientales interiores y exteriores al cerramiento definido.

Además del emplazamiento del edificio y la diferencia de altura respecto de la capital de provincia, es posible también optar entre diferentes temperaturas interiores y humedades relativas para la realización de los cálculos.

En el segundo paso, se definen las condiciones de temperatura a las que cada material se encuentra sometido, de acuerdo al método propuesto. Dado que en el método, la temperatura exterior se ha definido en base a las condiciones marcadas para cada emplazamiento, los valores se cargan automáticamente tras elegir el emplazamiento de estudio.

En caso de que el usuario disponga de datos más precisos o localizados, puede introducir manualmente la temperatura media esperada en el cerramiento o temperatura de diseño T_2 . Todos los resultados se reajustarán automáticamente en función de dicha temperatura.

Simular efecto se tendrá si el usuario prefiere incluir uno por uno, los valores del coeficiente f_i asignados a cada material (por ejemplo utilizando la norma UNE-EN ISO 10456:2012):

PASO 2 CONVERSIÓN POR TEMPERATURA:							
Según datos CTE HEL, Apéndice G:	13,47	T ext.	16,74	T2	-6,27	T2-T1	Paso 2: Rellenar solo en caso de conocer datos específicos relativos a los materiales.
Usando datos alternativos aportados por el usuario:							
Coeficiente f_i propuesto:	0,0035675	[1/K]	0,977898	f_i global	FACTOR GLOBAL DE CONVERSIÓN POR TEMPERATURA		
Usando f_i específico para cada material (ISO 10456:2001):							
Mat. 1.	Usando	[1/K]		f_i (1)	Factor de conversión por temperatura mat. 1		
Mat. 2.		[1/K]		f_i (2)	Factor de conversión por temperatura mat. 2		
Mat. 3.		[1/K]		f_i (3)	Factor de conversión por temperatura mat. 3		
Mat. 4.		[1/K]		f_i (4)	Factor de conversión por temperatura mat. 4		
Mat. 5.		[1/K]		f_i (5)	Factor de conversión por temperatura mat. 5		
Mat. 6.		[1/K]		f_i (6)	Factor de conversión por temperatura mat. 6		
Mat. 7.		[1/K]		f_i (7)	Factor de conversión por temperatura mat. 7		
Mat. 8.		[1/K]		f_i (8)	Factor de conversión por temperatura mat. 8		

Figura VI. 15.- Cuadro de trabajo de la herramienta informática. En blanco los datos a rellenar por el usuario. En el Paso 2, aunque los datos se cargan automáticamente, el autor puede optar por rellenar datos alternativos a los utilizados por el método, en caso de que disponga de los mismos.

En el tercer y último Paso, se definen las condiciones de humedad a las que el cerramiento se encuentra sometido. Puesto que como en el caso anterior, dependen de los datos de humedad relativa asociados por el método a cada emplazamiento, estos se cargan automáticamente al seleccionar el emplazamiento de estudio.

Si el usuario dispone de datos de humedad relativa más precisos, referidos al contenido de humedad de los materiales en la situación de diseño (Ψ_2) o en las condiciones declaradas para el material (Ψ_1), puede introducirlas, ajustándose automáticamente todo el cálculo a tales datos.

Del mismo modo, puede modificar las condiciones de humedad relativa exterior o media del cerramiento y aplicar otros coeficientes f_{ψ} específicos e individuales para cada material del cerramiento, ajustándose automáticamente todo el cálculo a tales datos introducidos.

VI. Caracterización de la prestación térmica en cerramientos

PASO 3 CONVERSIÓN POR HUMEDAD:

Según datos CTE HE1, Apéndice G: 6,67 HR ext., 59,15 HR cerr., 0,00628999 Ψ_2 , 0,00000000 Ψ_1

Usando datos alternativos:

Vapor w80 propuesto: 0,00857790 [m3/m3] 0,00628999 $\Psi_2-\Psi_1$ *Paso 3: Rellenar solo en caso de conocer datos específicos relativos a los materiales.*

Usando resultados de curvas de sorción para cada material (ISO 12571:2000):

Mat.	Descripción	Ψ_2	Ψ_1	Contenido de humedad
Mat 1.	Ladrillo	Ψ_2 (1)	Ψ_1 (1)	Contenidos de humedad obtenidos por ensayo para mat. 1
Mat 2.		Ψ_2 (2)	Ψ_1 (2)	Contenidos de humedad obtenidos por ensayo para mat. 2
Mat 3.		Ψ_2 (3)	Ψ_1 (3)	Contenidos de humedad obtenidos por ensayo para mat. 3
Mat 4.		Ψ_2 (4)	Ψ_1 (4)	Contenidos de humedad obtenidos por ensayo para mat. 4
Mat 5.		Ψ_2 (5)	Ψ_1 (5)	Contenidos de humedad obtenidos por ensayo para mat. 5
Mat 6.		Ψ_2 (6)	Ψ_1 (6)	Contenidos de humedad obtenidos por ensayo para mat. 6
Mat 7.		Ψ_2 (7)	Ψ_1 (7)	Contenidos de humedad obtenidos por ensayo para mat. 7
Mat 8.		Ψ_2 (8)	Ψ_1 (8)	Contenidos de humedad obtenidos por ensayo para mat. 8

Coefficiente f_w propuesto: 4,088 [m3/m3] 1,031612 FM global

Usando f_w específico para cada material (ISO 10456:2001):

Mat.	Descripción	f_w	Factor de conversión
Mat 1.	Ladrillo	[m3/m3]	FM (1)
Mat 2.		[m3/m3]	FM (2)
Mat 3.		[m3/m3]	FM (3)
Mat 4.		[m3/m3]	FM (4)
Mat 5.		[m3/m3]	FM (5)
Mat 6.		[m3/m3]	FM (6)
Mat 7.		[m3/m3]	FM (7)
Mat 8.		[m3/m3]	FM (8)

FACTOR GLOBAL DE CONVERSIÓN POR HUMEDAD

Factor de conversión por humedad mat. 1
Factor de conversión por humedad mat. 2
Factor de conversión por humedad mat. 3
Factor de conversión por humedad mat. 4
Factor de conversión por humedad mat. 5
Factor de conversión por humedad mat. 6
Factor de conversión por humedad mat. 7
Factor de conversión por humedad mat. 8

Figura VI.16.- Cuadro de trabajo de la herramienta informática. En blanco los datos a rellenar por el usuario. En el Paso 3, se rellenan por el usuario datos alternativos a los utilizados por el método, en caso de que disponga de los mismos.

Con los datos introducidos por el usuario o cargados automáticamente por la elección del emplazamiento y siguiendo los valores calculados para el método presentado, la herramienta ofrece la estimación prestacional de la resistencia térmica del cerramiento R_T y de su transmitancia global U , además de información puntual referida a la conductividad de diseño utilizada para cada uno de los materiales utilizados o para el cerramiento en su conjunto.

PASO 0 MATERIALES Y RESULTADOS:

Mat.	Descripción	Espesor:	λ de partida:	λ de diseño:	Ri:	Rse:
Mat 1.	Ladrillo	0,11 m	0,55 w/mK	0,567241 w/mK	0,193921 [m2K/w]	0,04 [m2K/w]
Mat 2.	Aislante térmico	0,04 m	0,032 w/mK	0,033003 w/mK	1,212007 [m2K/w]	
Mat 3.	Ladrillo Dte	0,07 m	0,29 w/mK	0,299091 w/mK	0,234043 [m2K/w]	0,13 [m2K/w]
Mat 4.	Eucado interior	0,02 m	0,57 w/mK	0,587868 w/mK	0,025516 [m2K/w]	
Mat 5.				0,000000 w/mK	0,000000 [m2K/w]	
Mat 6.				0,000000 w/mK	0,000000 [m2K/w]	RT cerramiento: 1,8355 [m2K/w]
Mat 7.				0,000000 w/mK	0,000000 [m2K/w]	U cerramiento: 0,54481 [w/m2K]
Mat 8.				0,000000 w/mK	0,000000 [m2K/w]	

Especificación para λ de partida: B (CTE) 10,000000 T1 0,003317 Ψ_1

PASO 1 CONDICIONES AMBIENTALES Y ALTURA:

Capital de provincia: Zaragoza Temp. interior (°C): 20 (CTE) HR interior (%): 55 (CTE)

Altura sobre capital de provincia (m): 1,000000 Fakt. 1,031347 **FACTOR CORRECTOR GLOBAL (FT-FM-Fakt.)**

Figura VI.17.-Parámetros prestacionales de transmisión térmica, calculados para un cerramiento convencional ubicado en la ciudad de Zaragoza, con unas condiciones de temperatura y humedad relativa interior iguales a las marcadas por el CTE. Se estima que la resistencia térmica del cerramiento se está sobrevalorando en un 3,32% actualmente. El factor corrector a aplicar para mayorar la conductividad de los materiales es de 1,0313.

VI.6.- VALIDACIÓN DE LA APROXIMACIÓN PRESTACIONAL ANALÍTICA PLANTEADA

En este apartado se evalúa la precisión obtenida mediante la aproximación planteada, determinando así su posibilidad de utilización. Para ello, los resultados aproximados mediante ésta, se comparan con varias simulaciones numéricas desarrolladas a través de una herramienta de cálculo numérico.

Como cerramiento objeto de análisis se utiliza una composición de ladrillo caravista exterior, aislamiento de lana de roca, ladrillo doble hueco y enlucido de yeso interior, que se considera representativa de un cerramiento genérico habitual en nuestro país. Las condiciones de este cerramiento vertical, se presentan a continuación:

Tabla VI.8.- Condiciones de contorno y diseño para fachada, sometida a simulación numérica según EN 15026, 2007 (CEN, 2007).

Condiciones de contorno	Espesor [cm]
Orientación de fachada	Norte
Altura de fachada	< 10 m
Condición interior	Higrometría 3
Espesor total	26 cm
Fachada vertical sin obstáculos	

Tabla VI.9.- Condiciones de diseño para fachada, sometida a simulación numérica según EN 15026, 2007 (CEN, 2007).

Condiciones de diseño	Espesor [cm]	$\lambda_{CTE}^{(*)}$ [w/mk]	T_{CTE}	W_{CTE} [m ³ /m ³]	ρ_{seco} [Kg/m ³]	C [J/kgK]
Ladrillo caravista	11,5	0,55	10	0,00440	1650	1000
Lana mineral	6	0,032	10	0,00005	71	850
Ladrillo doble hueco	7	0,29	10	0,00342	800	1000
Enlucido de yeso interior	1,5	0,57	10	0,00159	1237	1000

(*) Valor de diseño, según condiciones Ib, tal y como recoge el Catálogo de Elementos Constructivos.

Se analizará la resistencia térmica obtenida para el cerramiento en tres posibles emplazamientos de la geografía española, caracterizados por climatologías variadas (seca y calurosa, húmeda y suave y húmeda y esteparia), siguiendo tres estrategias de análisis diferente:

- Cálculo simple en base a las condiciones de diseño establecidas por el CTE (10°C y HR 50% a 23°C).
- Cálculo analítico aproximado utilizando la metodología propuesta en el apartado anterior.
- Cálculo numérico detallado utilizando la herramienta informática WUFI Pro 5.0.2.527 (versión evaluación), que permite determinar la resistencia térmica del cerramiento en cuatro condiciones extremas (máxima y mínima temperatura exterior; máximo y mínimo contenido de humedad en el conjunto del cerramiento).

VI.6.1.- CÁLCULO Y RESULTADOS BASADOS EN PARÁMETROS DEL CTE

El cálculo de la resistencia térmica del cerramiento se considera constante a lo largo de año, independientemente de las condiciones ambientales interiores y exteriores, así como independiente del emplazamiento en el que se analice. Su determinación se especifica en el CTE DB-HE1, Anejo E, obteniendo para el cerramiento definido el siguiente resultado:

$$R_T = 0,04 + \frac{0,115}{\lambda_{caravista}} + \frac{0,06}{\lambda_{aislamiento}} + \frac{0,07}{\lambda_{LDH}} + \frac{0,015}{\lambda_{yeso}} + 0,13$$

$$R_{T\ CTE} = 0,04 + \frac{0,115}{0,55} + \frac{0,06}{0,032} + \frac{0,07}{0,29} + \frac{0,015}{0,57} + 0,13 = 2,522 \quad [m^2K/w]$$

La transmitancia térmica del cerramiento U, se calcula a su vez como la inversa de la resistencia térmica:

$$U_{T\ CTE} = \frac{1}{R_{T\ CTE}} = \frac{1}{2,522} = 0,79302 \quad [w/m^2K]$$

La validez o insuficiencia de la caracterización térmica del cerramiento, dependerá únicamente de las prestaciones exigidas en cada zona climática, siendo en este caso válido el cerramiento para las zonas climáticas A, B, C y D, si bien no para la zona E, donde sería necesaria una menor transmitancia térmica.

Cerramientos y particiones interiores	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos ⁽²⁾	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas ⁽³⁾	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m

⁽²⁾ Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de cámaras sanitarias, se consideran como suelos

⁽³⁾ Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de desvanes no habitables, se consideran como cubiertas

Figura VI.18.- Condiciones de transmitancia máxima admisible [w/m²K] en cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica, extraído del CTE DB-HE1.2. Fuente: España, 2006

El cálculo se ha realizado utilizando como base de partida los valores de conductividad de diseño de los materiales, extraídos del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE y por lo tanto, adecuados a unas condiciones de referencia de 10°C y humedad relativa del 50% a 23°C, consideradas estas condiciones como válidas para su utilización en cualquier diseño (véase el capítulo II y la introducción a este mismo capítulo).

VI.6.2.- CÁLCULO Y RESULTADOS BASADOS EN EL CÁLCULO PRESTACIONAL PROPUESTO

La metodología de ajuste presentada introduce la estimación de las condiciones ambientales del cerramiento en la determinación de los valores de conductividad de diseño a utilizar. Así, suponiendo que el mismo cerramiento se utiliza en edificaciones situadas en tres ciudades diferentes (Madrid, Bilbao y Palma), los resultados se ajustan del siguiente modo:

$$\lambda_{DISEÑO} = \lambda_{DE BASE} \cdot F_{corrector}$$

Las tres ciudades se localizan en climatologías variadas, representativas de las habituales en las diferentes zonas climáticas del país (Madrid, clima templado con verano seco y caluroso; Bilbao, clima templado sin estación seco con verano suave; Palma, clima estepario frío), todo ello según la clasificación climática de Köppen para nuestro país.

Dado que como conductividad de base, se parte de los valores de conductividad de diseño obtenidos según condiciones determinadas por el CTE (los valores se han extraído del Catálogo de Elementos Constructivos), se recurrirá a los factores correctores presentados en la primera tabla (tabla 6) de valores tabulados, adecuados para esas condiciones de partida:

Tabla VI.10.- Condiciones de conductividad térmica de diseño obtenidas mediante la simple aplicación de la metodología de ajuste propuesta.

Madrid	λ_{CTE} [w/mk]	$F_{CORRECTOR}$	$\lambda_{DISEÑO}$ [w/mk]
Ladrillo caravista	0,55	1,02930	0,566115
Aislamiento térmico lana mineral	0,032	1,02930	0,032938
Ladrillo doble hueco	0,29	1,02930	0,298497
Enlucido de yeso interior	0,57	1,02930	0,586701
Bilbao	$\lambda_{CTE}^{(*)}$ [w/mk]	$F_{CORRECTOR}$	$\lambda_{DISEÑO}$ [w/mk]
Ladrillo caravista	0,55	1,03247	0,567859
Aislamiento térmico lana mineral	0,032	1,03247	0,033039
Ladrillo doble hueco	0,29	1,03247	0,299416
Enlucido de yeso interior	0,57	1,03247	0,588508
Palma	$\lambda_{CTE}^{(*)}$ [w/mk]	$F_{CORRECTOR}$	$\lambda_{DISEÑO}$ [w/mk]
Ladrillo caravista	0,55	1,03738	0,570559
Aislamiento térmico lana mineral	0,032	1,03738	0,033196
Ladrillo doble hueco	0,29	1,03738	0,300840
Enlucido de yeso interior	0,57	1,03738	0,591306

Las resistencias y transmitancias térmicas obtenidas para cada una de las ciudades, se calcula del mismo modo anterior:

$$R_T = 0,04 + \frac{0,115}{\lambda_{caravista}} + \frac{0,06}{\lambda_{aislamiento}} + \frac{0,07}{\lambda_{LDH}} + \frac{0,015}{\lambda_{yeso}} + 0,13$$

$$R_T \text{ aprox. Madrid} = 0,17 + \frac{0,115}{0,566} + \frac{0,06}{0,0329} + \frac{0,07}{0,298} + \frac{0,015}{0,587} = 2,457 \quad [\text{m}^2\text{K/w}]$$

$$R_T \text{ aprox. Bilbao} = 0,17 + \frac{0,115}{0,568} + \frac{0,06}{0,0330} + \frac{0,07}{0,299} + \frac{0,015}{0,589} = 2,450 \quad [\text{m}^2\text{K/w}]$$

$$R_T \text{ aprox. Palma} = 0,17 + \frac{0,115}{0,571} + \frac{0,06}{0,0332} + \frac{0,07}{0,301} + \frac{0,015}{0,591} = 2,437 \quad [\text{m}^2\text{K/w}]$$

Tal y como se aprecia, la resistencia térmica calculada es inferior en todos los casos a la estimada por el CTE, en un 2,6%, 2,9% y 3,4% respectivamente, lo que representa un importante factor de mejora en la estimación de la conductividad, como se comprobará más adelante.

Un uso más preciso del método de aproximación propuesto, puede hacerse si se parte de resultados intermedios (T_2-T_1) y ($\Psi_2-\Psi_1$), igualmente tabulados en las tablas y si se utilizan las tablas aportadas por la norma UNE-EN ISO 10456:2012 para determinar los valores f_i y f_ψ asociados a cada material concreto que compone el cerramiento:

$$\lambda_{DISEÑO} = \lambda_{DEBASE} \cdot F_T \cdot F_M$$

$$F_T = e^{f_T(T_2-T_1)}$$

$$F_M = e^{f_\psi(\psi_2-\psi_1)}$$

Tabla VI.11.- Condiciones de conductividad térmica de diseño obtenidos mediante la utilización de resultados intermedios tabulados de la metodología de ajuste propuesta y de la UNE-EN ISO 10456:2012.

Madrid	λ_{CTE} [w/mk]	(T_2-T_1)	f_T	$(\Psi_2-\Psi_1)$	f_ψ	$F_{corrector}$	$\lambda_{DISEÑO}$ [w/mk]
Ladrillo caravista	0,55	7,16	0,0010	0,00068	10	1,01405	0,557732
Lana mineral	0,032	7,16	0,0046	0,00068	4	1,03630	0,033162
Ladrillo doble hueco	0,29	7,16	0,0010	0,00068	10	1,01405	0,294075
Enlucido de yeso interior	0,57	7,16	0,0010	0,00068	4	1,00993	0,575660
Bilbao	λ_{CTE}^* [w/mk]	(T_2-T_1)	f_T	$(\Psi_2-\Psi_1)$	f_ψ	$F_{corrector}$	$\lambda_{DISEÑO}$ [w/mk]
Ladrillo caravista	0,55	7,02	0,0010	0,00140	10	1,02124	0,561683
Lana mineral	0,032	7,02	0,0046	0,00140	4	1,03862	0,033236
Ladrillo doble hueco	0,29	7,02	0,0010	0,00140	10	1,02124	0,296160
Enlucido de yeso interior	0,57	7,02	0,0010	0,00140	4	1,01270	0,577239
Palma	λ_{CTE}^* [w/mk]	(T_2-T_1)	f_T	$(\Psi_2-\Psi_1)$	f_ψ	$F_{corrector}$	$\lambda_{DISEÑO}$ [w/mk]
Ladrillo caravista	0,55	8,85	0,0010	0,00162	10	1,02537	0,56395
Lana mineral	0,032	8,85	0,0046	0,00162	4	1,04832	0,03355
Ladrillo doble hueco	0,29	8,85	0,0010	0,00162	10	1,02537	0,29736
Enlucido de yeso interior	0,57	8,85	0,0010	0,00162	4	1,01545	0,57881

De donde puede calcularse la resistencia térmica con mayor precisión:

$$R_T = 0,04 + \frac{0,115}{\lambda_{caravista}} + \frac{0,06}{\lambda_{aislamiento}} + \frac{0,07}{\lambda_{LDH}} + \frac{0,015}{\lambda_{yeso}} + 0,13$$

$$R_T \text{ aprox. Madrid} = 0,17 + \frac{0,115}{0,558} + \frac{0,06}{0,0332} + \frac{0,07}{0,294} + \frac{0,015}{0,576} = 2,447 \quad [\text{m}^2\text{K/w}]$$

$$R_{T \text{ aprox. Bilbao}} = 0,17 + \frac{0,115}{0,562} + \frac{0,06}{0,0332} + \frac{0,07}{0,296} + \frac{0,015}{0,577} = 2,444 \quad [\text{m}^2\text{K/w}]$$

$$R_{T \text{ aprox. Palma}} = 0,17 + \frac{0,115}{0,564} + \frac{0,06}{0,0336} + \frac{0,07}{0,297} + \frac{0,015}{0,579} = 2,421 \quad [\text{m}^2\text{K/w}]$$

Tal y como se aprecia, los resultados obtenidos partiendo de datos tabulados intermedios son muy similares a los valores obtenidos aplicando directamente el factor corrector tabulado en las tablas precedentes, lo que valida las simplificaciones anteriormente adoptadas.

Concretamente, en Madrid la diferencia entre ambas aproximaciones alcanza un 0,4%, mientras que para Bilbao y Palma las diferencias son similares (0,2 y 0,7% respectivamente).

VI.6.3.- CÁLCULO Y RESULTADOS OBTENIDOS EN BASE AL CÁLCULO NUMÉRICO

La validez de los dos métodos precedentes no puede compararse sino a través de un cálculo detallado sobre las condiciones reales existentes en el cerramiento. Para ello se utiliza una herramienta de cálculo higrotérmico, capaz de simular los procesos de transmisión térmica y transporte de humedad en el interior del cerramiento de acuerdo a condiciones de gran realismo, al utilizar como condiciones de contorno las condiciones atmosféricas registradas a lo largo de todo un año en el emplazamiento objeto de estudio.

En esta simulación numérica, los valores de conductividad se adaptan en todo momento a las condiciones de temperatura y contenido de humedad que se dan en los materiales, de forma similar a como se ha pretendido plantear en el método propuesto mediante una aproximación generalista en base a valores medios.

La simulación se lleva a cabo utilizando la herramienta informática WUFI Pro 5.0.2.527 (versión evaluación), sometiendo al mismo cerramiento anteriormente descrito a las condiciones climatológicas que se dan en un año representativo en cada una de las tres ciudades anteriormente analizadas.

Entre los parámetros atmosféricos considerados como condiciones de contorno para la evaluación de la transmisión térmica y de humedad, están la radiación solar, lluvia, temperatura exterior e interior y la humedad relativa interior y exterior. Las condiciones de conductividad fijadas para los materiales se han ajustado a los valores de diseño recogidos por el Catálogo de Elementos Constructivos, de acuerdo a las tablas anteriores. Para la humedad y temperatura interior se adoptan unas condiciones constantes de 55% de humedad relativa y 20°C, tal y como se ha supuesto en el apartado VI.6.2.

Dado que el cerramiento se encuentra sometido en la simulación a todas las condiciones climáticas que se producen a lo largo de un año, en dicho periodo se producen situaciones de elevada sollicitación sobre el cerramiento y periodos de menor exigencia térmica. Las situaciones más desfavorables para la resistencia térmica del cerramiento, vendrán definidas por altos contenidos de humedad y altas temperaturas simultáneas, mientras las condiciones más favorables, se darán con bajos contenidos de humedad y bajas temperaturas.

Por desgracia tal y como se ha adelantado, dichas situaciones no son simultáneas. En los momentos estivales de mayor temperatura las lluvias suelen ser escasas, originando bajos contenidos de humedad. Por el contrario, en los meses de mayor precipitación, las temperaturas son las propias del invierno y por lo tanto muy bajas, reduciendo la conductividad del material.

Si se analizan los resultados de simulación obtenidos para la ciudad de Bilbao, referidos a los datos climáticos del años 2007, suministrados por la Agencia Estatal de Meteorología, pueden identificarse las temperaturas máximas y mínimas registradas en los materiales, así como sus contenidos mínimos y máximos de humedad, presentados en la tabla VI.12 siguiente.

Tabla VI.12.- Rangos de variación entre condiciones extremas de trabajo de cada material (no simultáneas), para ejemplo de cerramiento situado en Bilbao.

Rangos extremos de trabajo				
Componente	T _{max}	T _{min}	W _{max} * [m ³ /m ³]	W _{min} * [m ³ /m ³]
Ladrillo caravista	25,1	3,3	0,15900	0,03960
Lana mineral	21,3	10,2	0,00032	0,00059
Ladrillo doble hueco	20,6	18,8	0,00455	0,00203
Enlucido de yeso interior	20,2	19,0	0,00187	0,00246

(*) Condiciones de humedecimiento a 23°C y 50% de humedad relativa.

Si se adopta como posible la simultaneidad de ambas condiciones extremas sobre los materiales (favorables y desfavorables), podremos caracterizar el rango máximo de variación de conductividad previsto para los diferentes materiales que integran este cerramiento y con ello, el rango de variación máximo de la resistencia térmica del mismo:

Tabla VI.13.- Valores de conductividad ideales de diseño para las condiciones más favorables (mínimas temperaturas y mínimo contenido de humedad) en base a UNE-EN ISO 10456:2012.

Condiciones de trabajo	T _{min}	W _{min} [m ³ /m ³]	λ (*) [w/mk]	F _{T min}	F _{M min}	λ _{DISEÑO IDEAL} MIN. [w/mk]
Ladrillo caravista	3,3	0,03960	0,55	0,9933	1,4219	0,777
Lana mineral	10,2	0,00059	0,032	1,0009	1,0022	0,0321
Ladrillo doble hueco	18,8	0,00203	0,29	1,0088	0,9862	0,289
Enlucido de yeso interior	19,0	0,00246	0,57	1,0090	1,0035	0,577

(*) Valor declarado para condición Ib

$$R_{T IDEAL favorable} = 0,17 + \frac{0,115}{0,777} + \frac{0,06}{0,0321} + \frac{0,07}{0,289} + \frac{0,015}{0,577} = 2,455$$

Tabla VI.14.- Valores de conductividad ideales de diseño para las condiciones más desfavorables (máximas temperaturas y máximo contenido de humedad) en base a UNE-EN ISO 10456:2012.

Condiciones de trabajo	T _{max}	W _{max} [m ³ /m ³]	λ (*) [w/mk]	F _{T max}	F _{M max}	λ _{DISEÑO IDEAL} MAX. [w/mk]
Ladrillo caravista	25,1	0,15900	0,55	1,0152	4,6927	2,620
Lana mineral	21,3	0,00032	0,032	1,0534	1,0011	0,0337
Ladrillo doble hueco	20,6	0,00455	0,29	1,0107	1,0114	0,296
Enlucido de yeso interior	20,2	0,00187	0,57	1,0103	1,0011	0,576

(*) Valor declarado para condición Ib

$$R_{T \text{ IDEAL desfavorable}} = 0,17 + \frac{0,115}{2,620} + \frac{0,06}{0,0337} + \frac{0,07}{0,296} + \frac{0,015}{0,576} = 2,257$$

Obviamente, en ningún momento se alcanzan tales extremos, ya que se proponen situaciones que no se dan simultáneamente. En consecuencia, es difícil estimar el momento más crítico para el cerramiento: sería necesario en cada momento estimar la influencia de ambos parámetros en la conductividad del conjunto del cerramiento, capacidad que no posee la herramienta informática utilizada para éste cálculo. Puede adoptarse en su lugar, como reflejo de las condiciones medias de resistencia térmica del cerramiento, el valor medio de los dos extremos anteriormente calculados:

$$R_{T \text{ ESTIMADA MEDIA ANUAL}} = \frac{2,455+2,257}{2} = 2,356$$

La validez de esta estimación media puede evaluarse comparándola con la resistencia térmica calculada para cuatro momentos significativos del año, en los que se dan condiciones extremas en al menos, uno de los dos parámetros en juego (temperatura y contenido de humedad):

- Máxima temperatura exterior (coincidente con bajos contenidos de humedad).
- Mínimo contenido de humedad (coincidente con altas temperaturas).
- Máximo contenido de humedad (coincidente con bajas temperaturas).
- Mínima temperatura exterior (coincidente con altos contenidos de humedad).

En las cuatro combinaciones posibles, el parámetro extremo se ve en parte compensado por el segundo parámetro, por lo que se presentan dos condiciones ligeramente favorables y dos ligeramente desfavorables.

Identificados los momentos en los que se dan las condiciones anteriores, se analiza la temperatura (T₂) y contenido de humedad (Ψ₂) en los materiales en dichos momentos, con objeto de calcular los valores F_M y F_T que modifican la conductividad de los materiales en tales situaciones.

Tabla VI.15.- Condiciones higrotérmicas obtenidas en cada material en la situación de máxima y mínima temperatura exterior, según simulación numérica EN 15026:2007 (CEN, 2007).

Componente	Condiciones extremas tras llegar a situación estacionaria (Bilbao)			
	T _{max}		T _{min}	
	T [°C]	u [m ³ /m ³]	T [°C]	u [m ³ /m ³]
Ladrillo caravista	25,1	0,0547	3,3	0,0686
Aislante térmico lana mineral	21,3	0,0008	10,2	0,0003
Ladrillo doble hueco	20,6	0,0174	18,8	0,0051
Enlucido de yeso interior	20,2	0,0023	19,0	0,0019

Tabla VI.16.- Rango de valores de diseño para las condiciones de temperatura extrema, en base a UNE-EN ISO 10456:2012.

Condiciones de trabajo	λ (*) [w/mk]	F _{T Tmax}	F _{M Tmax}	F _{T Tmin}	F _{M Tmin}	Rango λ _{DISEÑO} [w/mk]
Ladrillo caravista	0,55	1,0152	1,6537	0,9933	1,9003	0,923 a 1,038
Lana mineral	0,032	1,0533	1,0030	1,0009	1,0010	0,0338 a 0,0320
Ladrillo doble hueco	0,29	1,0107	1,1500	1,0088	1,0169	0,337 a 0,297
Enlucido de yeso interior	0,57	1,0103	1,0028	1,0090	1,0012	0,577 a 0,576

(*) Valor declarado para condición Ib

$$R_{T \text{ máxima } T} = 0,17 + \frac{0,115}{0,923} + \frac{0,06}{0,0338} + \frac{0,07}{0,337} + \frac{0,015}{0,577} = 2,303$$

$$R_{T \text{ mínima } T} = 0,17 + \frac{0,115}{1,038} + \frac{0,06}{0,0320} + \frac{0,07}{0,297} + \frac{0,015}{0,576} = 2,418$$

Tabla VI.17.- Condiciones higrótérmicas obtenidas en cada material del cerramiento en la situación de máximo y mínimo contenido de humedad global, según simulación numérica EN 15026:2007 (CEN, 2007).

Componente	Condiciones extremas tras llegar a situación estacionaria (Bilbao)			
	U _{max}		U _{min}	
	T [°C]	u [m ³ /m ³]	T [°C]	u [m ³ /m ³]
Ladrillo caravista	7,23	0,15900	27,9	0,03960
Aislante térmico lana mineral	12,4	0,00032	21,7	0,00059
Ladrillo doble hueco	19,1	0,00455	20,5	0,00203
Enlucido de yeso interior	19,2	0,00187	20,1	0,00246

Tabla VI.18.- Rango de valores de diseño para las condiciones de contenido de humedad extremo, en base a UNE-EN ISO 10456:2012.

Condiciones de trabajo	λ (*) [w/mk]	F _{T Umax}	F _{M Umax}	F _{T Umin}	F _{M Umin}	Rango λ _{DISEÑO} [w/mk]
Ladrillo caravista	0,55	0,9972	4,6927	1,0181	1,4219	2,574 a 0,796
Lana mineral	0,032	1,0111	1,0011	1,0553	1,0022	0,0324 a 0,0338
Ladrillo doble hueco	0,29	1,0091	1,0114	1,0106	0,9862	0,296 a 0,289
Enlucido de yeso interior	0,57	1,0092	1,0011	1,0102	1,0035	0,576 a 0,578

(*) Valor de diseño para condición Ib

$$R_{T \text{ máxima } U} = 0,17 + \frac{0,115}{2,574} + \frac{0,06}{0,0324} + \frac{0,07}{0,296} + \frac{0,015}{0,576} = 2,329$$

$$R_{T \text{ mínima } U} = 0,17 + \frac{0,115}{0,796} + \frac{0,06}{0,0338} + \frac{0,07}{0,289} + \frac{0,015}{0,578} = 2,358$$

Lógicamente, los valores de resistencia térmica del cerramiento en los cuatro momentos puntuales analizados, se sitúan dentro del rango definido por las condiciones extremas ideales anteriormente presentadas (2,257 a 2,455 m²K/w). Si se promedian los resultados de las cuatro situaciones calculadas (dos favorables y dos desfavorables), se obtiene el siguiente resultado:

$$R_{T \text{ PROMEDIO}} = \frac{2,303+2,418+2,329+2,358}{4} = 2,352$$

El resultado es muy similar al estimado simplemente promediando los valores extremos ideales de comportamiento (2,356 m²K/w), por lo que se determina la validez de cualquiera de las aproximaciones planteadas.

Conocidos los resultados de la simulación numérica, puede ya valorarse la validez del método presentado, su grado de adecuación y la mejora introducida respecto al cálculo definido por las condiciones de diseño del CTE.

Para ello se comparan las aproximaciones indicadas en los puntos VI.6.1 y VI.6.2 con los resultados obtenidos mediante la simulación numérica, comprobándose la evidente mejora introducida por el método propuesto en la definición de unas condiciones de diseño realistas y prestacionales en nuestro país, mediante un método funcional y analítico:

Tabla VI.19.- Rango de valores de diseño para las condiciones de contenido de humedad extremo, en base a UNE-EN ISO 10456:2012.

Comparación de métodos de cálculo para la ciudad de Bilbao				
R_T SIMULACIÓN	R_T MÉTODO PROPUESTO	Aproximación	R_T CTE (*)	Aproximación
2,356	2,450	(+4,0%)	2,522	(+7,0%)

(*) Valor de diseño para condición de valor declarado Ib

La metodología propuesta, permite para la ciudad de Bilbao, reducir el error cometido por la estimación basada según CTE en un 43,4%, permitiendo un cálculo más aproximado a las condiciones reales en el cerramiento.

Cuanto más cercano sea el método de estimación propuesto a las condiciones climáticas reales del emplazamiento, mejores serán las prestaciones estimadas para el cerramiento, mayor la optimización de su diseño térmico y menor la diferencia entre los consumos energéticos reales y los previstos por el cálculo para la climatización del edificio.

Así pues, en definitiva el método presentado supone una mejor aproximación a las condiciones reales de servicio de los edificios, todo ello con una muy limitada complicación del cálculo a realizar: Aplicar un factor corrector sobre los valores de conductividad de diseño utilizados como punto de partida por el CTE o sobre los valores declarados por los fabricantes en condiciones Ia.

Para lograr este objetivo, lógicamente ha sido necesario asumir ciertas simplificaciones que como resultado impiden obtener un resultado de cálculo totalmente

realista y preciso. Las diferencias entre la aproximación obtenida y los resultados numéricos se deben a diversos factores, de difícil aproximación analítica y difícil inclusión en un método con la simplicidad que se ha pretendido:

- Simplificaciones del método:
 - Simplificación durante la adopción de los coeficientes de corrección f_i y f_{ψ} .
 - Simplificación en la estimación del contenido de humedad en el cerramiento Ψ_2 : Suposición de curva de sorción lineal hasta w_{80} ; ponderación aproximada del valor w_{80} ; suposición de curva de sorción independiente de la temperatura.
 - En general, caracterización general del “cerramiento”, en lugar de la caracterización individual de cada material.
- Aspectos no considerados en el método, si incluidos por la simulación.
 - Calentamiento debido a la radiación solar [w/m^2]
 - Adsorción de agua por lluvia batiente [mm/h]

VI.6.3.1.- Resultados numéricos y validación del método propuesto en otras climatologías o ciudades españolas

Adicionalmente al cálculo numérico realizado para la ciudad de Bilbao, el mismo se ha extendido también para las ciudades de Madrid y Palma, caracterizadas por clasificaciones climáticas diferentes a las de Bilbao, como ya se ha expuesto anteriormente.

Los resultados presentados para cada una de las dos ciudades siguen el mismo formato anterior, utilizado para la ciudad de Bilbao:

Tabla VI.20.- Rangos de variación entre condiciones extremas de trabajo de cada material (no simultáneas), para ejemplo de cerramiento situado en Madrid.

Rangos extremos de trabajo				
Componente	T_{max}	T_{min}	W_{max} [m^3/m^3]	W_{min} [m^3/m^3]
Ladrillo caravista	32,6	1,47	0,01440	0,00332
Lana mineral	23,8	11,1	0,00019	0,00006
Ladrillo doble hueco	21,0	17,5	0,00412	0,00497
Enlucido de yeso interior	20,3	19,0	0,00174	0,00174

(*) Condiciones de humedecimiento a 23°C y 50% de humedad relativa.

Tabla VI.21.- Valores de conductividad ideales de diseño para las condiciones más favorables (mínimas temperaturas y mínimo contenido de humedad) en base a UNE-EN ISO 10456:2012.

Condiciones de trabajo	T_{min}	w_{min}	λ (*)	$F_{T_{min}}$	$F_{M_{min}}$	$\lambda_{DISEÑO IDEAL}$
------------------------	-----------	-----------	---------------	---------------	---------------	--------------------------

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

		$[\text{m}^3/\text{m}^3]$	$[\text{w/mk}]$			MIN. $[\text{w/mk}]$
Ladrillo caravista	1,47	0,00332	0,55	0,9915	0,9893	0,539
Lana mineral	11,1	0,00006	0,032	1,0051	1,0000	0,0322
Ladrillo doble hueco	17,5	0,00497	0,29	1,0078	1,0156	0,297
Enlucido de yeso interior	19,0	0,00174	0,57	1,0090	1,0006	0,575

(*) Valor declarado para condición Ib

$$R_{T \text{ IDEAL favorable}} = 0,17 + \frac{0,115}{0,539} + \frac{0,06}{0,0322} + \frac{0,07}{0,297} + \frac{0,015}{0,575} = 2,508$$

Tabla VI.22.- Valores de conductividad ideales de diseño para las condiciones más desfavorables (máximas temperaturas y máximo contenido de humedad) en base a UNE-EN ISO 10456:2012.

Condiciones de trabajo	T_{max}	W_{max} $[\text{m}^3/\text{m}^3]$	λ (*) $[\text{w/mk}]$	$F_{T \text{ max}}$	$F_{M \text{ max}}$	$\lambda_{\text{DISEÑO IDEAL}}$ MIN. $[\text{w/mk}]$
Ladrillo caravista	32,6	0,01440	0,55	1,0228	1,1052	0,622
Lana mineral	23,8	0,00019	0,032	1,0655	1,0006	0,0341
Ladrillo doble hueco	21,0	0,00412	0,29	1,0111	1,0070	0,295
Enlucido de yeso interior	20,3	0,00174	0,57	1,0104	1,0006	0,576

(*) Valor declarado para condición Ib

$$R_{T \text{ IDEAL desfavorable}} = 0,17 + \frac{0,115}{0,622} + \frac{0,06}{0,0341} + \frac{0,07}{0,295} + \frac{0,015}{0,576} = 2,378$$

Puede adoptarse como valor medio anual, el valor medio de los dos extremos anteriormente calculados:

$$R_{T \text{ ESTIMADA MEDIA ANUAL}} = \frac{2,508+2,378}{2} = 2,443$$

Los resultados presentados y su comparación con los obtenidos mediante el método propuesto y las condiciones de diseño del CTE, validan como en el caso anterior, la mejor caracterización establecida por la metodología propuesta:

Tabla VI.23.- Rango de valores de diseño para las condiciones de contenido de humedad extremo, en base a UNE-EN ISO 10456:2012.

Comparación de métodos de cálculo para la ciudad de Madrid				
$R_{T \text{ SIMULACIÓN}}$	$R_{T \text{ MÉTODO PROPUESTO}}$	Aproximación	$R_{T \text{ CTE (*)}}$	Aproximación
2,443	2,475	(+1,3%)	2,522	(+3,2%)

(*) Valor de diseño para condición Ib

La metodología propuesta, permite para la ciudad de Madrid, reducir el error cometido por la estimación basada según CTE en un 59,5%, permitiendo un cálculo más aproximado a las condiciones reales en el cerramiento.

Si se analizan los resultados para la ciudad de Palma, se obtiene igualmente una mejor aproximación que la determinada según los parámetros propuestos por el CTE:

Tabla VI.24.- Rangos de variación entre condiciones extremas de trabajo de cada material (no simultáneas), para ejemplo de cerramiento situado en Palma.

Rangos extremos de trabajo				
Componente	T _{max}	T _{min}	W _{max} [m ³ /m ³]	W _{min} [m ³ /m ³]
Ladrillo caravista	31,5	3,67	0,04220	0,01570
Lana mineral	25,6	11,4	0,00022	0,00024
Ladrillo doble hueco	21,9	17,4	0,00444	0,00508
Enlucido de yeso interior	20,8	19,0	0,00173	0,00180

(*) Condiciones de humedecimiento a 23°C y 50% de humedad relativa.

Tabla VI.25.- Valores de conductividad ideales de diseño para las condiciones más favorables (mínimas temperaturas y mínimo contenido de humedad) en base a UNE-EN ISO 10456:2012.

Condiciones de trabajo	T _{min}	W _{min} [m ³ /m ³]	λ (*) [w/mk]	F _{T min}	F _{M min}	λ _{DISEÑO IDEAL} MIN. [w/mk]
Ladrillo caravista	3,67	0,01570	0,55	0,9937	1,1196	0,612
Lana mineral	11,4	0,00024	0,032	1,0006	1,0008	0,0320
Ladrillo doble hueco	17,4	0,00508	0,29	1,0074	1,0167	0,297
Enlucido de yeso interior	19,0	0,00180	0,57	1,0090	1,0008	0,576

(*) Valor declarado para condición Ib

$$R_{T IDEAL favorable} = 0,17 + \frac{0,115}{0,612} + \frac{0,06}{0,0320} + \frac{0,07}{0,297} + \frac{0,015}{0,576} = 2,495$$

Tabla VI.26.- Valores de conductividad ideales de diseño para las condiciones más desfavorables (máximas temperaturas y máximo contenido de humedad) en base a UNE-EN ISO 10456:2012.

Condiciones de trabajo	T _{max}	W _{max} [m ³ /m ³]	λ (*) [w/mk]	F _{T max}	F _{M max}	λ _{DISEÑO IDEAL} MIN. [w/mk]
Ladrillo caravista	31,5	0,04220	0,55	1,0217	1,4594	0,820
Lana mineral	25,6	0,00022	0,032	1,0744	1,0007	0,0344
Ladrillo doble hueco	21,9	0,00444	0,29	1,0120	1,0103	0,297
Enlucido de yeso interior	20,8	0,00173	0,57	1,0109	1,0006	0,577

(*) Valor declarado para condición Ib

$$R_{T IDEAL desfavorable} = 0,17 + \frac{0,115}{0,820} + \frac{0,06}{0,0344} + \frac{0,07}{0,297} + \frac{0,015}{0,577} = 2,316$$

Puede adoptarse como valor medio anual, el valor medio de los dos extremos anteriormente calculados:

$$R_{T ESTIMADA MEDIA ANUAL} = \frac{2,495+2,316}{2} = 2,406$$

Los resultados presentados y su comparación con los obtenidos mediante el método propuesto y las condiciones de diseño del CTE, validan como en el caso anterior, la mejor caracterización establecida por la metodología propuesta:

Tabla VI.27.- Rango de valores de diseño para las condiciones de contenido de humedad extremo, en base a UNE-EN ISO 10456:2012.

Comparación de métodos de cálculo para la ciudad de Palma				
R_T SIMULACIÓN	R_T MÉTODO PROPUESTO	Aproximación	R_T CTE (*)	Aproximación
2,406	2,421	(+0,6%)	2,522	(+4,8%)

(*) Valor de diseño para condición Ib

La metodología propuesta, permite para la ciudad de Madrid, reducir el error cometido por la estimación basada según CTE en un 87,1%, permitiendo un cálculo más aproximado a las condiciones reales en el cerramiento.

A continuación se ilustra el cálculo referido a una localidad diferente de una capital de provincia. Así para una hipotética localidad mallorquina, situada a 225 m sobre el nivel de Palma, el cálculo aproximado sería similar al de la capital de provincia, con la salvedad de precisar su multiplicación por un segundo coeficiente corrector, igualmente indicado en las tablas VI.6 y VI.7 resumen del método propuesto ($0,9965^{(DES\ NIVEL(m)/100)}$):

Tabla VI.28.- Adaptación de los parámetros de ajuste para una localidad diferente de cualquier capital de provincia.

Localidad genérica +225m	$\lambda_{CTE}^{(*)}$ [w/mk]	F_{CORRECTOR}	F_{ALTITUD}	$\lambda_{DISEÑO}$ [w/mk]
Ladrillo caravista	0,55	1,03738	0,99214	0,566074
Aislamiento térmico lana mineral	0,032	1,03738	0,99214	0,032935
Ladrillo doble hueco	0,29	1,03738	0,99214	0,298476
Enlucido de yeso interior	0,57	1,03738	0,99214	0,586659

$$R_{T \text{ aprox. localidad}} = 0,17 + \frac{0,115}{0,571} + \frac{0,06}{0,0332} + \frac{0,07}{0,301} + \frac{0,015}{0,591} = 2,437 < 2,421$$

Tal y como se aprecia, la mayor altitud del emplazamiento reduce ligeramente la resistencia térmica en el cerramiento, al condicionar una mayor humedad relativa a pesar de la menor temperatura.

Ha de recordarse que aunque esta aproximación a emplazamientos diferentes a la capital de provincia se basa en los procedimientos indicados en el BD-HE 1 del CTE, el cálculo puede efectuarse también de forma más precisa a través de la herramienta informática propuesta, si se conocen los datos de temperatura media anual y humedad relativa media anual presentes en el emplazamiento concreto.

Una recopilación de los resultados comparativos que se han ido elaborando para las anteriores ciudades se muestra en la figura VI.16 siguiente, donde puede

apreciarse gráficamente el considerable incremento de precisión que el método aporta a la estimación de la resistencia térmica en el cerramiento y que redundaría en la posibilidad de efectuar diseños térmicos de los cerramientos de nuestros edificios más precisos.

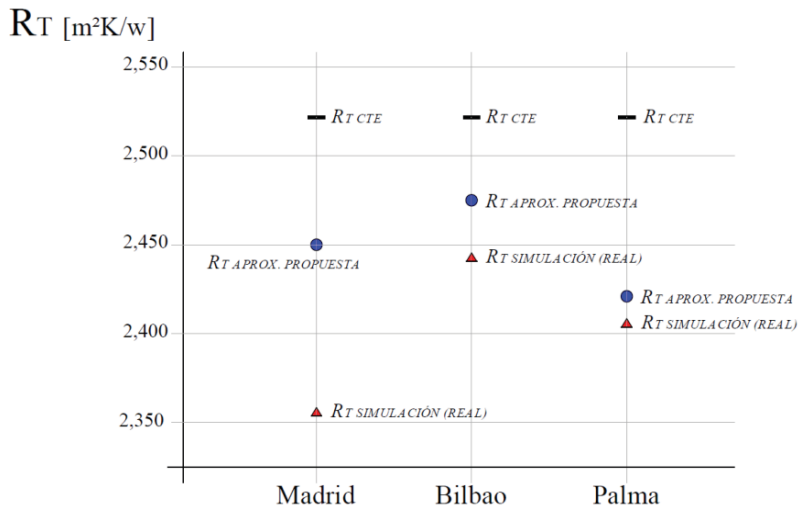


Figura VI.19.- Comparación de cálculo de resistencia térmica del cerramiento entre los tres métodos analizados. La aproximación propuesta no solo mejora notablemente la validez de la estimación, sino que se relaciona prestacionalmente con las condiciones ambientales del emplazamiento.

VI.7.- COMENTARIO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Los emplazamientos que precisan un mayor ajuste corrector respecto de las condiciones estimadas por el CTE para la conductividad de los cerramientos, se localizarán en buena lógica en emplazamientos caracterizados por elevadas temperaturas y humedades relativas.

Del análisis de la tabla de resultados previa se desprende que emplazamientos tales como Las Palmas, Tenerife, Melilla, Cádiz, Huelva, Almería, Sevilla o Málaga, son en los que el ajuste a realizar tiene una mayor magnitud (el máximo se localiza en Las Palmas, con un coeficiente corrector igual a 1,04337).

La presencia de elevadas temperaturas características de estos núcleos de población, aunadas a una singular humedad relativa debida a la proximidad al mar, hace que estos emplazamientos requieran una mayor corrección, lo que representa que en estos lugares, el cálculo actual es sensiblemente inexacto, utilizando valores de conductividad para los materiales infravalorados en más de un 4%.

En una situación opuesta se sitúan emplazamientos como Ávila, Soria, Burgos, León, Teruel o Salamanca, donde las bajas temperaturas y escasa humedad relativa hacen que los parámetros adoptados por el CTE sean menos inexactos. Aún así, en el emplazamiento español con menor necesidad de ajuste (Ávila), este solo asciende a 1,0235, indicando igualmente un valor de conductividad infravalorado en más de un 2%.

En un término medio de corrección se sitúan emplazamientos caracterizados por altas temperatura y bajas humedades relativas, por altas humedades relativas y bajas temperaturas o por valores moderados de ambas magnitudes. Tal es el caso de ciudades como Gerona, Toledo o Santander, con desfases que oscilan en torno al 3% de media.

La desviación porcentual entre la conductividad de diseño del CTE y la conductividad prestacional propuesta por este trabajo, se muestra en el mapa A recogido en el Anejo A.3, donde el valor porcentual de desfase coincide con el factor corrector que es necesario aplicar a las conductividades marcadas por el Catálogo de Elementos Constructivos, para obtener análisis térmicos más realistas.

Estos coeficientes de corrección indicados en el citado mapa representan una importante mejora, fácilmente incluíble en el actual articulado del CTE, que mejoraría substancialmente la prestacionalidad y precisión del mismo. La ampliación del mapa elaborado a otros puntos del país, utilizando para ello datos climáticos recopilados en emplazamientos diferentes a las capitales de provincia, constituye una futura línea de trabajo a realizar por el Área de Ingeniería de la Construcción en colaboración con la Agencia estatal de Meteorología AEMET.

Se deduce los anteriores resultados, que en todos los emplazamientos españoles los cálculos térmicos se están realizando actualmente de una forma sensiblemente optimista, al considerar valores de resistencia térmica en los cerramientos superiores a los que realmente tienen. Ello repercute en consumos energéticos más elevados de lo previsto en toda la península y en un insuficiente diseño de los cerramientos en nuestros edificios, para ajustarse a los requisitos normativos actuales.

Aunque es cierto que los métodos de estimación del comportamiento térmico del edificio han avanzado con gran velocidad en los últimos años, por la inclusión de herramientas informáticas de simulación numérica o la validación mediante herramientas

tales como LIDER (Lider, 2012) o CALENER (Calener, 2012), si los valores de partida utilizados por estas herramientas no son adecuadas (como una conductividad no prestacional, como la determinada por los parámetros fijados por el CTE), sus estimaciones carecerán igualmente de precisión y prestacionalidad por muy elevada que sea su precisión.

Si por otro lado se analiza la corrección necesaria sobre la conductividad de los materiales en comparación con las condiciones declaradas por los fabricantes para los materiales (habitualmente condiciones secas a 10°C), la magnitud de la corrección necesaria es aún mayor.

Dado que estas condiciones declaradas se realizan sobre la conductividad del material en total ausencia de humedad en su interior, lógicamente en este ajuste se incluye íntegro el ajuste debido a la consideración de humedad en los cerramientos. De ahí que la magnitud del ajuste sea superior. Éste oscila entre 1,05079 para Ávila, hasta 1,07119 en Las Palmas (5 a 7,1% respectivamente).

La desviación porcentual entre la conductividad declarada por los fabricantes y la conductividad prestacional propuesta por este trabajo, se muestra en el mapa B recogido en el Anejo A.3, donde el valor porcentual de desfase coincide con el factor corrector que es necesario aplicar a las conductividades habitualmente presentes en algunos catálogos comerciales elaborados por fabricantes de productos de la construcción, para obtener análisis térmicos más realistas.

En términos particulares y absolutos, ninguna de estas inexactitudes detectadas y minimizadas mediante el método propuesto, representan una variación decisiva de las condiciones de conductividad de la envolvente de la vivienda.

Un ajuste del 1,0326 de media en las capitales de provincia españolas, se traduce en que las prestaciones térmicas de las fachadas de los edificios se están sobrestimando en torno a un 3,26% (un 4,33% en las Palmas y un 2,35% en Ávila). Ninguno de estos valores representan una afección significativa que no pueda ser superada por las prestaciones de las instalaciones de climatización con que cuentan las viviendas actualmente.

No obstante, en términos absolutos, su repercusión en el consumo energético nacional sí es muy relevante, si se tiene en cuenta que el 15% del consumo energético anual total de nuestro país, 142.070 ktep en 2008 (Aranda et al, 2010), se destina exclusivamente al sector residencial y que un 70% de dicho consumo energético se destina a usos térmicos de acondicionamiento para el edificio.

Un ahorro energético de un 3% en las edificaciones españolas (simplificando la estimación), puede suponer un ahorro anual cercano a 450 ktep, un 0,31% del consumo energético nacional anual y el equivalente al consumo energético anual total de más de 430.000 viviendas (supuesto un consumo anual en cada una de ellas de 1,047 tep (Aranda et al., 2010)). El incremento de la precisión del método o la utilización de coeficientes correctores conservadores, podrían llegar a doblar incluso este ahorro energético (véase la figura VI.19).

El error cometido es tanto más flagrante cuanto más simple es su corrección o minimización: la adopción de los anteriores valores correctores prestacionales o en su

defecto, de unas condiciones para la determinación de la conductividad, conservadores para todo el país, sería suficiente para evitar el despilfarro energético y económico que actualmente se está produciendo.

Adoptando valores de conductividad más realistas para los materiales, acordes a su comportamiento efectivo en condiciones reales, el cálculo térmico estimaría con precisión el comportamiento térmico de los edificios, determinando un espesor de aislamiento más realista que el actual.

De este modo, el consumo energético en los edificios sería el inicialmente previsto y no el derivado de la mayor demanda de acondicionamiento sobre las instalaciones de calefacción y refrigeración.

La ausencia de un seguimiento del consumo energético en los edificios tras su ejecución, la no comprobación de las prestaciones térmicas definidas en proyecto y la incidencia de otros parámetros en este cómputo (régimen de ventilación de las viviendas, temperatura interior definida por el usuario, ganancias solares, calidad de los elementos de carpintería y acristalamiento...), hacen que este desajuste que se presenta haya pasado inadvertido o haya sido obviado.

En todo caso, reducir en más de un 3-4% el consumo energético de los edificios, simplemente realizando la multiplicación propuesta y adoptando el diseño prestacional derivado de dicho cálculo, no debe ser considerado como una cuestión baladí en términos absolutos. Más cuando el método propuesto incrementa la prestacionalidad normativa de dicho cálculo eliminando una estimación (la de la $\lambda_{\text{DISEÑO}}$ del CTE), a todas luces demasiado optimista y aplicada de forma arbitraria.

Varias pueden ser las estrategias para implantar esta metodología prestacional en el cálculo térmico de edificaciones en España:

- Aplicar un coeficiente corrector genérico y universal a sobre los valores de conductividad referidos en base a las condiciones del CTE, que debería ser igual al menos a 1.0434 (+4,34%), para garantizar que se está del lado de la seguridad en todas las capitales de provincia españolas.
- Aplicar coeficientes correctores adaptados a cada emplazamiento o zonificados según determinados intervalos de aplicación, a esos mismos valores de conductividad referidos en base a las condiciones del CTE. Para ello pueden utilizarse los mapas A y B recogidos en el Anejo A.3 de este documento, que serán en el futuro ampliados para un mayor número de emplazamientos.
- Definir unas nuevas condiciones para los valores de diseño en el CTE, diferentes de una temperatura de 10°C y contenido de humedad en equilibrio a 23°C y 50% de humedad relativa. Como se ha visto, tales condiciones conllevan una importante minoración de las propiedades térmicas reales de nuestras fachadas. A este respecto se recomienda utilizar una temperatura de referencia de 20 °C y un contenido de humedad en equilibrio a 23 °C y humedad relativa del 62% (condiciones identificadas en la capital de provincia de mayor desfase, Las Palmas).
- Establecer herramientas informáticas homologadas, capaces, en interacción con otras ya implantadas como LIDER, CALENER, CYPE... de adoptar valores de conductividad de partida adaptados a las condiciones climáticas del emplazamiento considerado y con ello, de realizar cálculos con una precisión optimizada.

Del mismo modo, es necesario eliminar la incertidumbre generada por la indefinición de las condiciones de referencia para la presentación de los valores de conductividad en España.

La posibilidad del fabricante de definir la conductividad de los materiales en base a 4 grupos de condiciones (Ia, Ib, IIa, IIb) y la utilización frecuente por parte de los profesionales de valores de conductividad directamente extraídos de catálogos comerciales no referidos a las condiciones de diseño del CTE, lleva a importantes errores que pasan inadvertidos durante la redacción del proyecto de edificación.

Dado que los valores térmicos de los materiales (un número reducido de ellos y en una configuración genérica), se encuentran en el Catálogo de Elementos Constructivos (documento que no es de obligado cumplimiento), el profesional se ve tentado de recurrir a valores de catálogo, en la convicción de que el fabricante está dando valores más precisos de su producto de los que el CEC puede recopilar en su configuración generalista.

Además de modificando las condiciones de referencia recogidas en el CTE, para corregir esta situación de utilización errónea de valores de conductividad, existirían diversas alternativas que el ente legislador haría bien en considerar:

- Incluir los valores de conductividad a aplicar para los materiales dentro del cuerpo del CTE (lo que por el contrario implicaría también una necesaria reducción de las opciones disponibles y una limitación de la prestacionalidad del código y de la posibilidad de innovación, en contra de su pretensión original).
- Dar a los valores de conductividad recopilados en el CEC el carácter de obligado cumplimiento y utilización, lo que vendría a producir un efecto similar.
- Obligar a los fabricantes a especificar claramente en sus catálogos ambos valores de conductividad (la declarada, de acuerdo a las normas europeas de certificación de productos y la de diseño, según las condiciones que estimase el CTE o se determinaran según alguna de las propuestas indicadas en la página anterior), especificando que estos últimos son los que han de ser obligatoriamente utilizados para el proyecto y simulación edificatorias.

En tanto en cuanto estas medidas no sean adoptadas, el cálculo térmico en los edificios españoles seguirá incurriendo en un error de bulto que minora el ahorro energético producido a pesar de las crecientes y más restrictivas regulaciones y exigencias en la materia.

Por otra parte, la imprecisión cometida repercute igualmente en otro aspecto de forma indirecta, que también repercute en un mayor coste económico asociado a reparaciones y mantenimiento:

Dado que las condiciones de resistencia térmica del cerramiento son inferiores a las esperadas, también son mayores las posibilidades de aparición de condensaciones superficiales e intersticiales en el mismo, parámetros que en consecuencia tampoco se está evaluando adecuadamente en la actualidad.

La comprobación de las condensaciones superficiales, en la actualidad depende enteramente de la transmitancia térmica U y por lo tanto de la resistencia térmica total R_T a través de la siguiente expresión:

$$f_{Rsi} = 1 - 0,25 \cdot U = 1 - 0,25 \cdot \frac{1}{R_T}$$

Una menor resistencia térmica en condiciones reales de utilización, que como se ha demostrado se produce en cualquier emplazamiento español, redonda en un menor factor de temperatura interior f_{Rsi} y por ende, en unas condiciones más propicias en el cerramiento para la aparición de síndromes por condensación superficial, que actualmente no se evalúan con una precisión óptima.

Por último, todas las anteriores conclusiones vienen a refrendar la necesidad de no evitar la presencia de humedades elevadas sobre los materiales aislantes térmicos, si quiere garantizarse la adecuada prestacionalidad térmica del cerramiento.

Por ello, dada la reducción de estas prestaciones identificada y su repercusión en el consumo energético nacional, resulta inaceptable que actualmente los elementos de mayor influencia en el ahorro energético de las envolventes edificatorias (materiales aislantes térmicos), se encuentren afectados por severas exposiciones a la humedad que incrementan decisivamente su conductividad.

La utilización de los materiales aislantes térmicos por parte del DB-HS1 como barreras frente a la penetración de agua líquida a través del cerramiento, carece por lo tanto de toda lógica, cuando además el DB-HE1 también prohíbe taxativamente que se puedan producir condensaciones intersticiales sobre estos materiales.

Los importantes aumentos puntuales de conductividad que se producen como consecuencia de esta utilización deben ser eliminados mediante el cambio urgente de la regulación normativa actual (DB-HS1).

Un cumplimiento simultáneo de todas las prestaciones exigidas en diferentes documentos del CTE, debe implicar por lo tanto mantener estos materiales aislantes térmicos en unas condiciones de máxima ausencia de humedad, lo que no puede obtenerse si son empleados para garantizar la ausencia de penetración en caso de lluvia batiente sobre el cerramiento vertical.

VI.8.- BIBLIOGRAFÍA Y APÉNDICES

- AENOR UNE-EN ISO 10456:2001. *Materiales y productos para la edificación. Procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño.*
- AENOR UNE-EN ISO 10456:2012. *Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño.*
- AENOR UNE-EN ISO 12571:2000. *Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios. Determinación de las propiedades de sorción higroscópica.*
- Aranda A, Zabalza I, Díaz S, Llera E. 2010. *Eficiencia energética en instalaciones y equipamiento de edificios.* Pressas universitarias de Zaragoza. ISBN: 978-92774-96-8.
- Burch D.M, Thomas W.C. Fanney A.H. 1992. *Water vapor permeability measurements of common building materials*, In: ASHRAE Transactions, No. 98, Vol. 2, 1992.
- Burch D.M, Chi J. 1997. *MOIST. A PC program for predicting heat and moisture transfer in building envelopes*, In: NIST Special Publication 917, Gaithersburg. MD: National Institute of Standards and Technology, 1997.
- CALENER. 2012. *Certificación de Eficiencia Energética. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. IDAE. Secretaría general de vivienda.* <<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/certificacionenergetica/programacalener/paginas/documentosreconocidos.aspx>> [Consulta: 3 de junio de 2012]
- CEN EN 15026:2007. *Comportamiento higrotérmico de componentes de edificios y elementos constructivos. Evaluación de la transferencia de humedad mediante simulación numérica.*
- España. Ministerio de Vivienda. 2006. *Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.*
- Gómez, I. 2006. *Caracterización higroscópica de materiales de construcción: Arcilla aligerada y picón.* Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones de Bilbao. Universidad del País Vasco.
- Instituto Geográfico Nacional. 2005. *Atlas Nacional de España. Grupo 9. II Edición. Climatología.* <www2.ign.es/ane/ane1986-2008/> [Consulta: 04 de julio de 2011]
- Künzel, H.M. 1995. *Simultaneous heat and moisture transport in building components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters.* Stuttgart, GER: Fraunhofer IRB Verlag. ISBN 3-8167-4103-7.
- Krus, M. 1996. *Moisture transport and storage coefficients of porous mineral building materials. Theoretical principles and new test methods.* Stuttgart, GER: Fraunhofer IRB Verlag. ISBN 3-8167-4535-0.
- Kumaran M.K. 1994. *Moisture Control in Buildings.* In: ASTM Manual Series, Heinz R. Trechsel Editorial Series.
- Kumaran M.K.. 1996. *Heat, Air and Moisture Transport in Envelope Parts. Final 22 Report.* Leuven, BEL: Task 3 Material Properties, Internal report, IEA. ECBCS.
- LIDER. 2012. Programa LIDER Código Técnico de la Edificación. M. de Fomento. <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto_0002.html> [Consulta: 3 de junio de 2012]

Ministerio de Fomento. 2010. Catálogo de elementos constructivos del CTE. V2.0. Actualización: diciembre 2010. *Aplicación informática en base de datos formato FIDE*. <<http://www.elementosconstructivos.codigotecnico.org/>> (Consulta 10 de febrero de 2011).

WUFI. 2012a. *Wärme und Feuchte instationär. Moisture Transport In Building Materials. Computer Simulation with the WUFI Model. Overview of WUFI* <<http://www.wufi.de/>> [Consulta: 3 de junio de 2012]

WUFI. 2012b. *Wärme und Feuchte instationär. Moisture Transport In Building Materials. Computer Simulation with the WUFI Model. WUFI Material Parameters and Moisture Storage Function* <<http://www.wufi.de/>> [Consulta: 3 de junio de 2012]

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla VI.1	Posible aproximación al factor de conversión de temperatura según norma UNE-EN ISO 10456:2012 para tres emplazamiento españoles. Estimación de la temperatura de diseño.	Pág. VI.-7
Tabla VI.2	Valores del coeficiente de conversión por temperatura para productos de lana mineral (izq.) y de hormigón, arcilla cocida y mortero (der.). Representan los dos extremos de variación posible del valor. Fuente: UNE-EN ISO 10456:2012.	Pág. VI.-10
Tabla VI.3	Contribución de los materiales aislantes térmicos a la prestación térmica en diferentes configuraciones habituales de cerramiento en nuestro país.	Pág. VI.-12
Tabla VI.4	Estimación del contenido de humedad medio y más desfavorable en tres emplazamientos españoles.	Pág. VI.-14
Tabla VI.5	Determinación aproximada del valor w_{80} (expresado en volumen) para diferentes materiales, para la elección de un valor de consenso genérico y comparación de precisión para HR 55% según aproximación de Künzlel.	Pág. VI.-22
Tabla VI.6	Factor local de ajuste sobre los valores de $\lambda_{\text{DISEÑO}}$, según condiciones CTE.	Pág. VI.-30
Tabla VI.7	Factor local de ajuste sobre los valores de $\lambda_{\text{DECLARADA}}$ en condiciones secas a 10°C (Ia).	Pág. VI.-31
Tabla VI.8	Condiciones de contorno y diseño para fachada, sometida a simulación numérica según EN 15026, 2007 (CEN, 2007).	Pág. VI.-38
Tabla VI.9	Condiciones de diseño para fachada, sometida a simulación numérica según EN 15026, 2007 (CEN, 2007).	Pág. VI.-38
Tabla VI.10	Condiciones de conductividad térmica de diseño obtenidas mediante la simple aplicación de la metodología de ajuste propuesta.	Pág. VI.-40
Tabla VI.11	Condiciones de conductividad térmica de diseño obtenidos mediante la utilización de resultados intermedios tabulados de la metodología de ajuste propuesta y de la UNE-EN ISO 10456:2012.	Pág. VI.-41
Tabla VI.12	Rangos de variación entre condiciones extremas de trabajo de cada material (no simultáneas), para ejemplo de cerramiento situado en Bilbao.	Pág. VI.-43
Tabla VI.13	Valores de conductividad ideales de diseño para las condiciones más favorables (mínimas temperaturas y mínimo contenido de humedad) en base a UNE-EN ISO 10456:2012.	Pág. VI.-43

Tabla VI.14	Valores de conductividad ideales de diseño para las condiciones más desfavorables (máximas temperaturas y máximo contenido de humedad) en base a UNE-EN ISO 10456:2012.	Pág. VI.-44
Tabla VI.15	Condiciones higrotérmicas obtenidas en cada material en la situación de máxima y mínima temperatura exterior, según simulación numérica EN 15026:2007 (CEN, 2007).	Pág. VI.-45
Tabla VI.16	Rango de valores de diseño para las condiciones de temperatura extrema, en base a UNE-EN ISO 10456:2012.	Pág. VI.-45
Tabla VI.17	Condiciones higrotérmicas obtenidas en cada material del cerramiento en la situación de máximo y mínimo contenido de humedad global, según simulación numérica EN 15026:2007 (CEN, 2007).	Pág. VI.-45
Tabla VI.18	Rango de valores de diseño para las condiciones de contenido de humedad extremo, en base a UNE-EN ISO 10456:2012.	Pág. VI.-45
Tabla VI.19	Rango de valores de diseño para las condiciones de contenido de humedad extremo, en base a UNE-EN ISO 10456:2012.	Pág. VI.-46
Tabla VI.20	Rangos de variación entre condiciones extremas de trabajo de cada material (no simultáneas), para ejemplo de cerramiento situado en Madrid.	Pág. VI.-47
Tabla VI.21	Valores de conductividad ideales de diseño para las condiciones más favorables (mínimas temperaturas y mínimo contenido de humedad) en base a UNE-EN ISO 10456:2012.	Pág. VI.-48
Tabla VI.22	Valores de conductividad ideales de diseño para las condiciones más desfavorables (máximas temperaturas y máximo contenido de humedad) en base a UNE-EN ISO 10456:2012.	Pág. VI.-48
Tabla VI.23	Rango de valores de diseño para las condiciones de contenido de humedad extremo, en base a UNE-EN ISO 10456:2012.	Pág. VI.-48
Tabla VI.24	Rangos de variación entre condiciones extremas de trabajo de cada material (no simultáneas), para ejemplo de cerramiento situado en Palma.	Pág. VI.-49
Tabla VI.25	Valores de conductividad ideales de diseño para las condiciones más favorables (mínimas temperaturas y mínimo contenido de humedad) en base a UNE-EN ISO 10456:2012.	Pág. VI.-49
Tabla VI.26	Valores de conductividad ideales de diseño para las condiciones más desfavorables (máximas temperaturas y máximo contenido de humedad) en base a UNE-EN ISO 10456:2012.	Pág. VI.-49
Tabla VI.27	Rango de valores de diseño para las condiciones de contenido de humedad extremo, en base a UNE-EN ISO 10456:2012.	Pág. VI.-50
Tabla VI.28	Adaptación de los parámetros de ajuste para una localidad diferente de cualquier capital de provincia.	Pág. VI.-50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura VI.1	Valores de temperatura media anual en España. Los resultados para las tres ciudades estudiadas son muy similares a los obtenidos mediante el CTE: Madrid (12,5°C aprox.), Bilbao (12,5°C aprox.) y Palma (15°C aprox.). Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2005.	Pág. VI.-8
-------------	--	-------------------

- Figura VI.2 Valores de temperatura media en el mes de julio en España. Los resultados para las tres ciudades estudiadas son muy similares a los obtenidos mediante el CTE: Madrid (22,5°C aprox.), Bilbao (17,5°C aprox.) y Palma (25°C aprox.). Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2005. **Pág. VI.-9**
- Figura VI.3 Resumen esquemático de la aproximación planteada al valor de FT. **Pág. VI.-13**
- Figure VI.4 Valores de humedad relativa media anual en España (Madrid 62,5% aprox.; Bilbao 75%; Palma 70%). Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2005. **Pág. VI.-16**
- Figura VI.5 Curvas de sorción isoterma (kg/m³) para dos tipos de hormigón aligerado. Fuente: Künzle, 1995. **Pág. VI.-17**
- Figura VI.6 Representación típica para la absorción de agua por parte de materiales escasamente higroscópicos (ladrillo-brick), moderadamente higroscópicos (hormigón-concrete) y muy higroscópicos (madera-wood). Fuente: WUFI, 2012a. **Pág. VI.-18**
- Figura VI.7 Una temperatura menor (curva superior), modifica ligeramente la curva de sorción, aumentando el almacenamiento de humedad. Fuente: Gómez, 2006. **Pág. VI.-18**
- Figura VI.8 Ajuste obtenido a la curva de sorción mediante el modelo Künzle para enlucido de cal (izq.) y hormigón (der.). El punto de control a HR 80%, garantiza un buen ajuste de la función en su entorno. Fuente: WUFI, 2012b. **Pág. VI.-21**
- Figura VI.9 Representación del ajuste lineal propuesto para el rango de humedad relativa 55-70% de interés, a partir del valor w_{80} aportado por diversas bases de datos. **Pág. VI.-21**
- Figura VI.10 Determinación aproximada ponderada del valor w_{80} (expresado en volumen) y la aproximación lineal para la obtención del contenido de humedad a diferentes humedades relativas en el rango de estudio. **Pág. VI.-23**
- Figura VI.11 Valores del coeficiente de conversión por humedad para algunos productos aislantes (izq.) y de hormigón, arcilla cocida y mortero (der). Representan los dos extremos de variación posible del valor. Fuente: UNE-EN ISO 10456:2012. **Pág. VI.-25**
- Figura VI.12 Resumen esquemático de la aproximación planteada al valor FM. **Pág. VI.-26**
- Figura VI.13 Resumen esquemático de la aproximación planteada al valor $\lambda_{DISEÑO}$ en España, basada en el ajuste de las condiciones de diseño de humedad y temperatura. **Pág. VI.-29**
- Figura VI.14 Cuadro de trabajo de la herramienta informática. En blanco los datos a rellenar por el usuario. En los Pasos 0 y 1, se rellenan los datos del cerramiento relativos a los materiales del cerramiento y las condiciones ambientales interiores y exteriores al cerramiento definido. **Pág. VI.-35**
- Figura VI. 15 Cuadro de trabajo de la herramienta informática. En blanco los datos a rellenar por el usuario. En el Paso 2, aunque los datos se cargan automáticamente, el autor puede optar por rellenar datos alternativos a los utilizados por el método, en caso de que disponga de los mismos. **Pág. VI.-36**
- Figura VI.16 Cuadro de trabajo de la herramienta informática. En blanco los datos a rellenar por el usuario. En el Paso 3, se rellenan por el usuario datos alternativos a los utilizados por el método, en caso de que disponga de los mismos. **Pág. VI.-37**
- Figura VI.17 Parámetros prestacionales de transmisión térmica, calculados para un cerramiento convencional ubicado en la ciudad de Zaragoza, con unas condiciones de temperatura y humedad relativa interior iguales a las marcadas por el CTE. Se estima que la resistencia térmica del cerramiento se está sobrevalorando en un 3,32% actualmente. El factor corrector a aplicar para mayorar la conductividad de los materiales es de 1,0313. **Pág. VI.-37**

Figura VI.18 Condiciones de transmitancia máxima admisible [$\text{w/m}^2\text{K}$] en cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica, extraído del CTE DB-HE1.2. Fuente: España, 2006 **Pág. VI.-39**

Figura VI.19 Comparación de cálculo de resistencia térmica del cerramiento entre los tres métodos analizados. La aproximación propuesta no solo mejora notablemente la validez de la estimación, sino que se relaciona prestacionalmente con las condiciones ambientales del emplazamiento. **Pág. VI.-51**

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

VII.1.- Aportes y contribuciones obtenidos	VII.-2
VII.2.- Mejoras aplicables al marco normativo	VII.-11
VII.2.- Futuras líneas de trabajo	VII.-14

VII.1.- APORTES Y CONTIBUCIONES OBTENIDOS

La realización de esta Tesis Doctoral ha supuesto la aportación de diferentes aspectos que constituyen por si mismos avances en el campo del conocimiento tratado, tanto en el ámbito español como internacional.

A lo largo de los diferentes capítulos que integran el documento se ido desarrollando los objetivos planteados al inicio del mismo, analizado las bases de partida del trabajo a desarrollar, identificando los ámbitos de mejora existentes en los marcos normativos vigentes, determinando de forma objetiva y científica la exigencia por humedad sobre los cerramientos verticales en edificios y definiendo un método de verificación prestacional para la exigencia básica de protección frente a la humedad en fachadas.

A lo anterior se ha unido el desarrollo de una metodología capaz de corregir los valores de conductividad térmica actualmente utilizados en nuestro país, aportando datos prestacionales más exactos para cada emplazamiento.

Todo ello hace que esta Tesis Doctoral haya sido capaz de dar respuesta a los objetivos generales que dieron lugar a su realización.

Mediante la misma, las condiciones de exigencia por humedad en los cerramientos del edificio, han sido analizadas por primera vez en nuestro país de un modo objetivo, riguroso y científico. Estas condiciones de exigencia definidas en base a la lluvia batiente sobre los cerramientos, presión eólica simultánea y duración de las condiciones de exposición, da lugar a una caracterización detallada de las condiciones atmosféricas a las que se enfrentan las fachadas en cada emplazamiento de nuestro país, lo que ha de redundar en diseños de cerramientos más adecuados y óptimos, potenciando la innovación en el sector.

Complementariamente, se ha hecho posible evaluar el grado de cumplimiento de la protección frente a la penetración de agua de cada posible sistema de cerramiento, superando la actual caracterización aproximada, generalista y carente de prestacionalidad, basada en la actual utilización de los ensayos de estanqueidad.

Las metodologías de cálculo presentadas en este trabajo, así como la herramienta informática desarrollada, posibilitan por primera vez a nivel internacional, determinar el nivel exacto de exigencia de la exposición que se está simulando durante el ensayo, no en base a una graduación cualitativa como sucede actualmente, sino en relación a las condiciones de exposición exactas y cuantitativas que definen la condición de trabajo de cada cerramiento particular.

Relacionando esta comprobación de la prestación de estanqueidad de los cerramientos, con la evaluación precisa de las condiciones de exposición existentes en los mismos, se disponen los medios necesarios para dotar de plena prestacionalidad a la protección frente a la humedad de los cerramientos en nuestro país, alcanzando de este modo plenamente un objetivo incompleto en el actual Código Técnico de la Edificación y un desarrollo normativo superior al de cualquier otra normativa internacional.

En análisis de la correcta conductividad térmica a considerar para el análisis térmico de los edificios, considerando las temperaturas y contenidos de humedad reales que se dan en los materiales de construcción en nuestro país, termina por desarrollar el enfoque

integral y prestacional con el que se ha pretendido abordar la materia objeto de esta Tesis Doctoral.

La unión de todos estos aspectos representa un impulso sustancial a la innovación tanto en el ámbito normativo como para la industria de la construcción, al permitir por un lado, establecer requerimientos para los cerramientos ajustados a las exigencias realmente existentes y por otro lado, al posibilitar que estas exigencias puedan ser satisfechas por la industria de la construcción mediante diseños óptimos y económicos de los sistemas de fachada.

Todo ello redundará finalmente en beneficio de una mayor habitabilidad y salubridad de los edificios y por ende, en la mejor calidad de vida de sus ocupantes.

La consecución de estas aportaciones originales generales de gran relevancia nacional e internacional, se relacionan con los objetivos particulares marcados en el capítulo I, tal y como se desglosa ordenadamente a continuación de forma pormenorizada:

1.1 *Se han definido los conceptos básicos que definen el campo de conocimiento abordado, incidiendo en la influencia de la humedad sobre la durabilidad y prestación térmica de los cerramientos, en la caracterización de los fenómenos y mecanismos de transporte de humedad que se dan en el interior de la matriz porosa de los materiales de construcción y en las condiciones de contorno que caracterizan la exposición a la humedad en fachadas de edificios; (Capítulo II).*

- *Se han desglosado las principales afecciones de la humedad sobre las condiciones de durabilidad de los elementos que componen la envolvente edificatoria.*
- *Se ha analizado la reducción en la prestación térmica de la envolvente derivada de altos contenidos de humedad y temperaturas en los materiales utilizados para la construcción de los cerramientos.*
- *Se han presentado las principales estrategias utilizadas a nivel internacional para caracterizar la exposición a la humedad de los cerramientos verticales, definiendo el concepto de lluvia batiente o wind driving rain.*
- *Se han descrito los principales procesos que intervienen en el transporte de humedad en el interior de los medios porosos que conforman los materiales de construcción, analizando su proceso tanto de humedecimiento como de secado.*
- *Se han definido las principales propiedades que caracterizan a nivel físico tanto las propiedades higrotérmicas como el comportamiento higroscópico de los materiales utilizados habitualmente en la construcción, recopilando las normas estandarizadas y los procedimientos necesarios para su determinación.*
- *Se han sentado las bases para el desarrollo de un trabajo enfocado a la obtención de resultados prácticos y funcionales en la materia, mediante la mejora normativa de los procedimientos y consideraciones que actualmente condicionan el diseño de los cerramientos verticales en los edificios.*

1.2 *Se han analizado pormenorizadamente las características del Código Técnico de la Edificación en materia de protección frente a la humedad (DB-HS1 y DB-HE1), así como las características fundamentales más destacables de otros marcos normativos internacionales y normativas complementarias de carácter no obligatorio; (Capítulo III).*

- *Se han detectado las deficiencias asociadas a la estimación de la sollicitación elaborada por el DB-HE1, que da lugar a caracterizaciones subjetivas y no unívocas del grado de impermeabilidad y la exposición al viento del cerramiento.*
- *Se ha identificado la ausencia de prestacionalidad existente en el DB-HS1 al utilizar soluciones aceptadas basadas en la práctica normativa y cuya determinación no se relaciona científica ni rigurosamente con las exposiciones previamente obtenidas.*
- *Se han analizado las incongruencias presentes en la caracterización de las soluciones aceptadas propuestas para impedir la penetración de humedad a través del cerramiento, que plantean serias dudas sobre su seguridad general en condiciones de servicio reales y los criterios adoptados para su elección.*
- *Se han indicado las debilidades e indeterminaciones que acompañan al método de verificación prestacional utilizado en el DB-HE1 para prever la ocurrencia de condensaciones en el cerramiento.*
- *Se han mostrado las principales indeterminaciones derivadas del actual procedimiento de ensayo y homologación de la estanqueidad de soluciones constructivas para cerramientos.*
- *Se han detectado diferentes ámbitos de mejora en la adopción española realizada del estándar ISO 15927-3:2009, que impiden en la actualidad su correcta utilización e interpretación.*
- *Se ha analizado comparativamente la estructura regulatoria adoptada por diferentes normas internacionales en relación a la garantía de protección frente a la humedad en cerramientos verticales de edificación.*
- *Se han analizado diferentes procedimientos de estimación de la sollicitación por humedad en los ámbitos normativos británicos, estadounidenses y canadienses y sus principales diferencias con lo recogido en el DB-HS1.*
- *Se ha detectado la común falta de prestación presente en todas las normativas internacionales, al determinar las soluciones de diseño que han de asociarse a las condiciones de exposición obtenidas en cada país.*

1.3 *Se han identificado las principales ámbitos de mejora presentes en el marco normativo español relativos a la protección frente a la humedad en cerramientos verticales de edificación; (Capítulo III).*

- *Se ha identificado la incongruencia normativa existente entre los Documentos Básicos HS1 y HE1, en relación a la utilización de materiales térmicos como barrera de protección frente a la penetración de agua en estado líquido.*
- *Se ha determinado la necesidad de obviar la utilización de materiales aislantes térmicos en cualquier configuración en contacto directo con el*

agua en estado líquido, excepto en situaciones de gran ventilación de la cámara en la que se dispongan.

- *Se ha propuesto la modificación de las condiciones asociadas a la resistencia a la filtración de la barrera contra la penetración de agua en fachadas, que en sus configuraciones B1 y B2, utilizan materiales aislantes térmicos para estos fines (DB-HS1 2.3.2.2).*
- *Se ha identificado la necesidad de contar con una estimación rigurosa y prestacional de la exposición a la humedad en nuestro país, basada en procedimientos de cálculo y aproximación científicos y contrastados.*
- *Se ha identificado la necesidad de optimizar el actual sistema de ensayos de estanqueidad utilizados para homologar y verificar las condiciones de prestación de los sistemas de cerramiento, permitiendo evaluar en base a un criterio adecuado y único sus propiedades de protección frente a la humedad bajo cualquier condición de servicio real.*

2.1 *Se han analizado pormenorizadamente datos climáticos diarios facilitados por la AEMET relativos a 80 estaciones meteorológicas españolas, para determinar la exposición de los cerramientos verticales a la humedad en base a diferentes parámetros de sollicitación; (Capítulo IV).*

- *Se ha determinado la cantidad de lluvia batiente que se espera recoger sobre los cerramientos verticales de un edificio, para diferentes periodos de retorno estimados y diferentes duraciones del intervalo de tiempo de humedecimiento considerado.*
- *Se ha determinado la presión eólica incidente sobre los cerramientos verticales durante la incidencia de la lluvia batiente en cada una de las condiciones de retorno e intervalo temporal consideradas.*
- *Se ha determinado la duración de la exposición a la humedad presente sobre los cerramientos en relación a diferentes criterios definidos en base a la naturaleza de los materiales del cerramiento.*
- *Se han desarrollado y adaptado alternativas metodológicas para estimar la exposición de acuerdo a criterios prestacionales definidos internacionalmente, con los datos climáticos disponibles en nuestro país.*

2.2 *Se ha ampliado el alcance de los resultados de exposición obtenidos, utilizando para ello procedimientos y metodologías novedosas y de relevante interés para la caracterización de la exposición por humedad atmosférica a nivel nacional e internacional; (Capítulo IV).*

- *Se han validado los parámetros de exposición definidos y adaptados para los emplazamientos españoles, en relación a los establecidos por normativas de ámbito internacional.*
- *Se ha expuesto el procedimiento necesario para la transformación de los valores de exposición en condiciones de referencia, a valores de exposición referidos a edificios concretos, caracterizados por una determinada altura, entorno y topografía circundante.*
- *Se ha diseñado un nuevo procedimiento que permite partiendo de los resultados inicialmente obtenidos y con la ayuda de registros sinópticos climáticos, determinar de forma precisa el reparto direccional de la*

exposición entre las diferentes orientaciones de los cerramientos en cada emplazamiento.

- *Se ha definido el ajuste necesario a realizar para ampliar el análisis realizado a cualquier emplazamiento que cuente con mediciones medias mensuales o anuales de pluviometría y velocidad de viento.*
- *Se han sentado las bases para establecer una estimación objetiva, científica y rigurosa de la exposición a la humedad de cualquier cerramiento concreto situado en un emplazamiento español, sean cuales sean sus condiciones de servicio y orientación.*

2.3 *Se ha desarrollado una primera aproximación a la caracterización del riesgo de penetración de agua a través del cerramiento asociado a las condiciones climáticas de cada emplazamiento, que permite en base a un único parámetro, caracterizar la sollicitación en nuestro país; (Capítulo IV y anejo A.2).*

- *Se han propuesto un índice integrado de riesgo de penetración de agua basado en la evaluación simultánea de la lluvia batiente incidente sobre el cerramiento y la presión eólica incidente, que caracteriza a los emplazamientos estudiados.*
- *Se ha propuesto su utilización como parámetro caracterizador del grado de impermeabilidad actualmente utilizado por el DB-HS1 del CTE.*
- *Se han planteado posibles alternativas a dicho índice integrado, que ponderan de forma más acusada el aporte de agua o la presión eólica sobre el cerramiento, en función de la naturaleza de los materiales empleados, su durabilidad y mantenimiento esperado o calidad de ejecución.*

2.4 *Se ha ofrecido la información obtenida de forma que su utilización pueda realizarse de forma útil y funcional, aportando datos gráficos referidos a las condiciones de exposición en 80 emplazamientos repartidos por el territorio nacional; (Capítulo IV y anejos A.1 y A.2).*

- *Se ha aportado información recopilada de forma ordenada, que expone los diferentes parámetros de sollicitación obtenidos para cada una de las estaciones meteorológicas objeto de análisis.*
- *Se han utilizado sistemas de información geográfica para representar en base a coordenadas la información obtenida, permitiendo su implantación futura en herramientas tipo web y servidores de datos.*
- *Se ha aportado documentación gráfica en forma de mapas de fácil lectura para la comparación inmediata de los diferentes factores de exposición en cada uno de los emplazamientos estudiados.*
- *Se han elaborado mapas de sollicitación integrados, referidos a parámetros de exposición asociados a un humedecimiento a corto y largo plazo, dando una cobertura total a las posibles caracterizaciones de la exposición.*

3.1 *Se han identificado las carencias de los ensayos de estanqueidad para determinar de forma precisa la prestación de las soluciones constructivas de cerramiento ensayadas en diferentes condiciones de servicio; (Capítulo V).*

- *Se han analizado los aspectos teóricos que impiden a los ensayos de estanqueidad ofrecer información exacta y ajustada a cada posible condición de solicitud en la que puede emplearse la solución de cerramiento ensayada.*
- *Se han analizado las divergencias existentes entre los diferentes ensayos internacionales, pero también relativos a un mismo ámbito normativo, para fijar los parámetros de exposición que han de ser utilizados durante la realización de las pruebas.*
- *Se han presentado las diferencias existentes entre las situaciones de exposición calculadas para las condiciones de servicio reales en los cerramientos y las condiciones de exposición utilizadas por los ensayos de estanqueidad.*

3.2 *Se ha definido un procedimiento de parametrización que permite identificar inequívocamente la prestación que garantizan la exposición de ensayo utilizada para homologar el cerramiento, evaluando el periodo de retorno con el que se producirán sobre las condiciones de servicio del cerramiento, situaciones de exposición igual o más desfavorables; (Capítulo V).*

- *Se ha establecido una metodología que permite determinar la exposición a la lluvia batiente sobre un cerramiento, en base a los datos climáticos de precipitación y velocidad de viento registrados en cortos intervalos de tiempo durante un número significativo de años.*
- *Se ha establecido una metodología que permite determinar la exposición por presión eólica simultánea a lluvia sobre un cerramiento, en base a los datos climáticos de velocidad de viento registrados en cortos intervalos de tiempo durante un número significativo de años.*
- *Se ha analizado la dependencia existente tanto entre los parámetros de exposición que inciden sobre el edificio, como entre los factores climáticos que condicionan dichos parámetros.*
- *Se ha calculado con precisión el periodo de retorno asociado a la ocurrencia de una situación de exposición sobre los cerramientos, definida por la simultaneidad de una determinada lluvia de viento y presión eólica.*
- *Se ha definido una parametrización que permite determinar el periodo de retorno con el cual se producirá en cualquier condición de servicio real del cerramiento, una exposición igual o superior a la superada por el cerramiento durante el ensayo.*
- *Se ha definido una parametrización que permite determinar la diferencia de presión que debe ser superada por el cerramiento en cualquier ensayo de estanqueidad, para garantizar la prestación de estanqueidad en condiciones de servicio reales durante un número de años concreto fijado por el diseño.*

3.3 *Se ha articulado la posibilidad de comparar los resultados obtenidos mediante ensayos de estanqueidad diferentes en relación a una misma condición de servicio del cerramiento; (Capítulo V).*

- *Utilizando la parametrización anterior se han comparado las condiciones de exposición utilizadas por diferentes ensayos internacionales, determinando los periodos de retorno de las exposiciones ensayadas, asociadas a una misma condición de utilización del cerramiento.*

3.4 *Se ha articulado la posibilidad de establecer una homologación internacional de cualquier solución constructiva de cerramiento, a partir únicamente de los resultados obtenidos por uno cualquiera de los ensayos de estanqueidad vigentes en la actualidad en los múltiples ámbitos normativos existentes, permitiendo la libre circulación de productos y un gran ahorro económico que potencia la innovación; (Capítulo V).*

- *Se ha comparado la idoneidad de diferentes normativas internacionales para evaluar la prestación en condiciones de servicio habituales en nuestro país.*
- *Se han establecido la metodología que permite evaluar la equivalencia entre los diferentes resultados de los ensayos de estanqueidad internacionales.*
- *Se han definido los ámbitos de utilización idóneos para las diferentes normativas de ensayo internacionales en nuestro país, en relación a la altura, entorno y condiciones de exposición generales de la situación de servicio para la cual se diseñe la solución de cerramiento.*
- *Se han armonizado las condiciones de exposición utilizadas por los diferentes ensayos de estanqueidad en el ámbito internacional, haciendo posible que la prestación del cerramiento pueda ser evaluada igualmente independientemente del valor adoptado por dichos parámetros de exposición.*

3.5 *Se han establecido las bases para determinar de forma prestacional las comprobaciones de verificación a realizar para garantizar la protección frente a la penetración de agua a través de los cerramientos en nuestros país; (Capítulo V).*

- *Se han planteado las necesidades de datos climáticos que deben ser satisfechas desde diferentes administraciones públicas para permitir la aplicación extensiva de la parametrización planteada a todo el territorio nacional.*
- *Se han establecido las pautas a seguir para relacionar los parámetros de exposición anual obtenidos en el capítulo IV, con las condiciones de parametrización utilizadas en la metodología propuesta por el capítulo V.*
- *Se ha planteado la posibilidad de establecer una correlación entre ambos grupos de parámetros de exposición, para extrapolar de forma aproximada las condiciones de verificación de la prestación de estanqueidad que han de cumplirse en cada uno de los emplazamientos españoles.*
- *Se ha dotado al actual marco normativo español de una herramienta de verificación prestacional, capaz de sustituir a las actuales soluciones aceptadas prescriptivas y que permite además una mayor optimización*

de las soluciones, obtener verificaciones más precisos y seguras, potenciar la innovación en nuestro país y proporcionar un elevado ahorro económico.

3.6 *Se ha desarrollado una herramienta informática capaz de integrar todos los cálculos realizados permitiendo la fácil utilización de los mismos por parte de diseñadores, técnicos y proyectistas y su inclusión directa como parte de la actual reglamentación normativa; (Capítulo V).*

- *Se ha desarrollado una herramienta informática (WTES), gestionada por el Área de Conocimiento de Ingeniería de la Construcción de la Universidad de Zaragoza, capaz de automatizar el proceso de cálculo de la prestación ofrecida por los resultados de múltiples ensayos de estanqueidad internacionales.*

4.1 *Se ha identificado y valorado del error existente en los cálculos térmicos, derivado de la consideración optimista del contenido de humedad y temperatura en los materiales de construcción para determinar la conductividad térmica en los cerramientos verticales españoles; (Capítulo VI).*

- *Se han identificado las condiciones medias de temperatura y contenido de humedad en los materiales de edificación españoles en cada emplazamiento, analizando la desviación media o error cometido en la determinación actual de su conductividad.*
- *Se han identificado las condiciones más extremas de temperatura y humedad en los materiales de edificación de algunos emplazamientos, analizando la máxima desviación o error cometido en la determinación actual de su conductividad.*

4.2 / 4.3 *Se ha desarrollado un procedimiento aproximado para corregir los errores detectados, utilizando valores de conductividad para los materiales más cercanos a su conductividad real en condiciones de servicio en cada emplazamiento; (Capítulo VI).*

- *Se han desglosado las fuentes de error (temperatura y contenido de humedad) y se ha evaluado su influencia respectiva en el valor de conductividad que debe ser adoptado.*
- *Se ha desarrollado una metodología analítica para la corrección prestacional del error producido en la determinación de la conductividad, para cualquier emplazamiento español.*

4.4 *Se ha definido un único factor corrector a aplicar sobre la conductividad de los materiales actualmente utilizada y que depende únicamente de las condiciones climáticas del emplazamiento en el que se pretende situar la edificación, obteniendo de esta forma cálculo térmicos más realistas y precisos; (Capítulo VI).*

- *Se han estimado los valores de conductividad de diseño prestacionales a utilizar en los cálculos térmicos de cualquier capital de provincia española.*

- *Se ha cuantificado el error de cálculo en cada una de las capitales de provincia españolas, en relación a diferentes tipologías constructivas.*
- *Se ha ampliado la anterior metodología para su aplicación a cualquier emplazamiento español.*

- *Se ha evaluado de forma aproximada el gasto energético resultado del error cometido (aproximadamente un incremento del 3% de media en el consumo energético para el acondicionamiento térmico de cada edificio).*

4.5 / 4.6 *Se ha ofrecido la información obtenida de forma que su utilización pueda realizarse de forma ágil y funcional, aportando datos gráficos referidos al ajuste a realizar en cada capital de provincia española y herramientas informáticas que permitan la automatización del cálculo; (Capítulo VI y anejo A.3).*

- *Se ha aportado documentación gráfica en forma de mapas de fácil manejo para la utilización de los factores correctores calculados, tanto en relación a las condiciones impuestas por el CTE como en relación a las condiciones declaradas por los fabricantes más desfavorables.*
- *Se ha desarrollado una herramienta informática capaz de automatizar el proceso de cálculo de los coeficientes correctores para cualquier emplazamiento, configuración del cerramiento o condición de partida para la estimación de la conductividad térmica de diseño en los materiales.*

Adicionalmente,

Se han propuesto medidas correctoras para reducir la posibilidad de error en el cálculo térmico del proyecto edificatorio, asociado a la incorrecta utilización de valores de conductividad declarada; (Capítulo VI).

Se han identificado las deficiencias actuales derivadas del cálculo inexacto de condensaciones intersticiales en el interior de los cerramientos, por la errónea cuantificación de la transmitancia térmica del cerramiento; (Capítulo VI).

VII.2.- MEJORAS APLICABLES AL MARCO NORMATIVO

La Tesis Doctoral realizada se ha planteado y ejecutado desde una aproximación práctica, que permitiera la utilización directa de los aportes obtenidos por parte de profesionales dedicados a la ejecución de proyectos edificatorios, así como por parte de técnico legisladores.

En referencia a este último planteamiento, una gran mayoría de los aportes obtenidos son directamente aplicables al estado normativo vigente actualmente en nuestro país:

Se han identificado innumerables incongruencias y aspectos menores que deben ser corregidos a lo largo del CTE en relación a la exigencia básica de protección frente a la humedad, asegurando para todas ellas el cumplimiento integral de todas las otras exigencias básicas sobre las que dichos aspectos influyen. Este análisis de incongruencias, indeterminaciones y aspectos de mejora se ha extendido a otras normativas de carácter complementario al CTE, de las que actualmente se hace uso en el ámbito de la construcción en nuestro país; (Capítulo III).

Se ha detectado la necesidad de eliminar la referencia contenida en el DB-HS1 en relación a la utilización de materiales aislantes térmicos como barrera frente a la penetración de agua líquida. La caracterización B1, B2 definida para la resistencia a la filtración de la barrera contra la penetración de agua (CTE-DB-HS1 2.3.2.2), debe por lo tanto ser totalmente reformulada eliminando la referencia a los materiales aislantes térmicos y evitando el contacto de agua líquida sobre los mismos; (Capítulo III y Capítulo VI).

Se ha propuesto una nueva redacción e interpretación del estándar UNE-EN ISO 15927-3:2011, para permitir su aplicación carente de ambigüedades y libres interpretaciones. Han de clarificarse conceptos que en la actualidad quedan a libre interpretación del lector o son simplemente, incorrectos e inexactos; (Capítulo III y Capítulo IV).

Se ha realizado un estudio prenормativo básico y de vital importancia para caracterizar los diferentes parámetros que han de ser considerados y que intervienen en la penetración de agua y humedecimiento de los cerramientos verticales de los edificios, definiendo para ello valores de lluvia batiente, presión eólica y duración del humedecimiento referidos a diferentes periodos de retorno y asociados específicamente a cada emplazamiento; (Capítulo IV).

Se han definido y ejemplificado los procedimientos de cálculo que han de ser implementados en la norma para definir con una precisión óptima los parámetros de exposición en emplazamiento diferentes de los analizados por este trabajo; (Capítulo IV).

Se ha aportado valiosa y numerosa importación gráfica que puede ser utilizada a nivel normativo para definir un criterio de elección de las soluciones constructivas adecuadas para cada condición de exposición, mejorando la prestacionalidad actual del DB-HS1; (Capítulo IV).

Se ha propuesto un nuevo indicador integrado de exposición, representativo del riesgo de penetración de agua a través del cerramiento, que puede ser directamente utilizado para definir en relación al mismo el grado de impermeabilización actualmente utilizado en la normativa española; (Capítulo IV).

Se ha posibilitado la comparación internacional de los parámetros de exposición presentes en nuestro país, permitiendo de este modo evaluar la idoneidad de implantación de medidas de protección frente a la humedad actualmente definidas en otros ámbitos normativos internacionales; (Capítulo IV).

Se ha dotado al Código Técnico de la Edificación de una herramienta de verificación prestacional para el cumplimiento de la protección frente a la penetración de agua a través de los cerramientos, capaz de sustituir las soluciones aceptadas actualmente recogidas por el DB-HS1; (Capítulo V).

Se ha dotado a la normativa española de la capacidad de diseñar de forma óptima para cualquier condición de servicio, los cerramientos verticales de edificación en materia de protección frente a la humedad, utilizando para ello los ensayos de estanqueidad actualmente vigentes; (Capítulo V).

Se ha detectado la necesidad de recopilar datos climáticos relativos a precipitación y velocidad de viento en los diferentes emplazamientos españoles con una precisión superior a la actualmente implantada de forma generalizada, siendo recomendable la recolección de datos relativos a intervalos de 5 o 10 minutos; (Capítulo V).

Se ha planteado la posibilidad de establecer normativamente para cada emplazamiento español, aquellos parámetros que han de ser considerados para realizar la verificación del cumplimiento de protección frente a la penetración de agua del cerramiento, utilizando para ello los parámetros de exposición obtenidos en el capítulo IV; (Capítulo V).

Se ha abierto la posibilidad directa de homologar para su utilización en nuestro país, sistemas de cerramiento ya homologados en otros países en base a ensayos de estanqueidad propios de su ámbito normativo, permitiendo de esta forma

ampliar sin necesidad de nuevas pruebas, el número de opciones disponibles para diseñadores, técnicos y proyectistas en el ámbito de la construcción; (Capítulo V).

Se han propuesto valores de referencia más adecuados para la determinación de la conductividad de diseño utilizada en los cálculos térmicos de nuestro país, que pueden implementarse de forma directa en el articulado normativo del DB-HE1, multiplicando en cada emplazamiento los valores de conductividad utilizados anteriormente; (Capítulo VI).

Se ha detectado la necesidad de recoger con precisión dentro del articulado normativo los valores de conductividad que han de ser utilizados por el proyecto edificatorio, evitando libres interpretaciones o errores no intencionados derivados de la adopción de valores declarados por los fabricantes; (Capítulo VI).

VII.3.- FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

La plasmación de todos los aportes y mejoras aplicables, en el desarrollo de una normativa de construcción de cerramientos verticales plenamente prestacional, capaz de sustituir al actual Documento Básico HS1, debe ser una línea prioritaria de trabajo a abordar tras la realización de este documento.

Para ello, las metodologías, procedimientos y herramientas desarrollados a lo largo de los diferentes capítulos han de ser abastecidos con datos climáticos que amplíen el ámbito de aplicación efectivo de los mismos a un mayor número de emplazamientos tanto nacionales como internacionales.

En el ámbito nacional, la estrecha colaboración con la Agencia Estatal de Meteorología en esta tarea, se presume fundamental al ser principal organismo proveedor de datos climáticos referidos a los emplazamientos en nuestro país. La ampliación de los datos climáticos utilizados en este trabajo, que se han restringido a un limitado número de emplazamientos, constituye pues una prioridad para la generalización y aplicación efectiva de los aportes presentados.

El interés del Ministerio de Fomento a través de la Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transportes y Vivienda, por impulsar las indudables sinergias innovadoras que la Tesis Doctoral plantea, se antoja igualmente fundamental para que las mismas puedan saltar del ejercicio académico, a la mejora efectiva de la prestacionalidad de la norma, de la adecuación de los proyectos de edificación, de la práctica constructiva y en definitiva de la habitabilidad y salubridad de los edificios en nuestro país.

Dado que los aportes de este trabajo, aunque centrados para su validación en el ámbito español, no se encuentran limitadas al mismo sino que son igualmente aplicables en otros países y climatologías, su utilización con los mismos fines en otros ámbitos, abre innumerables líneas futuras de trabajo y colaboración.

Así, con el fin de completar o ampliar la labor realizada en este trabajo doctoral se sugieren a continuación algunas de las líneas de trabajo e investigación posibles, que han sido puestas de manifiesto gracias a la labor realizada:

Se abre la posibilidad de mejorar la prestacionalidad del Documento Básico de Salubridad HS1 del Código Técnico de la Edificación, incorporando estimaciones de la solicitación y de la verificación del cumplimiento de protección frente a la humedad, más rigurosas, científicas y objetivas. Para ello es necesaria una completa reestructuración del documento así como una adaptación integral a los procedimientos y orientaciones definidas en este trabajo doctoral; (Capítulo III).

Se abre la puerta a caracterizar con mayor precisión los parámetros de exposición frente a la humedad abordado en el capítulo IV, ampliando su alcance a un mayor número de localizaciones en nuestro país; (Capítulo IV).

Se abre la puerta a definir mediante ulteriores estudios y campañas de ensayos, un indicador integrado de exposición a la humedad, que relaciones los

parámetros de exposición en un único criterio unívoco para caracterizar el riesgo, de forma alternativa y más realista que el presentado por este trabajo; (Capítulo IV).

Se abre la puerta a la investigación sobre la idoneidad de incorporar soluciones constructivas actualmente prescritas por diferentes normativas internacionales, para ámbitos de exposición simulares a los definidos para nuestro país; (Capítulo IV).

Se abre la puerta a la continua actualización de los parámetros de exposición en nuestro país, mediante la simple incorporación de datos climáticos más recientes en los cálculos ya presentados, así como al incremento de emplazamiento analizados, dotando de mayor prestacionalidad y definición a la parametrización realizada de la solicitud; (Capítulo IV).

Se abre la posibilidad de optimizar los parámetros de exposición utilizados en los ensayos de estanqueidad vigentes en nuestro país, a las condiciones de exposición realmente existentes sobre los cerramientos de nuestros edificios, mejorando su utilidad y adecuación; (Capítulo V).

Se abre la posibilidad de utilizar en el ámbito constructivo español una gran variedad de soluciones constructivas de cerramientos, únicamente evaluadas y homologadas en base a ensayos de estanqueidad no vigentes en nuestro país; (Capítulo V).

Se abre la posibilidad de optimizar la herramienta informática creada en este trabajo para verificar la prestación de protección frente a la penetración de agua en cerramientos verticales, a partir de los resultados de estanqueidad, ampliando a un mayor número de localidades, la evaluación realizada en este trabajo; (Capítulo V).

Se abre la posibilidad de crear una normativa plenamente prestacional en el ámbito de la protección frente a la humedad de los cerramientos del edificio, constituyendo un hecho pionero a nivel internacional, relacionando parámetros de exposición identificados con los parámetros necesarios para verificar el cumplimiento de estanqueidad por parte de la solución constructiva; (Capítulo V).

Se abre la posibilidad en definitiva, de establecer diseños innovadores de sistemas de cerramientos verticales, optimizados a las prestaciones que se requieren para los mismos, en relación a las condiciones de exposición que han de soportar o la vida útil que se plantea a priori que hayan de soportar en ausencia de penetraciones de agua en los mismos; (Capítulo V).

Se abre la posibilidad de integrar el cálculo prestacional de la conductividad térmica de los materiales que constituyen los cerramientos verticales edificatorios, dentro de herramientas informáticas ya actualmente utilizadas para el cálculo térmico y la certificación energética (LIDER, CALENER, CYPE...); (Capítulo VI).

Se abre la posibilidad de optimizar la herramienta informática creada en este trabajo para la determinación de conductividades de diseño prestacionales asociadas a cualquier emplazamiento español, incorporando un mayor número de localidades, datos climáticos y parámetros de conversión para obtener resultados de mayor precisión; (Capítulo VI).

NOMENCLATURA

NOM.1.- Simbología latina

NOM.-2

NOM.2.- Simbología griega

NOM.-7

NOM.3.- Notaciones y subíndices

NOM.-8

NOM.4.- Acrónimos habituales

NOM.-9

NOM. 1.- SIMBOLOGÍA LATINA

A	[m ²]	Superficie
A _w	[kg/m ² s ^{1/2}]	Coefficiente de absorción capilar
A _{w,i}	[kg/m ² min]	Tasa inicial de absorción de agua, también C _{wi,s} en algunas normas
b	[-]	Factor corrector empírico utilizado en el ajuste de la curva de sorción diseñado por Künzel y Krus.
B _w	[m]	Coefficiente de penetración de agua, también caracterizado por d _w en cierta bibliografía
c _e	[-]	Coefficiente de exposición al viento
c _p	[-]	Coefficiente de presión eólica
c _{p vol}	[J/m ³ K]	Calor específico por unidad de volumen
C _p	[J/kg K]	Calor específico por unidad de masa
C _R	[-]	Coefficiente de rugosidad del terreno
C _T	[-]	Coefficiente topográfico
dd	[°]	Dirección de viento registrada en mediciones sinópticas, medido en decenas de grados respecto al norte geográfico según clave FM 12-XIV SYNOP
D	[°]	Dirección del viento
D _p	[kg/mPas]	Coefficiente de difusión del vapor de agua
D ₅₀	[m]	Diámetro equivalente de las mayores gotas de agua que representan el 50 % de las gotas presentes en la atmosfera como consecuencia de una precipitación.
D _{pred}	[m]	Diámetro equivalente de las gotas de agua que representan el mayor volumen de líquido en la atmósfera como consecuencia de una precipitación.
e	[m]	Espesor del material
e ₁	[-]	Error porcentual en la estimación de lluvia batiente derivado del promedio aritmético de datos climáticos recopilados en intervalos mayores.
e ₂	[-]	Error porcentual en la estimación de lluvia batiente derivado de considerar valores de velocidad de viento no simultáneos a la precipitación.
ff	[nudos]	Velocidad de viento registrada en mediciones sinópticas, medido en nudos según clave FM 12-XIV SYNOP
f _T	[K ⁻¹]	Coefficiente de conversión de temperatura definido por UNE-EN ISO 10456:2012

f_u	[kg/kg]	Coefficiente de conversión por contenido de humedad definido por UNE-EN ISO 10456:2012
f_Ψ	[m ³ /m ³]	Coefficiente de conversión por contenido de humedad definido por UNE-EN ISO 10456:2012
f_{Rsi}	[-]	factor de temperatura de la superficie interior
$f_{Rsi\ min}$	[-]	factor de temperatura de la superficie interior mínimo
$F_{corrector}$	[-]	Factor corrector a aplicar sobre la conductividad de base actualmente utilizada en el cálculo térmico, determinado en el capítulo VI
F_a	[-]	Factor de conversión por envejecimiento definido por UNE-EN ISO 10456:2012
F_M	[-]	Factor de conversión por contenido de humedad definido por UNE-EN ISO 10456:2012
F_T	[-]	Factor de conversión de temperatura definido por UNE-EN ISO 10456:2012
g	[kg/m ² s]	Densidad del flujo de vapor de agua
\vec{g}	[kg/m ² s]	Vector de densidad de flujo de humedad
G	[kg/m ³ s]	Generación volumétrica de masa por unidad de tiempo, o ritmo de producción de humedad interior [kg/h] ó [kg/s], según contexto.
HR	[-]	Humedad relativa expresada en valor porcentual
I	[mm]	Lluvia recogida sobre una superficie vertical o lluvia batiente
I_A	[mm/año]	Índice medio anual de exposición a la lluvia batiente
I_{wA}	[mm/año]	Índice medio anual de exposición local a la lluvia batiente
I_{AS}	[mm/per.]	Máxima lluvia batiente asociada a un periodo de humedecimiento para un determinado periodo de retorno
I'_{AS}	[mm/per.]	Lluvia batiente recogida a lo largo de un periodo de humedecimiento absoluto
I_D	[mm/per.]	Índice lluvia batiente máxima recogida en un día, para un determinado periodo de retorno
I_{wD}	[mm/per.]	Índice lluvia batiente máxima local recogida en un día
I'_D	[mm/per.]	Lluvia batiente recogida en un día
I_S	[mm/per.]	Índice lluvia batiente máxima recogida en un periodo de humedecimiento para un determinado periodo de retorno
I_{wS}	[mm/per.]	Índice lluvia batiente máxima local por periodo de humedecimiento
I'_S	[mm/per.]	Lluvia batiente recogida en un periodo de humedecimiento

$I_{S ii}$	[mm/per.]	Índice lluvia batiente máxima recogida en un periodo ininterrumpido de días con precipitación, para un determinado periodo de retorno
$I_{wS ii}$	[mm/per.]	Índice lluvia batiente máxima local recogida en un periodo ininterrumpido de días con precipitación
$I'_{S ii}$	[mm/per.]	Lluvia batiente recogida en un periodo ininterrumpido de días con precipitación
I_v	[mm]	Aporte de agua en ensayos de estanqueidad
IP	[-]	Índice integrado de riesgo de penetración de agua
k_{lacy}	[s/m]	Coefficiente de ajuste de lluvia batiente, ajustado semi-empíricamente
K_S	[cm/s]	Coefficiente de permeabilidad
K_T	[-]	Factor de amplificación del valor medio de la máxima precipitación diaria anual
K_{WDR}	[s/m]	Coefficiente de ajuste de lluvia batiente descrito por Straube y Burnett, como la inversa a la velocidad terminal de caída de las gotas de precipitación
m	[kg]	Masa
mm	[l/m ²]	Precipitación por unidad de superficie
n	[-]	Número de renovaciones de aire o R, si se refiere a renovación de diseño del recinto [m ³ /s]
n_0	[-]	Porosidad abierta en el medio poroso
N	[años]	Número de años
O	[-]	Factor de obstrucción por obstáculos del terreno
prep	[mm]	Precipitación
P	[Pa]	Presión
P_c	[Pa]	Presión capilar
P_{dis}	[Pa]	Presión eólica de diseño del cerramiento
P_g	[Pa]	Presión del gas
P_l	[Pa]	Presión del líquido
P_{sat}	[kPa]	Presión de saturación
P_v	[kPa]	Presión de vapor
q_e	[kN/m ²]	Presión eólica estática
q_b	[kN/m ²]	Presión eólica dinámica
r	[m]	Radio generalizado del capilar poroso
R	[mK/w]	Resistencia térmica
R	[J/molK]	Constante molar de gas, según contexto e igual a 8,31434

R^2	[-]	Coefficiente de determinación de un ajuste matemático
R_{si}	[mK/w]	Resistencia térmica de la superficie interior
R_{se}	[mK/w]	Resistencia térmica de la superficie exterior
RRR	[mm]	Precipitación registrada en mediciones sinópticas, según clave FM 12-XIV SYNOP
s_d	[m]	Espesor de aire equivalente
S	[m ²]	Superficie
S	[-]	Grado de saturación del medio poroso, según contexto
t	[var.]	Tiempo
T	[C]	Temperatura
t_R	[-]	Indicador de periodo de registro de datos de precipitación en mediciones sinópticas, según clave FM 12-XIV SYNOP
TR	[años]	Periodo de retorno de un fenómeno climático
u	[kg]	Contenido de humedad por unidad de masa
u_x	[-]	Moda de la función de distribución de Gumbel asociada a la variable x.
U	[w/mK]	Transmitancia térmica
v	[m/s]	Velocidad
V	[m ³]	Volumen
w	[Kg/m ³]	Contenido volumétrico de masa, también identificado como v por la norma UNE-EN ISO 13788:2002
w_{cap}	[Kg/m ³]	Contenido máximo de agua en el material en condiciones de saturación por capilaridad. Equivalente aproximadamente a la situación ante una humedad relativa ambiental igual al 95%. En cierta bibliografía se denota como w_f igualmente.
w_{max}	[Kg/m ³]	Contenido máximo de agua en el material en condiciones de saturación por capilaridad total.
w_{80}	[Kg/m ³]	Contenido de agua en el material en condiciones de humedad relativa ambiental igual al 80%
w_0	[Kg/m ³]	Contenido de agua en el material en condiciones de humedad relativa ambiental nula. Igual a un valor de 0.
w_{dp}	[Kg/m ²]	Contenido de agua de la probeta de ensayo UNE-EN 12088:1997 por unidad de superficie.
w_{dv}	[Kg/m ²]	Contenido de agua de la probeta de ensayo UNE-EN 12088:1997 por unidad de volumen.
W	[-]	Factor de captación
W_p	[kg/m ² sPa]	Permeancia al vapor de agua en función de la presión parcial

W_v	[m/s]	Permeancia al vapor de agua en función de la humedad por volumen
$F_{\text{captación}}$	[-]	Factor de captación definido por Straube y Burnett, para la incidencia de la lluvia batiente en diferentes puntos de una fachada, también expresado como RAF
z	[m]	Altura
Z_p	[m ² sPa/kg]	Resistencia al vapor de agua en función de la presión parcial
Z_v	[s/m]	Resistencia al vapor de agua en función de la humedad por volumen

NOM.2.- SIMBOLOGÍA GRIEGA

α	[-]	Coefficiente de fricción utilizado en la ley potencia de ajuste para la velocidad del viento.
α_x	[-]	Parámetro de dispersión de la función de distribución de Gumbel, asociada a la variable x
δ_p	[kg/m s Pa]	Permeabilidad al vapor de agua
δ_v	[m ² /s]	Permeabilidad al vapor de agua
Δv	[kg/m ³]	Exceso de humedad interior generada en el recinto de estudio
ΔP	[Pa]	Diferencia de presión
ΔT	[°C]	Diferencia de temperatura
Δv	[°C]	Diferencia de contenido de humedad en el aire
ΔH	[m]	Diferencia de altura alcanzada por la absorción de agua capilar
η	[-]	Factor general de ajuste de lluvia batiente
θ	[°]	Dirección opuesta a la normal del cerramiento
Θ	[K]	Temperatura
Θ	[°]	Ángulo de contacto entre la interfaz sólido-líquido, según contexto.
λ	[w/Km]	Conductividad térmica
$\lambda_{\text{DISEÑO}}$	[w/Km]	Conductividad térmica del material en condiciones de servicio
λ_{DECLAR}	[w/Km]	Conductividad térmica del material justificada según condiciones marcadas por norma UNE-EN ISO 10456:2012
$\lambda_{\text{DE BASE}}$	[w/Km]	Conductividad térmica del material utilizada previamente al ajuste prestacional planteado en el Capítulo VI
μ	[-]	Factor de resistencia a la difusión de agua
ρ	[Kg/m ³]	Densidad
σ	[N/m]	Tensión superficial del líquido
ϕ	[-]	Humedad relativa, expresada en tanto por uno
Ψ	[m ³]	Contenido de humedad por unidad de volumen
\emptyset	[m]	Diámetro equivalente de una gota de agua de precipitación

NOM.3.- NOTACIONES Y SUBÍNDICES

a	Referido al aire seco
A	Referido a una duración anual
AS	Referido a periodo de humedecimiento absoluto
CTE	Referido al Código Técnico de Edificación
D	Referido a una duración diaria o a una orientación concreta, según el contexto
Ext	Referido al exterior
I	Referido a un caso concreto
ii	Referido a periodo de humedecimiento ininterrumpido
Int	Referido al interior
g	Mezcla binaria gaseosa de aire y vapor
l	Referido a la fase líquida
Sat	Referido al estado de saturación
T	Referido al valor total
v	Referido a la fase vapor
w	Referido a un contenido de humedad
z	Referido a una altura
1	Referida a condiciones iniciales
2	Referida a condiciones finales
10	Referido a unas condiciones de referencia a 10 m sobre la rasante del terreno, en un terreno despejado y libre de obstáculos.

NOM.4.- ACRÓNIMOS HABITUALES

AAMA	American Architectural Manufacturers Association
AE	Acciones en la edificación
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
AF&PA	American Forest & Paper Association
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
AS/NZS	Australian / New Zealand Standards
BNQ	Bureau de Normalisation du Québec
CEC	Catálogo de Elementos Constructivos
CEN	Comité Europeo de Normalización
CFD	Computational Fluid Dynamics
CGSB	Canadian General Standards Board
CIB	International Council for Research and Innovation in Building and Construction
CSA	Canadian Standards Association
CTE	Código Técnico de la Edificación
DB	Documento Básico del Código Técnico de la Edificación
DI	Drying Index o índice de secado sobre el cerramiento
DRI	Driving Rain Index
aDRI	Annual Driving Rain Index
daDRI	Daily-annual DRI o índice DRI anual calculado en base a datos diarios
maDRI	Daily-annual DRI o índice DRI anual calculado en base a datos mensuales
aaDRI	Daily-annual DRI o índice DRI anual calculado en base a datos anuales
maDRI'	Daily-annual DRI o índice DRI anual calculado en base a datos mensuales, sin considerar los datos de viento de los días sin precipitación
aaDRI'	Daily-annual DRI o índice DRI anual calculado en base a datos anuales, sin considerar los datos de viento de los días sin precipitación
DRWP	Driving Rain Wind Pressure o presión eólica simultánea a la precipitación
EMA	Estación meteorológica automática
EPS	Poliestireno expandido.

ETRS89	European Terrestrial Reference System - 1989
GI	Grado de impermeabilidad definido por el CTE DB-HS1
HE	Ahorro de Energía
Hispalyt	Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida
HS	Salubridad
HR	Protección frente al ruido
IDF	Intensidad – Duración - Frecuencia
IETcc	Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja
IP	Índice de penetración o indicador integrado del riesgo de penetración de agua a través del cerramiento
IRCC	Inter-Jurisdiccional Regulatory Collaboration Committee
ISO	International Organization for Standardization
MEWS	Moisture Management for Exterior Wall Systems
MI	Moisture Index o índice de humedad sobre el cerramiento
NBE	Norma Básica de la Edificación
NRCC	National Research Council of Canada
NTE	Norma Tecnológica de la Edificación
PUR	Poliuretano
RHT	Relative Humidity Temperature o índice de relación para la humedad relativa y la temperatura de cada punto del cerramiento
RITE	Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios
SE	Seguridad estructural
SIG	Sistema de información Geográfica
Spell	Periodo de humedecimiento de un cerramiento
SYNOP	Clave alfanumérica utilizada para la codificación de registros climáticos sinópticos
tep	Tonelada equivalente de petróleo
ULC	Underwriters' Laboratories of Canada
UNE	Referencia a estándares de normalización vigentes en España
UTM	Proyección Universal Transversa de Mercator
WDR	Wind Driving Rain o lluvia batiente
WGS84	World Geodetic System 1984
WI	Wetting index o índice de humedecimiento sobre el cerramiento
XPS	Poliestireno extruido



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza



Departamento de
Ingeniería Mecánica
Universidad Zaragoza



ÁREA DE INGENIERÍA
DE LA CONSTRUCCIÓN
Universidad Zaragoza





**Universidad
Zaragoza**



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza**

PARAMETRIZACIÓN DE LA
**EXPOSICIÓN A LA HUMEDAD Y
DE LOS ENSAYOS DE ESTANQUEIDAD
EN CERRAMIENTOS DE EDIFICACIÓN.
C**ARACTERIZACIÓN PRESTACIONAL DE SU
COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO

ANEJOS

Tesis doctoral

Departamento de Ingeniería Mecánica

Universidad de Zaragoza

Doctorando: D. José María Pérez Bella
Ingeniero Industrial

Director de tesis: D. Javier Domínguez Hernández
Doctor Ingeniero Industrial, Arquitecto. Profesor Titular de Universidad

Director de tesis: D. Juan José del Coz Díaz
Doctor Ingeniero Industrial. Catedrático de Universidad.

Julio de 2012



**Departamento de
Ingeniería Mecánica
Universidad Zaragoza**



**Universidad
Zaragoza**



**Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza**

PARAMETRIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LA HUMEDAD Y DE LOS ENSAYOS DE ESTANQUEIDAD EN CERRAMIENTOS DE EDIFICACIÓN.

CARACTERIZACIÓN PRESTACIONAL DE SU COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO

**Parameterization of moisture exposure and water
tightness tests on external wall systems. Performance-
based characterization of its hygrothermal behavior.**

ANEJOS

Tesis doctoral

Departamento de Ingeniería Mecánica

Universidad de Zaragoza

Doctorando: D. José María Pérez Bella

Ingeniero Industrial

Director de tesis: D. Javier Domínguez Hernández

Doctor Ingeniero Industrial, Arquitecto. Profesor Titular de Universidad

Director de tesis: D. Juan José del Coz Díaz

Doctor Ingeniero Industrial. Catedrático de Universidad.

Julio de 2012



**Departamento de
Ingeniería Mecánica
Universidad Zaragoza**

ÍNDICE

MEMORIA

AGRADECIMIENTOS

PRÓLOGO

FOREWORD

ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II. HUMEDAD ATMOSFÉRICA EN LA CONSTRUCCIÓN

CAPÍTULO III. MARCO NORMATIVO DE LA PROTECCIÓN FRENTE A LA HUMEDAD EN LA EDIFICACIÓN

CAPÍTULO IV. PARAMETRIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LA HUMEDAD EN CERRAMIENTOS VERTICALES

CAPÍTULO V. PARAMETRIZACIÓN PRESTACIONAL DE ENSAYOS DE ESTANQUEIDAD

CAPÍTULO VI. CARACTERIZACIÓN DE LA PRESTACIÓN TÉRMICA EN CERRAMIENTOS

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES

NOMENCLATURA

ANEJOS

ANEJOS

ANE.1.- Tablas de resultados de exposición a la humedad	ANE.-2
ANE.2.- Mapas de exposición a la humedad	ANE.-164
ANE.3.- Mapas de caracterización de la conductividad de diseño	ANE.-217
ANE.4.- Publicaciones científicas derivadas del trabajo de investigación	ANE.-221

ANE.1.- TABLAS DE RESULTADOS DE EXPOSICIÓN A LA HUMEDAD

En este apartado se presentan las tablas resumen de resultados obtenidos del análisis de los datos climáticos en 80 estaciones meteorológicas distribuidas por todo el territorio nacional, con objeto de identificar diferentes indicadores prestacionales de sollicitación por lluvia batiente sobre cerramientos verticales.

La descripción de los datos contenidos en cada una de ellas, así como las metodologías y datos de partida empleados para su cálculo, se han desarrollado de forma exhaustiva en el Capítulo IV de este mismo documento, partiendo en todo caso de adaptaciones escalares de las magnitudes recogidas por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011.

Las conclusiones más relevantes que pueden extraerse del análisis conjunto de todos los resultados mostrados a continuación, se ha desarrollado igualmente en el Capítulo IV.5.

Dichas conclusiones, junto con los datos presentados para cada una de las estaciones (en ocasiones referidos a periodos de retorno concretos) y los mapas elaborados a partir de los mismos (que se muestran en el apartado siguiente), permiten caracterizar en base a diferentes parámetros fenomenológicos y de duración la exigencia por humedad en cerramientos verticales sobre rasante, expuestos a la intemperie, de forma particular a cada posible emplazamiento.

Así, son dos los parámetros fenomenológicos representados en el estudio, para establecer la caracterización de la sollicitación o exposición a lluvia batiente:

- Lluvia batiente incidente sobre el cerramiento.
- Presión eólica simultánea a lluvia sobre el cerramiento.

Por otro lado, se analizan diferentes intervalos de duración de las condiciones de humedecimiento en el cerramiento provocada por los dos fenómenos anteriores:

- Sollicitación o exposición anual a lluvia batiente.
- Sollicitación o exposición diaria a lluvia batiente.
- Sollicitación o exposición a lluvia batiente por periodo absoluto de humedecimiento.
- Sollicitación o exposición a lluvia batiente, por periodo de jornadas ininterrumpidas de lluvia.

Del mismo modo, se establece una aproximación cualitativa, basada en los conceptos aportados por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, para la estimación del periodo de humedecimiento más desfavorable, en contraposición a los restantes cálculos cuantitativos.

Todo ello se complementa con la presentación de datos no referidos a periodos de retorno, sino máximos puntuales identificados para cada una de las variables presentadas, en función de la antigüedad de la serie histórica de datos considerada.

A continuación se presenta el índice relativo a las estaciones meteorológicas analizadas y presentadas:

Página	Estación	Página	Estación
ANE.-4	Reus 0016A	ANE.-84	Granada 5514
ANE.-6	Barcelona 0076	ANE.-86	Granada 5530E
ANE.-8	Gerona 0367	ANE.-88	Sevilla 5783
ANE.-10	San Sebastián 1014	ANE.-90	Morón (Sev) 5796
ANE.-12	Igueldo (San Seb) 1014E	ANE.-90	Jerez (Cád) 5960
ANE.-14	Bilbao 1082	ANE.-94	Cádiz 5973
ANE.-16	Santander 1109	ANE.-96	Melilla 6000A
ANE.-18	Santander 1110 y 1111	ANE.-98	Tarifa (Cád) 6001
ANE.-20	Asturias 1212E	ANE.-100	Málaga 6155A
ANE.-22	Oviedo 1249I	ANE.-102	Almería 6325O
ANE.-24	La Coruña 1387	ANE.-104	San Javier (Mur) 7031
ANE.-26	La Coruña 1387E	ANE.-106	Alcantarilla (Mur) 7228
ANE.-28	Santiago 1428	ANE.-108	Alicante 8019
ANE.-30	Pontevedra 1484 y 1484C	ANE.-110	Alicante 8025
ANE.-32	Vigo 1495	ANE.-112	Cuenca 8096
ANE.-34	Ponferrada (León) 1549	ANE.-114	Los llanos (Alb) 8175
ANE.-36	Soria 2030	ANE.-116	Valencia 8414A
ANE.-38	Villafría (Bur) 2331	ANE.-118	Valencia 8416
ANE.-40	Valladolid 2422	ANE.-120	Castellón 8501 y 8500A
ANE.-42	Ávila 2444C y 2444	ANE.-122	Álava 9091O
ANE.-44	Navacerrada (Mad) 2462	ANE.-124	Logroño 9170
ANE.-46	Segovia 2465A y 2465	ANE.-126	Pamplona 9263D
ANE.-48	Villanubla (Vall) 2539	ANE.-128	Daroca (Zar) 9390
ANE.-50	Zamora 2614	ANE.-130	Zaragoza 9434
ANE.-52	León 2661	ANE.-132	Lérida 9771 y 9771C
ANE.-54	Salamanca 2867	ANE.-134	Huesca 9898
ANE.-56	Salamanca 2870	ANE.-136	Tortosa (Tarr) 9981A
ANE.-58	Molina de Aragón (Gua) 3013	ANE.-138	Palma B228
ANE.-60	Barajas (Mad) 3129	ANE.-140	Palma B278
ANE.-62	Torrejón (Mad) 3175	ANE.-142	Menorca B893
ANE.-64	Madrid 3195	ANE.-144	Ibiza B954
ANE.-66	Cuatrovientos (Mad) 3196	ANE.-146	Lanzarote C029O
ANE.-68	Getafe (Mad) 3200	ANE.-148	La Palma C139E
ANE.-70	Toledo 3269 y 3260B	ANE.-150	Fuerteventura C249I
ANE.-72	Cáceres 3469 y 3469A	ANE.-152	Tenerife C429I
ANE.-74	Ciudad real 4121C y 4121	ANE.-154	Izaña (Ten) C430E
ANE.-76	Badajoz 4452	ANE.-156	Tenerife C447A
ANE.-78	Huelva 4605 y 4642E	ANE.-158	Sta. Cruz C449C
ANE.-80	Jaén 5270 y 5270B	ANE.-160	Las Palmas C649I
ANE.-82	Córdoba 5402	ANE.-162	El Hierro C929I

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 0016A		41° 08' 59N 01° 10' 44E		H. relativa media primavera:	70
AEROP. DE REUS		Altitud: 71 m		H. relativa media verano:	70
Fuente: Estatai de Meteorologia. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	75
				H. relativa media invierno:	70
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
521,00		III No coincide con HS1 Figura 2.4			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia		Grado de exposición aDRI		
276,98	IV		Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	71,4009	
			Desviación típica en muestra:	31,8469	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
81,12	118,10	149,21	163,41		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	19,1200	
			Desviación típica en muestra:	6,9156	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
21	29	36	39		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	41,7898	
			Desviación típica en muestra:	34,9847	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
52,47	93,09	127,27	142,87		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	9,8600	
			Desviación típica en muestra:	4,4046	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
11	16	21	23		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	39,9132	
			Desviación típica en muestra:	20,5896	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
46,20	70,10	90,22	99,40		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	73,1578	
			Desviación típica en muestra:	45,9627	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
87,18	140,55	185,45	205,95		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 56,6206
			Desviación típica en muestra: 27,8200
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
65,11	97,41	124,59	137,00
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 5,9800
			Desviación típica en muestra: 1,9130
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
7	9	11	12
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 53,3273
			Desviación típica en muestra: 42,3656
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
66,26	115,45	156,84	175,73

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Ias max. [mm/periodo ab.]	Ias max. [mm/periodo ab.]	Ias max. [mm/periodo ab.]	Ias max. [mm/periodo ab.]
148,42	148,42	138,03	138,03
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
17,13	17,13	7,69	7,69
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
41	41	41	41
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
156,78	141,53	41,49	41,49
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
0,46	3,40	0,22	0,22
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
98,32	98,32	74,62	63,98
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,20	1,20	1,18	1,21
Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]
200,86	189,30	83,05	45,45
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
6,85	0,50	0,18	3,06
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
139,38	139,38	105,63	105,63
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]
35,89	35,89	25,48	25,48
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
12	12	12	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
200,86	147,86	45,35	28,44
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
6,85	6,41	7,70	1,26
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
19	19	19	17

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 76	41° 17' 34N 02° 04' 12E	H. relativa media primavera:	70	
AEROP. DE BARCELONA	Altitud: 4 m	H. relativa media verano:	70	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	75	
		H. relativa media invierno:	70	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE	Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos		
611,72	III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI	aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.	
425,05	III	Protegido	(Leyenda)	
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	113,6421	
		Desviación típica en muestra:	60,1542	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
132,00	201,84	260,61	287,44	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	19,9400	
		Desviación típica en muestra:	6,9409	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
22	30	37	40	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	31,4889	
		Desviación típica en muestra:	12,5380	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
35,31	49,87	62,12	67,71	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	13,2000	
		Desviación típica en muestra:	6,2354	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
15	22	28	31	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	59,9575	
		Desviación típica en muestra:	27,8674	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
68,46	100,82	128,04	140,47	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	76,5611	
		Desviación típica en muestra:	23,2956	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
83,67	110,72	133,48	143,87	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 88,4465 Desviación típica en muestra: 53,3217
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
104,72	166,63	218,72	242,50
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 5,4400 Desviación típica en muestra: 1,2674
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
6	7	9	9
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 49,7231 Desviación típica en muestra: 18,8358
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
55,47	77,34	95,74	104,14

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
268,16	251,31	223,78	223,78
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
16,57	11,58	16,08	16,08
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
38	38	34	34
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
75,34	75,34	75,34	35,33
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
5,37	5,37	5,37	47,22
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
149,98	149,98	149,98	149,98
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,22	1,22	1,22	1,22
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
148,62	148,62	148,62	102,97
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
82,07	82,07	82,07	2,38
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
266,52	221,46	197,93	197,93
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
21,01	9,35	51,78	51,78
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
10	10	7	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
106,70	106,70	78,26	68,55
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
1,88	1,88	91,00	29,81
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
32	25	18	16

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1974-2011 (salvo 2009). Mediciones diarias					
ESTACIÓN 367		41° 54' 42N 02° 45' 48E		H. relativa media primavera:	75
AEROP. DE GERONA		Altitud: 143 m		H. relativa media verano:	70
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	75
				H. relativa media invierno:	75
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos
737,46		III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		(Leyenda)	
330,91	III	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	37	
			Media aritmética en muestra:	76,0543	
			Desviación típica en muestra:	36,4944	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
87,67	131,04	167,54	184,20		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	37	
			Media aritmética en muestra:	21,6757	
			Desviación típica en muestra:	6,2257	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
24	31	37	40		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	37	
			Media aritmética en muestra:	17,3339	
			Desviación típica en muestra:	6,8079	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
19,50	27,59	34,40	37,51		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	37	
			Media aritmética en muestra:	29,4865	
			Desviación típica en muestra:	9,7748	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
33	44	54	58		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	37	
			Media aritmética en muestra:	40,3847	
			Desviación típica en muestra:	25,6109	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
48,54	78,98	104,59	116,28		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	37	
			Media aritmética en muestra:	42,3760	
			Desviación típica en muestra:	22,2323	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
49,45	75,88	98,11	108,26		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 37
			Media aritmética en muestra: 62,4350
			Desviación típica en muestra: 35,0249
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
73,59	115,21	150,24	166,22
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 37
			Media aritmética en muestra: 6,8378
			Desviación típica en muestra: 1,8818
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
7	10	12	12
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 37
			Media aritmética en muestra: 26,2545
			Desviación típica en muestra: 11,2944
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
29,85	43,27	54,57	59,72

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
228,87	154,59	122,07	71,61
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
14,03	7,68	6,39	8,18
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
41	41	35	32
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
38,38	30,75	30,75	16,31
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
3,33	8,67	8,67	5,35
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
154,03	89,84	89,84	39,48
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,21	1,24	1,24	1,17
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
111,76	96,93	96,93	36,19
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
154,03	89,84	89,84	21,26
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
214,68	143,41	104,72	58,38
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
21,45	17,67	10,12	14,32
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
11	11	11	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
64,12	50,40	50,40	31,52
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
13,71	93,52	93,52	23,63
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
56	52	52	32

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 1014		43° 21' 38N 01° 47' 14W		H. relativa media primavera:	70
AEROP. SAN SEBASTIÁN		Altitud: 4 m		H. relativa media verano:	75
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	75
				H. relativa media invierno:	75
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos
1687,09		II No coincide con figura 2.4 HSI			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia		Grado de exposición aDRI		
986,20	II		Exposición moderada		(Leyenda)
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	276,1342
				Desviación típica en muestra:	107,0581
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
308,80	433,11	537,70	585,45		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	49,5600
				Desviación típica en muestra:	18,7704
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
55	77	95	104		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	15,3870
				Desviación típica en muestra:	6,6972
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
17,43	25,21	31,75	34,74		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	1038,4400
				Desviación típica en muestra:	577,6303
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
Máxima	Máxima	Máxima	Máxima		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	52,9531
				Desviación típica en muestra:	19,4935
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
58,90	81,54	100,58	109,27		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	60,0506
				Desviación típica en muestra:	27,5895
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
68,47	100,50	127,46	139,76		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 146,1068 Desviación típica en muestra: 61,5382
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
164,89	236,34	296,46	323,90
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 13,1200 Desviación típica en muestra: 3,6422
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
14	18	22	24
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 30,4659 Desviación típica en muestra: 13,0896
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
34,46	49,66	62,45	68,28

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
533,84	496,49	396,88	396,88
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
8,04	12,96	8,22	8,22
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
101	100	60	60
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
36,75	36,75	16,49	16,09
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
26,70	26,70	87,64	89,14
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
125,11	125,11	63,29	63,29
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,20	1,20	1,22	1,22
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
153,31	101,42	86,77	80,16
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
33,82	7,49	48,15	59,67
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
307,82	307,82	247,87	247,87
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
25,60	25,60	16,93	16,93
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
25	25	20	20
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
66,52	66,52	41,64	41,64
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
4,74	4,74	3,26	3,26
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
1972	1972	1972	1972

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 1014E	43° 18' 27N 02° 02' 22W	H. relativa media primavera:	75	
S. SEBASTIÁN - IGUELDO	Altitud: 251 m	H. relativa media verano:	80	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	75	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos	
1551,77	II			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
1533,02	I	Exposición alta		(Leyenda)
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	424,5399	
		Desviación típica en muestra:	168,4252	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
475,94	671,49	836,04	911,16	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	55,0400	
		Desviación típica en muestra:	20,5708	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
61	85	105	114	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	46,7741	
		Desviación típica en muestra:	21,8097	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
53,43	78,75	100,06	109,79	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	3022,7400	
		Desviación típica en muestra:	1746,1256	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
Máxima	Máxima	Máxima	Máxima	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	88,5418	
		Desviación típica en muestra:	30,8123	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
97,94	133,72	163,82	177,57	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	178,0890	
		Desviación típica en muestra:	60,0246	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
196,41	266,10	324,74	351,51	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 236,8912 Desviación típica en muestra: 91,1052
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
264,69	370,47	459,48	500,11
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 13,7400 Desviación típica en muestra: 4,1560
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
15	20	24	26
Presión eólica escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 106,7804 Desviación típica en muestra: 49,2721
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
121,82	179,03	227,16	249,14

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
1062,56	1062,56	565,65	419,57
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
28,77	28,77	35,53	26,83
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
135	135	84	84
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
150,37	150,37	96,11	96,11
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
9,49	9,49	3,83	3,83
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
174,52	174,52	116,74	115,05
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,22	1,22	1,19	1,20
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
395,14	245,16	221,97	139,74
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
154,08	30,99	1,89	4,29
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
485,78	485,78	296,25	296,25
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
67,58	67,58	31,18	31,18
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
32	23	18	15
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
304,44	221,97	221,97	96,11
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
5,95	1,89	1,89	3,83
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
5938	5938	5938	5938

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 1082		43° 17' 53N 02° 54' 21W		H. relativa media primavera:	75
AEROP. BILBAO		Altitud: 42 m		H. relativa media verano:	75
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	75
				H. relativa media invierno:	70
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos
1179,72		II			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		(Leyenda)	
843,36	II	Exposición moderada			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	240,1212	
			Desviación típica en muestra:	101,8448	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
271,20	389,45	488,95	534,37		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	50,0200	
			Desviación típica en muestra:	20,0454	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
56	79	99	108		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	28,7942	
			Desviación típica en muestra:	15,5320	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
33,53	51,57	66,74	73,67		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	580,1400	
			Desviación típica en muestra:	267,7225	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
Máxima	Máxima	Máxima	Máxima		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	59,9663	
			Desviación típica en muestra:	32,0815	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
69,76	107,01	138,35	152,66		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	108,8607	
			Desviación típica en muestra:	52,8003	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
124,97	186,28	237,86	261,41		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 146,2168
			Desviación típica en muestra: 60,5464
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
164,69	234,99	294,15	321,15
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 14,1400
			Desviación típica en muestra: 4,7750
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
16	21	26	28
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 52,4547
			Desviación típica en muestra: 26,6283
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
60,58	91,50	117,51	129,39

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
547,89	406,28	260,93	255,34
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
26,28	9,61	9,61	7,45
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
136	89	69	69
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
85,74	62,97	37,80	37,80
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
10,26	6,54	1,96	1,96
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
203,20	203,20	134,07	134,07
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,21	1,21	1,22	1,22
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
232,45	158,19	95,63	91,88
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
12,11	48,27	45,22	13,71
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
347,05	347,05	192,61	192,61
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
11,46	11,46	12,91	12,91
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
28	28	19	17
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
148,85	95,00	51,98	38,43
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
22,52	70,44	0,70	39,14
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
866	866	866	866

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie 1962-2011 (salvo 1975-1977). Mediciones diarias					
ESTACIÓN 1109		43° 25' 45N 03° 49' 53W		H. relativa media primavera:	70
AEROP. DE SANTANDER		Altitud: 5 m		H. relativa media verano:	75
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	75
				H. relativa media invierno:	70
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos
1258,17		II			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		(Leyenda)	
1063,12	II	Exposición moderada			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	47	
			Media aritmética en muestra:	308,0503	
			Desviación típica en muestra:	117,0377	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
344,05	480,55	595,40	647,82		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	47	
			Media aritmética en muestra:	44,7872	
			Desviación típica en muestra:	13,4543	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
49	65	78	84		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	47	
			Media aritmética en muestra:	35,3885	
			Desviación típica en muestra:	17,2806	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
40,70	60,86	77,82	85,56		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	47	
			Media aritmética en muestra:	53,3191	
			Desviación típica en muestra:	11,3664	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
57	70	81	86		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	47	
			Media aritmética en muestra:	70,3861	
			Desviación típica en muestra:	30,7748	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
79,85	115,74	145,94	159,73		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	47	
			Media aritmética en muestra:	136,8836	
			Desviación típica en muestra:	58,7911	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
154,97	223,53	281,22	307,56		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 47 Media aritmética en muestra: 175,3268 Desviación típica en muestra: 78,6789
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
199,53	291,29	368,50	403,74
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 47 Media aritmética en muestra: 12,9787 Desviación típica en muestra: 3,6698
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
14	18	22	24
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 47 Media aritmética en muestra: 80,3606 Desviación típica en muestra: 45,4106
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
94,33	147,29	191,85	212,19

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
711,81	711,81	387,84	387,84
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
31,24	31,24	13,14	13,14
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
80	80	70	70
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
96,22	96,22	77,46	24,48
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
11,05	11,05	0,33	167,23
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
185,34	146,45	63,88	63,88
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,25	1,21	1,23	1,23
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
327,54	327,54	114,47	114,47
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
146,45	146,45	31,33	31,33
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
420,73	420,73	234,65	234,65
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
34,68	34,68	32,77	32,77
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
23	23	16	16
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
238,91	238,91	84,02	47,85
Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]
16,91	16,91	4,38	32,88
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
87	75	75	75

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 1110-1111	43° 29' 30N 03° 47' 49W (hoy)	H. relativa media primavera:	70	
SANTANDER (x2)	Alt.: 64-52 m	H. relativa media verano:	75	
<i>Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.</i>		H. relativa media otoño:	75	
		H. relativa media invierno:	70	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		<i>Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos</i>	
1177,18	II			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		<i>aproximadas a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.</i>
954,88	II	Exposición moderada		<i>(Leyenda)</i>
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	278,0848	
		Desviación típica en muestra:	124,6811	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
316,13	460,90	582,71	638,32	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	47,8400	
		Desviación típica en muestra:	13,5726	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
52	68	81	87	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	29,1698	
		Desviación típica en muestra:	15,0281	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
33,76	51,20	65,89	72,59	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	49,3000	
		Desviación típica en muestra:	12,4165	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
53	68	80	85	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	65,6434	
		Desviación típica en muestra:	31,8997	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
75,38	112,42	143,58	157,81	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	117,2454	
		Desviación típica en muestra:	51,3866	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
132,93	192,59	242,79	265,71	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 163,0135
			Desviación típica en muestra: 72,8303
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
185,24	269,80	340,95	373,44
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 14,1000
			Desviación típica en muestra: 4,6141
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
16	21	25	27
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 59,8521
			Desviación típica en muestra: 31,3583
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
69,42	105,83	136,47	150,45

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
781,62	781,62	531,82	531,82
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
42,17	42,17	22,28	22,28
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
82	80	70	70
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
66,63	66,63	66,63	34,70
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
0,56	0,56	0,56	178,87
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
233,29	115,42	115,42	96,36
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,24	1,22	1,22	1,20
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
267,47	267,47	259,31	170,49
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
103,40	103,40	25,71	77,57
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
402,67	292,28	292,28	292,28
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
42,21	58,36	58,36	58,36
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
27	27	27	27
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
153,04	127,37	127,37	73,45
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
85,17	26,13	26,13	4,56
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
80	71	67	67

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1969-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 1212E	43° 34' 01N 06° 02' 39W	H. relativa media primavera:		75
AEROP. DE ASTURIAS	Altitud: 127 m	H. relativa media verano:		80
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:		80
		H. relativa media invierno:		75
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
1092,82	II			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		
779,56	II	Exposición moderada		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		43
		Media aritmética en muestra:		241,8649
		Desviación típica en muestra:		103,7718
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
274,18	396,01	498,52	545,32	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		43
		Media aritmética en muestra:		57,1395
		Desviación típica en muestra:		21,1853
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
64	89	110	119	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		43
		Media aritmética en muestra:		24,0940
		Desviación típica en muestra:		7,8037
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
26,52	35,69	43,39	46,91	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		43
		Media aritmética en muestra:		1652,4884
		Desviación típica en muestra:		933,8455
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
Máxima	Máxima	Máxima	Máxima	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		43
		Media aritmética en muestra:		57,4348
		Desviación típica en muestra:		26,1453
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
65,58	96,27	122,10	133,89	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		43
		Media aritmética en muestra:		100,1825
		Desviación típica en muestra:		43,4779
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
113,72	164,77	207,72	227,32	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 43
			Media aritmética en muestra: 123,7046
			Desviación típica en muestra: 44,8467
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
137,67	190,32	234,62	254,85
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 43
			Media aritmética en muestra: 13,7907
			Desviación típica en muestra: 4,0609
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
15	20	24	26
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 43
			Media aritmética en muestra: 47,0772
			Desviación típica en muestra: 22,4831
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
54,08	80,47	102,68	112,82

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
621,09	621,09	503,79	503,79
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
13,85	13,85	12,49	12,49
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
141	141	123	123
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
45,16	37,93	36,09	26,49
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
11,99	42,67	52,41	82,62
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
167,87	167,87	66,49	62,19
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,19	1,19	1,22	1,19
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
222,31	222,31	163,83	124,32
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
79,30	79,30	38,50	8,74
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
256,75	256,75	158,58	158,58
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
24,42	24,42	8,91	8,91
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
25	22	16	16
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
160,48	89,54	56,07	43,01
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
22,86	6,12	6,06	13,20
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
3232	3232	3232	3232

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1973-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 12491	43° 21' 16N 05° 42' 22W	H. relativa media primavera:	75	
OVIEDO	Altitud: 336 m	H. relativa media verano:	80	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	80	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
979,99	III No coincide con HS1 Figura 2.4			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
567,09	III	Exposición moderada		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	39	
		Media aritmética en muestra:	163,0014	
		Desviación típica en muestra:	72,6015	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
185,93	271,83	344,12	377,11	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	39	
		Media aritmética en muestra:	56,0769	
		Desviación típica en muestra:	22,7634	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
63	90	113	123	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	39	
		Media aritmética en muestra:	21,3275	
		Desviación típica en muestra:	15,9069	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
26,35	45,17	61,01	68,24	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	39	
		Media aritmética en muestra:	1219,6667	
		Desviación típica en muestra:	642,5710	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
Máxima	Máxima	Máxima	Máxima	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	39	
		Media aritmética en muestra:	43,2392	
		Desviación típica en muestra:	22,1387	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
50,23	76,43	98,47	108,53	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	39	
		Media aritmética en muestra:	96,0520	
		Desviación típica en muestra:	64,8089	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
116,52	193,20	257,73	287,18	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 39	
		Media aritmética en muestra: 94,7023	
		Desviación típica en muestra: 46,0203	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
109,24	163,69	209,51	230,42
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 39	
		Media aritmética en muestra: 12,9231	
		Desviación típica en muestra: 3,1328	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
14	18	21	22
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 39	
		Media aritmética en muestra: 45,7224	
		Desviación típica en muestra: 37,4967	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
57,56	101,93	139,26	156,30

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
412,04	412,04	205,13	205,13
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
16,20	16,20	3,91	3,91
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
136	136	123	123
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
66,41	48,86	12,97	9,74
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
117,17	9,44	0,76	67,79
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
115,43	115,43	48,70	39,78
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,16	1,16	1,20	1,17
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
246,69	212,53	51,92	50,76
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
0,59	5,75	26,98	31,36
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
205,57	205,57	95,17	95,17
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
30,11	30,11	6,36	6,36
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
20	20	20	20
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
172,63	70,99	26,36	23,27
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
3,85	65,84	7,20	14,75
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
2248	2248	2248	2248

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 1387		43° 22' 02N 08° 25' 10W		H. relativa media primavera:	75
A CORUÑA		Altitud: 58 m		H. relativa media verano:	75
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	75
				H. relativa media invierno:	80
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
1007,82		II			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI			
801,15	II	Exposición moderada			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	254,5242
				Desviación típica en muestra:	136,3671
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
296,14	454,47	587,70	648,52		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	50,0800
				Desviación típica en muestra:	23,6337
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
57	85	108	118		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	26,4712
				Desviación típica en muestra:	9,8735
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
29,48	40,95	50,59	55,00		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	1920,8800
				Desviación típica en muestra:	1106,3536
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
Máxima	Máxima	Máxima	Máxima		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	43,6004
				Desviación típica en muestra:	16,1251
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
48,52	67,24	83,00	90,19		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	97,5532
				Desviación típica en muestra:	52,6830
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
113,63	174,80	226,27	249,77		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 138,2308 Desviación típica en muestra: 48,4449
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
153,01	209,26	256,59	278,20
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 16,2600 Desviación típica en muestra: 4,4891
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
18	23	27	29
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 39,9902 Desviación típica en muestra: 16,3074
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
44,97	63,90	79,83	87,11

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
805,44	805,44	691,81	250,15
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
21,11	21,11	13,26	17,14
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
154	154	108	57
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
52,27	52,27	39,14	23,66
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
198,00	198,00	11,26	88,52
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
108,49	108,49	48,97	38,22
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,19	1,19	1,22	1,19
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
325,89	325,89	86,83	79,93
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
71,52	71,52	0,18	9,06
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
279,48	279,48	195,32	195,32
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
50,19	50,19	20,63	20,63
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
28	28	28	28
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
91,16	91,16	39,14	33,65
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
8,46	8,46	11,26	0,40
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
3834	3834	3834	3834

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie 1972-2011 (salvo 1989-90). Mediciones diarias				
ESTACIÓN 1387E	43° 18' 25N 08° 22' 20W	H. relativa media primavera:		75
AEROP. DE A CORUÑA	Altitud: 98 m	H. relativa media verano:		75
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:		75
		H. relativa media invierno:		75
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
1131,19	II			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
925,52	II	Exposición moderada		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		38
		Media aritmética en muestra:		309,6801
		Desviación típica en muestra:		173,5724
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
364,71	570,53	743,71	822,77	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		38
		Media aritmética en muestra:		51,9474
		Desviación típica en muestra:		26,0838
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
60	91	117	129	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		38
		Media aritmética en muestra:		25,8890
		Desviación típica en muestra:		11,4417
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
29,52	43,08	54,50	59,71	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		38
		Media aritmética en muestra:		906,7632
		Desviación típica en muestra:		495,9468
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
Máxima	Máxima	Máxima	Máxima	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		38
		Media aritmética en muestra:		53,9315
		Desviación típica en muestra:		17,8755
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
59,60	80,80	98,63	106,77	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		38
		Media aritmética en muestra:		87,7408
		Desviación típica en muestra:		26,5035
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
96,14	127,57	154,01	166,09	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 38 Media aritmética en muestra: 163,7681 Desviación típica en muestra: 51,2407
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
180,01	240,77	291,90	315,24
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 38 Media aritmética en muestra: 17,5263 Desviación típica en muestra: 5,3839
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
19	26	31	33
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 38 Media aritmética en muestra: 41,5558 Desviación típica en muestra: 16,7720
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
46,87	66,76	83,50	91,13

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
948,20	948,20	948,20	267,39
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
18,43	18,43	18,43	7,30
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
166	166	108	75
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
63,11	52,87	40,24	20,84
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
1,88	0,72	2,43	3,08
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
101,60	101,60	71,15	44,93
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,21	1,21	1,18	1,21
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
179,41	179,41	123,46	78,15
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
101,60	101,60	42,97	12,26
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
305,77	305,77	252,32	176,25
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
29,76	29,76	22,17	15,51
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
31	31	31	31
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
104,65	104,65	60,59	47,24
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
15,37	15,37	16,57	65,72
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
1776	1776	1776	1776

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 1428		42° 53' 16N 08° 24' 39W		H. relativa media primavera:	75
SANTIAGO AEROPUERTO		Altitud: 370 m		H. relativa media verano:	75
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	80
				H. relativa media invierno:	80
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
1841,90		II			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI			
1721,50	I	Exposición severa			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	615,6219
				Desviación típica en muestra:	370,9808
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
728,83	1159,57	1522,01	1687,46		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	50,4800
				Desviación típica en muestra:	21,1965
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
57	82	102	112		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	30,4974
				Desviación típica en muestra:	17,1064
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
35,72	55,58	72,29	79,92		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	3396,8600
				Desviación típica en muestra:	1886,1558
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
Máxima	Máxima	Máxima	Máxima		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	111,9266
				Desviación típica en muestra:	56,8768
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
129,28	195,32	250,89	276,26		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	108,5196
				Desviación típica en muestra:	54,8939
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
125,27	189,01	242,64	267,12		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 411,1785 Desviación típica en muestra: 179,7221
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
466,02	674,70	850,28	930,43
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 20,4600 Desviación típica en muestra: 7,2366
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
23	31	38	41
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 41,9019 Desviación típica en muestra: 22,8858
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
48,89	75,46	97,82	108,02

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
2339,14	1554,31	1554,31	406,32
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
34,76	14,00	14,00	12,52
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
124	108	108	63
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
86,71	46,70	20,07	15,39
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
49,80	256,15	2,39	281,24
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
348,54	348,54	106,78	73,34
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,16	1,16	1,17	1,18
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
248,52	191,17	88,81	55,42
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
303,69	57,35	68,22	18,73
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
868,29	735,58	618,10	280,37
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
61,70	42,29	15,01	17,74
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
45	45	33	21
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
121,97	61,83	29,61	27,80
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
3,76	106,19	113,53	28,87
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
6514	6514	6514	6514

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1964-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 1484-1484C	42° 26' 24N 08° 36' 59W (hoy)	H. relativa media primavera:	65	
PONTEVEDRA (x2)	Alt.: 19-108 m	H. relativa media verano:	65	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	70	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos	
1657,01	II			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximadas a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
689,21	II	Exposición moderada		(Leyenda)
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	235,1112	
		Desviación típica en muestra:	168,1121	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
286,68	482,44	647,16	722,35	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	44,3125	
		Desviación típica en muestra:	20,5347	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
51	75	95	104	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	9,5139	
		Desviación típica en muestra:	5,8438	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
11,31	18,11	23,84	26,45	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	29,6875	
		Desviación típica en muestra:	18,7807	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
35	57	76	84	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	46,4731	
		Desviación típica en muestra:	22,6209	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
53,41	79,75	101,92	112,04	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	45,4436	
		Desviación típica en muestra:	40,4133	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
57,84	104,90	144,50	162,57	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 48	
		Media aritmética en muestra: 154,5075	
		Desviación típica en muestra: 92,3778	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
182,85	290,42	380,93	422,25
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 48	
		Media aritmética en muestra: 17,6875	
		Desviación típica en muestra: 5,5383	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
19	26	31	34
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 48	
		Media aritmética en muestra: 13,3581	
		Desviación típica en muestra: 7,1990	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
15,57	23,95	31,00	34,22

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
1107,61	477,57	477,57	172,92
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
10,51	2,36	2,36	3,11
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
125	109	109	41
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
22,82	22,82	9,35	8,54
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
0,32	0,32	0,87	25,31
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
122,07	74,82	53,35	42,16
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,20	1,22	1,20	1,20
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
254,62	90,18	37,16	20,31
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
33,83	55,02	14,71	5,10
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
467,19	411,82	175,08	123,99
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
19,46	15,14	2,46	6,85
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
37	37	33	19
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
30,71	28,16	13,47	8,94
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
244,67	280,82	0,46	0,54
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
101	68	68	24

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 1495	42° 14' 22N 08° 37' 26W	H. relativa media primavera:	75	
VIGO AEROPUERTO	Altitud: 261 m	H. relativa media verano:	75	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	80	
		H. relativa media invierno:	80	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
1848,77	II			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
1274,87	I	Exposición alta		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	439,3498	
		Desviación típica en muestra:	211,2295	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
503,81	749,07	955,43	1049,64	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	45,0000	
		Desviación típica en muestra:	20,2139	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
51	75	94	103	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	17,3718	
		Desviación típica en muestra:	5,9979	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
19,20	26,17	32,03	34,70	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	3229,1800	
		Desviación típica en muestra:	1838,1488	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
Máxima	Máxima	Máxima	Máxima	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	89,0627	
		Desviación típica en muestra:	40,8675	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
101,53	148,98	188,91	207,14	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	67,4168	
		Desviación típica en muestra:	29,2112	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
76,33	110,25	138,79	151,81	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 295,6569 Desviación típica en muestra: 127,4605
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
334,55	482,55	607,07	663,92
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 18,1600 Desviación típica en muestra: 6,7657
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
20	28	35	38
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 25,9912 Desviación típica en muestra: 8,8902
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
28,70	39,03	47,71	51,68

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
1141,11	1141,11	1141,11	450,45
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
8,24	8,24	8,24	8,49
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
108	108	108	85
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
37,66	24,01	23,12	23,12
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
114,55	286,76	15,48	15,48
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
225,94	181,21	124,41	124,41
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,19	1,17	1,17	1,17
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
166,62	114,57	89,61	62,03
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
68,26	137,12	24,66	23,88
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
618,53	578,87	578,87	239,90
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
26,18	10,50	10,50	21,47
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
45	45	45	17
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
46,77	46,77	46,77	46,77
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
166,51	166,51	166,51	166,51
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
6274	6274	6274	6274

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie 1962-2011 (salvo 2003-2004). Mediciones diarias				
ESTACIÓN 1549	42° 33' 50N 06° 36' 00W	H. relativa media primavera:	65	
PONFERRADA	Altitud: 534 m	H. relativa media verano:	60	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	75	
		H. relativa media invierno:	80	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE	Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos		
648,28	III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
223,35	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	66,7470	
		Desviación típica en muestra:	37,0901	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
78,13	121,32	157,66	174,25	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	35,5833	
		Desviación típica en muestra:	16,0323	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
41	59	75	82	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	12,5916	
		Desviación típica en muestra:	7,2115	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
14,80	23,20	30,27	33,49	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	19,3542	
		Desviación típica en muestra:	8,0970	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
22	31	39	43	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	20,8390	
		Desviación típica en muestra:	10,8804	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
24,18	36,85	47,51	52,37	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	46,8752	
		Desviación típica en muestra:	29,1716	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
55,82	89,79	118,38	131,42	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 48
			Media aritmética en muestra: 45,4340
			Desviación típica en muestra: 22,5988
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
52,37	78,68	100,82	110,93
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 48
			Media aritmética en muestra: 12,1667
			Desviación típica en muestra: 3,6761
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
13	18	21	23
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 48
			Media aritmética en muestra: 19,8004
			Desviación típica en muestra: 9,9963
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
22,87	34,51	44,30	48,77

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
185,33	185,33	185,33	63,92
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
3,24	3,24	3,24	5,32
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
93	79	79	36
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
30,61	29,49	22,01	10,04
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
0,86	1,02	0,32	3,64
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
69,24	69,24	18,17	17,82
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,12	1,12	1,13	1,16
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
144,30	107,73	33,00	33,00
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
16,48	69,24	13,58	13,58
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
107,92	107,92	57,14	48,87
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
19,88	19,88	3,89	4,59
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
24	24	19	17
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
46,48	46,48	22,01	17,55
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
3,88	3,88	0,32	15,40
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
43	43	43	30

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 2030	41° 46' 30N 02° 28' 59W	H. relativa media primavera:	65	
SORIA	Altitud: 1082 m	H. relativa media verano:	60	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
517,40	III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
315,40	III	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	80,7052	
		Desviación típica en muestra:	44,2709	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
94,21	145,62	188,87	208,61	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	31,7000	
		Desviación típica en muestra:	12,8518	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
36	51	63	69	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	30,5360	
		Desviación típica en muestra:	26,9140	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
38,75	70,00	96,29	108,30	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	10,2800	
		Desviación típica en muestra:	6,2098	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
12	19	25	28	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	23,5366	
		Desviación típica en muestra:	8,7568	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
26,21	36,38	44,93	48,84	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	69,0901	
		Desviación típica en muestra:	46,0159	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
83,13	136,56	181,52	202,04	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 50,6350
			Desviación típica en muestra: 22,8453
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
57,61	84,13	106,45	116,64
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 9,5200
			Desviación típica en muestra: 3,0016
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
10	14	17	18
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 40,4044
			Desviación típica en muestra: 26,0012
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
48,34	78,53	103,93	115,53

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
227,33	208,99	129,60	129,60
Pas.viento simut. [N/m2 per.]	Pas.viento simut. [N/m2 per.]	Pas.viento simut. [N/m2 per.]	Pas.viento simut. [N/m2 per.]
6,54	20,23	8,03	8,03
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
81	61	59	44
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
174,89	174,89	33,00	25,52
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
3,24	3,24	11,50	3,95
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
48,70	48,70	39,22	20,75
Pd.viento simut. [N/m2 día]	Pd.viento simut. [N/m2 día]	Pd.viento simut. [N/m2 día]	Pd.viento simut. [N/m2 día]
1,08	1,08	1,10	1,08
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
254,03	254,03	58,26	58,26
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
48,70	48,70	1,45	1,45
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
129,23	129,23	70,49	70,49
Psii.viento simut. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simut. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simut. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simut. [N/m2 per. ii]
28,76	28,76	8,98	8,98
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
20	13	13	13
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
174,89	174,89	33,00	28,13
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
3,24	3,24	11,50	5,01
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
32	32	32	32

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de las series 1962-1983 y 1987-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 2331		42° 21' 22N 03° 37' 57W		H. relativa media primavera:	70
BURGOS-VILLAFRÍA		Altitud: 890 m		H. relativa media verano:	65
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	75
				H. relativa media invierno:	80
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
567,99		III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI			
538,42	III	Exposición moderada			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	47
				Media aritmética en muestra:	156,9850
				Desviación típica en muestra:	81,7256
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
182,13	277,44	357,63	394,24		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	47
				Media aritmética en muestra:	42,2979
				Desviación típica en muestra:	19,5197
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
48	71	90	99		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	47
				Media aritmética en muestra:	41,2867
				Desviación típica en muestra:	18,1075
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
46,86	67,97	85,74	93,85		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	47
				Media aritmética en muestra:	24,8723
				Desviación típica en muestra:	8,6384
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
28	38	46	50		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	47
				Media aritmética en muestra:	38,5551
				Desviación típica en muestra:	15,4884
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
43,32	61,38	76,58	83,52		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	47
				Media aritmética en muestra:	119,8803
				Desviación típica en muestra:	48,3822
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
134,76	191,19	238,67	260,34		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 47
			Media aritmética en muestra: 86,9731
			Desviación típica en muestra: 37,9585
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
98,65	142,92	180,17	197,17
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 47
			Media aritmética en muestra: 10,7447
			Desviación típica en muestra: 3,0210
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
12	15	18	20
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 47
			Media aritmética en muestra: 71,5895
			Desviación típica en muestra: 33,8364
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
82,00	121,46	154,66	169,82

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
438,87	438,87	438,87	318,47
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
20,36	20,36	20,36	18,98
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
94	94	94	91
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
90,62	90,62	90,62	47,01
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
5,50	5,50	5,50	7,31
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
81,48	76,24	49,48	28,94
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,11	1,12	1,10	1,11
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
249,65	197,52	118,32	82,88
Td simultanea [mm/día]	Td simultanea [mm/día]	Td simultanea [mm/día]	Td simultanea [mm/día]
5,91	20,02	49,48	9,49
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
191,87	152,72	152,72	152,72
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
39,70	23,31	23,31	23,31
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
17	17	16	16
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
207,95	97,43	90,62	77,33
Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]
5,01	14,93	5,50	20,47
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
54	54	54	40

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1974-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 2422	41° 39' 00N 04° 46' 00W	H. relativa media primavera:	65	
VALLADOLID	Altitud: 735 m	H. relativa media verano:	50	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	80	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
437,97	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
209,67	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	38	
		Media aritmética en muestra:	58,8370	
		Desviación típica en muestra:	29,7128	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
68,26	103,49	133,14	146,67	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	38	
		Media aritmética en muestra:	34,4737	
		Desviación típica en muestra:	15,9453	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
40	60	77	85	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	38	
		Media aritmética en muestra:	18,4930	
		Desviación típica en muestra:	8,2664	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
21,11	30,92	39,16	42,93	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	38	
		Media aritmética en muestra:	9,1842	
		Desviación típica en muestra:	4,8713	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
11	17	21	24	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	38	
		Media aritmética en muestra:	16,0351	
		Desviación típica en muestra:	5,4821	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
17,77	24,27	29,74	32,24	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	38	
		Media aritmética en muestra:	49,0325	
		Desviación típica en muestra:	24,0988	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
56,67	85,25	109,29	120,27	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 38
			Media aritmética en muestra: 32,8938
			Desviación típica en muestra: 12,5355
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
36,87	51,73	64,24	69,95
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 38
			Media aritmética en muestra: 9,1579
			Desviación típica en muestra: 2,7865
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
10	13	16	17
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 38
			Media aritmética en muestra: 30,0621
			Desviación típica en muestra: 11,3723
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
33,67	47,15	58,50	63,68

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
141,79	141,79	141,79	91,35
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
4,92	4,92	4,92	4,80
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
95	95	95	44
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
47,74	47,74	23,38	23,38
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
27,16	27,16	2,75	2,75
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
28,49	28,49	21,56	17,11
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,10	1,10	1,13	1,12
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
149,90	149,90	52,96	44,34
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
10,52	10,52	6,56	1,07
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
78,13	52,40	40,90	34,52
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
17,20	17,75	10,69	5,08
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
15	15	12	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
57,22	52,96	52,96	43,06
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
1,82	6,56	6,56	3,14
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
21	19	19	19

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de las series 1962-1981 y 1989-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 2444C-2444	40° 39' 33N 04° 40' 48W (hoy)	H. relativa media primavera:	65	
AVILA (x2)	Altitud: 1130 m	H. relativa media verano:	50	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE	Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos		
384,70	IV	No coincide con figura 2.4 HSI		
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI	aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.	
228,82	IV	Protegido	(Leyenda)	
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	43	
		Media aritmética en muestra:	64,5592	
		Desviación típica en muestra:	42,0509	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
77,65	127,02	168,56	187,53	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	43	
		Media aritmética en muestra:	30,9767	
		Desviación típica en muestra:	11,5446	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
35	48	60	65	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	43	
		Media aritmética en muestra:	18,7343	
		Desviación típica en muestra:	13,1236	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
22,82	38,23	51,19	57,11	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	43	
		Media aritmética en muestra:	6,9302	
		Desviación típica en muestra:	3,3089	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
8	12	15	17	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	43	
		Media aritmética en muestra:	20,9270	
		Desviación típica en muestra:	12,3802	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
24,78	39,32	51,55	57,13	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	43	
		Media aritmética en muestra:	42,2811	
		Desviación típica en muestra:	18,7556	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
48,12	70,14	88,67	97,13	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 43
			Media aritmética en muestra: 39,5918
			Desviación típica en muestra: 22,7739
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
46,68	73,42	95,92	106,19
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 43
			Media aritmética en muestra: 8,8140
			Desviación típica en muestra: 2,4424
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
10	12	15	16
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 43
			Media aritmética en muestra: 28,1577
			Desviación típica en muestra: 12,7958
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
32,14	47,16	59,81	65,58

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
223,20	223,20	89,75	89,75
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
10,54	10,54	4,74	4,74
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
66	66	44	44
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
73,89	73,89	44,31	21,41
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
6,88	6,88	1,98	9,02
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
61,40	61,40	40,17	39,31
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,09	1,09	1,10	1,08
Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]
115,11	115,11	67,80	67,64
Td simultanea [mm/día]	Td simultanea [mm/día]	Td simultanea [mm/día]	Td simultanea [mm/día]
0,75	0,75	0,32	1,33
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
102,13	102,13	62,37	42,23
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]
7,38	7,38	6,02	9,49
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
16	13	12	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
73,89	73,89	44,31	40,37
Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]
6,88	6,88	1,98	7,57
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
17	17	17	8

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 2462	40° 46' 50N 04° 00' 37W	H. relativa media primavera:	75	
NAVACERRADA	Altitud: 1894 m	H. relativa media verano:	55	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	75	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
1338,97	II No coincide con HS1 Figura 2.4			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
1114,56	II	Exposición alta		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	391,5284	
		Desviación típica en muestra:	224,1844	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
459,94	720,24	939,26	1039,25	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	47,5200	
		Desviación típica en muestra:	21,1303	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
54	79	99	109	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	27,4078	
		Desviación típica en muestra:	17,7811	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
32,83	53,48	70,85	78,78	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	109,5000	
		Desviación típica en muestra:	45,8350	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
123	177	221	242	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	96,7577	
		Desviación típica en muestra:	44,0202	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
110,19	161,30	204,31	223,94	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	89,0922	
		Desviación típica en muestra:	42,0872	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
101,94	150,80	191,92	210,69	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 222,4169
			Desviación típica en muestra: 113,5610
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
257,07	388,93	499,87	550,52
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 14,3600
			Desviación típica en muestra: 4,7064
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
16	21	26	28
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 43,3871
			Desviación típica en muestra: 18,4551
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
49,02	70,45	88,48	96,71

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
982,95	982,95	916,26	523,66
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
11,45	11,45	12,01	16,59
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
114	114	114	87
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
119,93	54,52	54,52	52,94
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
24,66	4,39	4,39	37,41
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
240,17	185,11	126,92	87,48
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,01	1,01	1,00	1,01
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
207,26	129,82	129,82	129,82
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
90,45	72,97	72,97	72,97
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
612,76	612,76	454,91	203,86
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
23,61	23,61	34,35	14,17
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
32	32	17	17
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
119,93	67,35	62,80	62,80
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
24,66	63,27	8,45	8,45
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
220	220	122	91

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de las series 1962-1985 y 1989-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 2465A-2465	40° 56' 52N 04° 07' 38W(hoy)	H. relativa media primavera:	65	
SEGOVIA (x2)	Alt.: 990-1005 m	H. relativa media verano:	60	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	65	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos	
467,40	IV No coincide con figura 2.4 HSI			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximadas a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
240,82	IV	Protegido		(Leyenda)
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	47	
		Media aritmética en muestra:	60,0317	
		Desviación típica en muestra:	41,5109	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
72,80	121,21	161,95	180,54	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	47	
		Media aritmética en muestra:	32,8936	
		Desviación típica en muestra:	15,0817	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
38	55	70	77	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	47	
		Media aritmética en muestra:	20,1550	
		Desviación típica en muestra:	15,7303	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
24,99	43,34	58,78	65,82	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	47	
		Media aritmética en muestra:	8,1064	
		Desviación típica en muestra:	3,9531	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
9	14	18	20	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	47	
		Media aritmética en muestra:	19,2175	
		Desviación típica en muestra:	8,8971	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
21,95	32,33	41,06	45,05	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	47	
		Media aritmética en muestra:	57,7913	
		Desviación típica en muestra:	30,8908	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
67,29	103,32	133,63	147,47	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 47
			Media aritmética en muestra: 33,0709
			Desviación típica en muestra: 15,3737
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
37,80	55,73	70,82	77,70
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 47
			Media aritmética en muestra: 9,0851
			Desviación típica en muestra: 2,5668
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
10	13	15	17
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 47
			Media aritmética en muestra: 33,4410
			Desviación típica en muestra: 18,8667
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
39,24	61,25	79,76	88,21

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
242,19	242,19	242,19	79,42
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
10,85	10,85	10,85	13,94
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
95	95	95	42
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
68,87	68,87	60,34	60,34
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
48,39	48,39	11,91	11,91
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
42,61	42,61	42,61	24,97
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,10	1,10	1,10	1,07
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
194,22	194,22	126,61	95,16
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
27,23	27,23	0,23	0,71
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
85,22	85,22	65,84	42,56
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
10,90	10,90	9,88	21,59
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
16	15	15	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
95,16	95,16	95,16	95,16
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
0,71	0,71	0,71	0,71
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
22	22	14	13

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie 1962-2011 (salvo 1965 y 2002). Mediciones diarias				
ESTACIÓN 2539	41° 42' 00N 04° 51' 00W	H. relativa media primavera:	65	
VALLADOLID-VILLANUBLA	Altitud: 846 m	H. relativa media verano:	50	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	80	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
453,48	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
405,33	III	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	111,3267	
		Desviación típica en muestra:	57,0737	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
128,84	195,30	251,22	276,74	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	30,9167	
		Desviación típica en muestra:	14,5700	
Periodo [días] TR=3 años	Periodo [días] TR=10 años	Periodo [días] TR=30 años	Periodo [días] TR=50 años	
35	52	67	73	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	43,9497	
		Desviación típica en muestra:	14,7366	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
48,47	65,63	80,07	86,66	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	10,6875	
		Desviación típica en muestra:	4,8911	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
12	18	23	25	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	34,2718	
		Desviación típica en muestra:	13,4426	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
38,40	54,05	67,22	73,23	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	48	
		Media aritmética en muestra:	104,9813	
		Desviación típica en muestra:	38,3936	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
116,76	161,47	199,09	216,26	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 48
			Media aritmética en muestra: 68,8643
			Desviación típica en muestra: 29,2074
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
77,82	111,84	140,45	153,52
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 48
			Media aritmética en muestra: 9,1458
			Desviación típica en muestra: 3,0345
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
10	14	17	18
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 48
			Media aritmética en muestra: 69,2124
			Desviación típica en muestra: 27,4267
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
77,63	109,56	136,44	148,70

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
282,39	282,39	173,17	90,39
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
13,04	13,04	22,50	8,80
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
88	88	46	46
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
79,82	66,05	45,64	45,64
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
27,94	20,09	4,94	4,94
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
90,05	56,03	56,03	33,01
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,09	1,11	1,11	1,10
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
214,51	214,51	137,27	98,13
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
16,32	16,32	47,15	4,17
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
167,94	125,54	125,44	46,71
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
52,62	22,78	30,72	13,97
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
17	17	12	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
179,46	111,92	98,13	98,13
Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]
7,32	1,08	4,17	4,17
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
32	20	20	17

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2010. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 2614		41° 31' 00N 05° 44' 01W		H. relativa media primavera:	65
ZAMORA		Altitud: 656 m		H. relativa media verano:	50
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	70
				H. relativa media invierno:	80
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
387,00		IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI			
209,60	IV	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	49
				Media aritmética en muestra:	59,4505
				Desviación típica en muestra:	34,3720
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
69,97	109,93	143,56	158,91		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	49
				Media aritmética en muestra:	30,1224
				Desviación típica en muestra:	13,0300
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
34	49	62	68		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	49
				Media aritmética en muestra:	16,4110
				Desviación típica en muestra:	7,8287
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
18,81	27,91	35,57	39,06		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	49
				Media aritmética en muestra:	8,3469
				Desviación típica en muestra:	5,8294
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
10	17	23	25		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	49
				Media aritmética en muestra:	18,0208
				Desviación típica en muestra:	7,2128
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
20,23	28,61	35,67	38,89		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	49
				Media aritmética en muestra:	36,6879
				Desviación típica en muestra:	16,4464
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
41,72	60,84	76,93	84,28		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 49
			Media aritmética en muestra: 37,6796
			Desviación típica en muestra: 21,2277
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
44,17	68,86	89,63	99,11
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 49
			Media aritmética en muestra: 9,6735
			Desviación típica en muestra: 3,7274
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
11	15	19	20
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 49
			Media aritmética en muestra: 25,0982
			Desviación típica en muestra: 11,5930
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
28,65	42,12	53,47	58,64

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
194,48	116,06	102,86	76,78
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
11,29	4,57	2,82	4,50
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
78	78	78	41
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
39,70	34,66	18,48	17,96
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
4,16	2,19	2,30	2,51
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
43,41	35,44	23,26	13,82
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,14	1,14	1,13	1,15
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
77,13	77,13	34,28	17,96
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
13,90	13,90	5,27	2,51
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
112,89	66,20	56,19	35,18
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
18,06	19,25	4,11	6,25
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
17	17	14	14
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
64,55	45,27	34,28	17,96
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
9,49	33,58	5,27	2,51
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
27	27	27	27

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 2661	42° 35' 20N 05° 38' 58W	H. relativa media primavera:	65	
LEÓN AEROPUERTO	Altitud: 916 m	H. relativa media verano:	60	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	80	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
535,25	III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
308,68	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	84,7109	
		Desviación típica en muestra:	50,9558	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
100,26	159,43	209,21	231,93	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	30,8800	
		Desviación típica en muestra:	12,0576	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
35	49	60	66	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	32,0286	
		Desviación típica en muestra:	12,7182	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
35,91	50,68	63,10	68,77	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	11,9600	
		Desviación típica en muestra:	7,9974	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
14	24	31	35	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	23,6988	
		Desviación típica en muestra:	9,1321	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
26,49	37,09	46,01	50,08	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	69,9577	
		Desviación típica en muestra:	24,6731	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
77,49	106,13	130,24	141,24	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 54,4097
			Desviación típica en muestra: 24,7735
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
61,97	90,73	114,94	125,99
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 10,3400
			Desviación típica en muestra: 3,3562
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
11	15	19	20
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 43,0191
			Desviación típica en muestra: 15,0353
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
47,61	65,06	79,75	86,46

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
265,64	265,64	193,71	84,20
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
7,92	7,92	10,53	6,39
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
57	57	52	39
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
73,88	56,40	52,58	52,58
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
14,81	0,53	1,37	1,37
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
64,19	64,19	43,90	22,27
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,09	1,09	1,13	1,10
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
149,73	149,73	69,84	69,84
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
11,09	11,09	5,56	5,56
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
136,78	136,78	83,66	69,85
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
17,22	17,22	13,19	15,78
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
19	19	17	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
83,47	82,01	54,40	54,40
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
14,84	5,24	11,18	11,18
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
42	42	34	21

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 2867	40° 57' 34N 05° 29' 54W	H. relativa media primavera:	65	
SALAMANCA AEROPUERTO	Altitud: 790 m	H. relativa media verano:	55	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	80	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
374,66	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
320,54	III	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	87,5192	
		Desviación típica en muestra:	39,9496	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
99,71	146,10	185,12	202,94	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	29,2400	
		Desviación típica en muestra:	10,8084	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
33	45	56	60	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	45,6414	
		Desviación típica en muestra:	20,3115	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
51,84	75,42	95,27	104,33	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	7,7400	
		Desviación típica en muestra:	3,5203	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
9	13	16	18	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	28,3525	
		Desviación típica en muestra:	12,0274	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
32,02	45,99	57,74	63,10	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	107,0277	
		Desviación típica en muestra:	45,9951	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
121,06	174,47	219,40	239,92	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 56,0940 Desviación típica en muestra: 26,4269	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
64,16	94,84	120,66	132,45
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 9,0400 Desviación típica en muestra: 2,9931	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
10	13	16	18
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 72,0576 Desviación típica en muestra: 32,3899	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
81,94	119,55	151,19	165,64

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
242,02	242,02	138,00	101,51
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
20,50	20,50	19,70	16,85
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
59	57	40	40
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
113,59	58,53	58,53	58,53
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
7,32	10,24	10,24	10,24
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
70,21	70,21	50,91	25,40
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,11	1,11	1,13	1,12
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
226,33	184,71	175,17	79,94
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
1,52	17,10	41,26	0,91
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
134,54	123,57	69,22	61,42
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
50,06	53,62	29,79	28,11
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
16	15	12	11
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
162,83	78,32	78,22	78,05
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
10,26	0,63	48,70	7,22
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
19	16	16	16

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de las series 1970-1982, 1989-1990 y 1992-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 2870	40° 57' 23N 05° 39' 41W	H. relativa media primavera:	65	
SALAMANCA	Altitud: 790 m	H. relativa media verano:	55	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	80	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
401,86	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
227,79	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	30	
		Media aritmética en muestra:	66,2132	
		Desviación típica en muestra:	38,2256	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
78,81	125,12	164,08	181,87	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	30	
		Media aritmética en muestra:	30,9667	
		Desviación típica en muestra:	13,5166	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
35	52	66	72	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	30	
		Media aritmética en muestra:	20,8686	
		Desviación típica en muestra:	15,9031	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
26,11	45,38	61,59	68,99	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	30	
		Media aritmética en muestra:	10,1000	
		Desviación típica en muestra:	6,6048	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
12	20	27	30	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	30	
		Media aritmética en muestra:	22,1783	
		Desviación típica en muestra:	12,2942	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
26,23	41,12	53,66	59,38	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	30	
		Media aritmética en muestra:	53,6475	
		Desviación típica en muestra:	48,7421	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
69,71	128,76	178,44	201,13	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 30 Media aritmética en muestra: 43,8699 Desviación típica en muestra: 28,0065	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
53,10	87,03	115,58	128,61
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 30 Media aritmética en muestra: 9,4667 Desviación típica en muestra: 2,9067	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
10	14	17	18
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 30 Media aritmética en muestra: 29,6888 Desviación típica en muestra: 23,1178	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
37,31	65,31	88,88	99,64

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
175,00	128,26	91,65	51,76
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
14,65	21,88	7,47	6,20
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
81	81	41	41
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
59,42	26,79	16,99	16,99
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
50,43	33,96	0,30	0,30
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
62,05	29,36	26,86	14,41
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,12	1,12	1,11	1,08
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
211,04	83,30	25,74	23,05
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
0,30	29,36	0,19	13,32
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
138,36	62,99	41,47	41,47
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
22,66	18,72	7,73	7,73
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
16	16	16	16
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
92,88	41,82	17,99	17,99
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
8,65	1,21	2,30	2,30
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
36	18	18	18

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de las series 1962-96; 1999-2006 y 2008-09. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 3013	40° 50' 40N 01° 53' 07W	H. relativa media primavera:	60	
MOLINA DE ARAGÓN	Altitud: 1056 m	H. relativa media verano:	55	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	65	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
501,11	III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
243,54	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	45	
		Media aritmética en muestra:	54,8089	
		Desviación típica en muestra:	26,9585	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
63,15	94,69	121,23	133,35	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	45	
		Media aritmética en muestra:	29,4000	
		Desviación típica en muestra:	11,5034	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
33	46	58	63	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	45	
		Media aritmética en muestra:	22,2057	
		Desviación típica en muestra:	11,9073	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
25,89	39,82	51,54	56,90	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	45	
		Media aritmética en muestra:	6,9333	
		Desviación típica en muestra:	4,2026	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
8	13	17	19	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	45	
		Media aritmética en muestra:	20,0269	
		Desviación típica en muestra:	9,8867	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
23,09	34,65	44,39	48,83	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	45	
		Media aritmética en muestra:	49,3082	
		Desviación típica en muestra:	22,1861	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
56,17	82,13	103,97	113,94	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>			Número de datos en muestra: 45 Media aritmética en muestra: 33,5543 Desviación típica en muestra: 15,9770
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
38,50	57,19	72,92	80,10
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>			Número de datos en muestra: 45 Media aritmética en muestra: 8,1333 Desviación típica en muestra: 2,4819
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	12	14	15
Presión eólica escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>			Número de datos en muestra: 45 Media aritmética en muestra: 34,4146 Desviación típica en muestra: 18,9617
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
40,28	62,47	81,13	89,66

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
126,87	126,87	67,86	67,86
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
7,24	7,24	7,53	7,53
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
61	61	58	25
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
70,01	36,59	22,44	18,82
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
2,90	16,43	9,22	0,55
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
49,11	49,11	19,68	13,31
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,11	1,11	1,10	1,20
Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]
105,10	105,10	40,81	40,81
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
26,84	26,84	0,13	0,13
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
86,99	86,99	38,30	34,77
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]
48,32	48,32	7,06	10,75
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
17	12	12	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
105,10	105,10	22,44	18,82
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
26,84	26,84	9,22	0,55
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
22	13	13	8

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 3129	40° 28' 00N 03° 33' 20W	H. relativa media primavera:	55	
MADRID AEROPUERTO	Altitud: 609 m	H. relativa media verano:	45	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	60	
		H. relativa media invierno:	70	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
394,25	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
238,76	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	65,1879	
		Desviación típica en muestra:	30,9939	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
74,65	110,63	140,91	154,74	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	23,3000	
		Desviación típica en muestra:	8,8640	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
26	36	45	49	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	34,6882	
		Desviación típica en muestra:	16,7641	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
39,80	59,27	75,65	83,12	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	5,6600	
		Desviación típica en muestra:	2,1034	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
6	9	11	12	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	23,8148	
		Desviación típica en muestra:	10,9816	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
27,17	39,92	50,65	55,54	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	67,4931	
		Desviación típica en muestra:	34,5170	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
78,03	118,10	151,83	167,22	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 47,8746
			Desviación típica en muestra: 23,5379
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
55,06	82,39	105,38	115,88
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 7,7200
			Desviación típica en muestra: 2,4003
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
8	11	14	15
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 48,6933
			Desviación típica en muestra: 24,4694
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
56,16	84,57	108,48	119,39

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
158,97	158,97	100,63	100,63
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
35,31	35,31	11,86	11,86
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
45	45	41	41
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
90,55	90,55	58,69	58,69
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
13,99	13,99	2,02	2,02
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
65,72	65,72	30,45	30,45
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,13	1,13	1,14	1,14
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
196,83	196,83	61,19	61,19
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
10,31	10,31	0,30	0,30
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
135,78	135,78	78,74	78,74
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
41,64	41,64	17,25	17,25
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
15	13	12	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
158,38	158,38	61,19	61,19
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
5,00	5,00	0,30	0,30
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
11	11	8	8

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1966-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 3175	40° 29' 00N 03° 27' 01W	H. relativa media primavera:	60	
MADRID-TORREJÓN	Altitud: 611 m	H. relativa media verano:	45	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	60	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
363,52	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
213,17	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	46	
		Media aritmética en muestra:	56,5141	
		Desviación típica en muestra:	26,9215	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
64,82	96,27	122,73	134,80	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	46	
		Media aritmética en muestra:	23,4565	
		Desviación típica en muestra:	9,9994	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
27	38	48	53	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	46	
		Media aritmética en muestra:	24,6437	
		Desviación típica en muestra:	12,2021	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
28,41	42,66	54,65	60,13	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	46	
		Media aritmética en muestra:	8,1087	
		Desviación típica en muestra:	4,3350	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
9	15	19	21	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	46	
		Media aritmética en muestra:	20,2681	
		Desviación típica en muestra:	9,0296	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
23,05	33,60	42,48	46,53	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	46	
		Media aritmética en muestra:	48,9220	
		Desviación típica en muestra:	17,9774	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
54,47	75,47	93,14	101,20	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 46 Media aritmética en muestra: 37,7114 Desviación típica en muestra: 19,5023
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
43,73	66,51	85,68	94,43
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 46 Media aritmética en muestra: 7,0000 Desviación típica en muestra: 2,7663
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
8	11	14	15
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 46 Media aritmética en muestra: 34,3574 Desviación típica en muestra: 14,3626
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
38,79	55,57	69,68	76,13

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
116,06	108,45	101,32	101,32
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
8,62	5,68	10,11	10,11
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
44	44	41	41
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
60,00	60,00	43,70	43,70
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
8,79	8,79	0,47	0,47
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
47,71	47,71	38,36	33,24
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,14	1,14	1,15	1,17
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
104,04	104,04	67,05	67,05
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
37,07	37,07	27,09	27,09
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
93,93	79,93	78,89	78,89
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
13,98	29,18	13,15	13,15
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
14	14	12	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
60,66	60,00	43,70	43,70
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
32,64	8,79	0,47	0,47
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
22	22	22	19

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie 1962-2011 (salvo 2002-2003). Mediciones diarias					
ESTACIÓN 3195		40° 24' 43N 03° 40' 41W		H. relativa media primavera:	55
MADRID		Altitud: 667 m		H. relativa media verano:	45
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	60
				H. relativa media invierno:	70
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
439,73		IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia		Grado de exposición aDRI		
205,67	IV		Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	48	
			Media aritmética en muestra:	57,4018	
			Desviación típica en muestra:	28,9810	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
66,29	100,04	128,44	141,40		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	48	
			Media aritmética en muestra:	28,6250	
			Desviación típica en muestra:	11,7040	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
32	46	57	63		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	48	
			Media aritmética en muestra:	19,3732	
			Desviación típica en muestra:	17,1384	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
24,63	44,59	61,38	69,05		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	48	
			Media aritmética en muestra:	6,0833	
			Desviación típica en muestra:	2,2623	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
7	9	12	13		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	48	
			Media aritmética en muestra:	19,9548	
			Desviación típica en muestra:	9,4221	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
22,85	33,82	43,05	47,26		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	48	
			Media aritmética en muestra:	44,8646	
			Desviación típica en muestra:	31,6061	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
54,56	91,36	122,33	136,47		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 48
			Media aritmética en muestra: 37,7559
			Desviación típica en muestra: 18,1929
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
43,34	64,52	82,35	90,48
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 48
			Media aritmética en muestra: 9,2083
			Desviación típica en muestra: 2,8792
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
10	13	16	18
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 48
			Media aritmética en muestra: 27,7511
			Desviación típica en muestra: 20,2643
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
33,97	57,56	77,42	86,48

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
149,22	125,63	78,72	74,99
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
15,64	3,97	5,02	5,77
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
61	61	39	38
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
98,84	28,88	14,20	14,20
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
0,70	9,01	5,05	5,05
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
51,79	33,89	20,31	20,31
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,14	1,14	1,16	1,16
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
127,71	88,84	17,98	16,18
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
23,01	33,89	0,43	1,89
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
93,22	73,11	51,12	51,12
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
18,75	14,56	4,74	4,74
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
17	14	14	14
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
98,84	64,84	14,20	14,20
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
0,70	0,30	5,05	5,05
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
12	12	11	11

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 3196	40° 22' 40N 03° 47' 21W	H. relativa media primavera:	55	
MADRID-CUATROVIENTOS	Altitud: 687 m	H. relativa media verano:	45	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	60	
		H. relativa media invierno:	70	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
450,70	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
281,25	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	76,3925	
		Desviación típica en muestra:	37,1622	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
87,73	130,88	167,19	183,76	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	25,1800	
		Desviación típica en muestra:	9,6596	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
28	39	49	53	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	28,8785	
		Desviación típica en muestra:	11,4511	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
32,37	45,67	56,86	61,96	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	7,0400	
		Desviación típica en muestra:	2,4573	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
8	11	13	14	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	25,8316	
		Desviación típica en muestra:	13,4195	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
29,93	45,51	58,62	64,60	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	63,1257	
		Desviación típica en muestra:	23,3089	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
70,24	97,30	120,07	130,47	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Media aritmética en muestra: 53,0225	
		Desviación típica en muestra: 26,4936	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
61,11	91,87	117,75	129,57
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Media aritmética en muestra: 8,2800	
		Desviación típica en muestra: 2,4823	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	12	14	15
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Media aritmética en muestra: 40,7626	
		Desviación típica en muestra: 16,5415	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
45,81	65,02	81,18	88,55

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
173,72	173,72	136,28	105,56
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
26,67	26,67	13,42	9,54
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
52	52	44	44
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
63,69	60,29	49,43	35,07
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
6,25	19,89	2,04	13,33
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
88,45	41,51	27,35	23,35
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,13	1,12	1,13	1,13
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
138,20	85,48	73,15	73,15
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
0,24	20,97	12,44	12,44
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
140,58	121,20	82,42	82,42
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
32,90	22,76	13,46	13,46
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
15	12	12	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
101,78	85,48	53,07	44,41
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
4,48	20,97	7,87	3,33
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
14	12	10	8

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 3200	40° 18' 00N 03° 43' 21W	H. relativa media primavera:		55
MADRID-GETAFE	Altitud: 617 m	H. relativa media verano:		45
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:		60
		H. relativa media invierno:		70
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
395,36	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		
283,57	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		50
		Media aritmética en muestra:		74,3261
		Desviación típica en muestra:		37,9622
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
85,91	129,99	167,08	184,01	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		50
		Media aritmética en muestra:		22,0400
		Desviación típica en muestra:		8,7177
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
25	35	43	47	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		50
		Media aritmética en muestra:		40,9627
		Desviación típica en muestra:		15,7001
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
45,75	63,98	79,32	86,32	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		50
		Media aritmética en muestra:		5,5600
		Desviación típica en muestra:		2,2818
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
6	9	11	12	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		50
		Media aritmética en muestra:		26,2697
		Desviación típica en muestra:		11,2465
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
29,70	42,76	53,75	58,76	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		50
		Media aritmética en muestra:		86,3779
		Desviación típica en muestra:		34,6088
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
96,94	137,12	170,93	186,37	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 50,0104 Desviación típica en muestra: 21,9586	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
56,71	82,21	103,66	113,45
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 7,6000 Desviación típica en muestra: 1,9799	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
8	11	12	13
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 57,2555 Desviación típica en muestra: 27,4255	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
65,62	97,47	124,26	136,49

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
205,41	154,99	137,17	101,49
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
26,99	8,57	16,15	11,98
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
51	51	39	31
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
89,15	89,15	58,42	58,42
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
22,06	22,06	3,93	3,93
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
69,68	53,68	28,74	27,80
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,13	1,13	1,12	1,17
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
214,50	136,07	97,29	97,29
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
28,56	2,16	6,57	6,57
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
108,47	101,50	55,59	50,54
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
22,47	32,01	21,54	10,18
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
15	11	8	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
160,82	136,07	67,16	58,42
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
23,02	2,16	4,04	3,93
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
12	12	12	12

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 3269-3260B	39° 53' 05N 04° 02' 58W(hoy)	H. relativa media primavera:	55	
TOLEDO (x2)	Alt.: 540-515 m	H. relativa media verano:	40	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	65	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos	
360,76	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximadas a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
193,24	IV	Protegido		(Leyenda)
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	51,2741	
		Desviación típica en muestra:	25,2226	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
58,97	88,26	112,90	124,15	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	25,7400	
		Desviación típica en muestra:	9,8748	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
29	40	50	54	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	25,4063	
		Desviación típica en muestra:	13,2655	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
29,45	44,86	57,82	63,73	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	7,1000	
		Desviación típica en muestra:	3,7430	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
8	13	16	18	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	21,8287	
		Desviación típica en muestra:	14,0911	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
26,13	42,49	56,26	62,54	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	61,4551	
		Desviación típica en muestra:	23,4504	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
68,61	95,84	118,75	129,21	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 37,0816
			Desviación típica en muestra: 18,0587
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
42,59	63,56	81,20	89,26
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 8,1600
			Desviación típica en muestra: 2,4687
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	12	14	15
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 41,0125
			Desviación típica en muestra: 18,0053
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
46,51	67,41	85,00	93,03

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
127,72	127,72	115,60	115,60
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
9,89	9,89	9,79	9,79
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
55	55	44	44
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
70,14	70,14	70,14	70,14
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
0,32	0,32	0,32	0,32
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
97,77	97,77	97,77	97,77
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,14	1,14	1,14	1,14
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
158,67	158,67	89,31	70,14
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
3,04	3,04	7,80	0,32
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
98,36	98,36	98,36	98,36
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
14,10	14,10	14,10	14,10
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
16	14	14	14
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
92,69	92,69	89,31	70,14
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
6,42	6,42	7,80	0,32
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
24	24	24	24

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 3469-3469A	39° 28' 20N 06° 20' 22W(hoy)	H. relativa media primavera: H. relativa media verano: H. relativa media otoño: H. relativa media invierno:	60	
CÁCERES (x2)	Alt.: 459-405 m		40	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.			65	
			75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos	
522,92	III No coincide con figura 2.4 HSI			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximadas a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
422,33	III	Protegido		(Leyenda)
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	140,2212	
		Desviación típica en muestra:	85,4457	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
166,30	265,51	348,98	387,09	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	27,7800	
		Desviación típica en muestra:	11,4145	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
31	45	56	61	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	28,7477	
		Desviación típica en muestra:	13,7172	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
32,93	48,86	62,26	68,38	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	18,2200	
		Desviación típica en muestra:	8,4078	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
21	31	39	43	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	38,9463	
		Desviación típica en muestra:	13,9504	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
43,20	59,40	73,03	79,25	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	73,7155	
		Desviación típica en muestra:	45,4854	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
87,60	140,41	184,85	205,13	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Media aritmética en muestra: 91,3642	
		Desviación típica en muestra: 45,1661	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
105,15	157,59	201,71	221,86
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Media aritmética en muestra: 9,6000	
		Desviación típica en muestra: 2,7423	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
10	14	16	18
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Media aritmética en muestra: 44,0855	
		Desviación típica en muestra: 22,0269	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
50,81	76,38	97,90	107,73

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
421,83	421,83	221,50	138,77
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
11,72	11,72	11,95	6,85
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
55	55	51	43
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
79,30	47,60	39,88	26,61
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
8,31	20,13	45,59	0,51
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
82,38	57,70	49,77	28,94
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,16	1,17	1,14	1,18
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
248,51	248,51	62,95	37,76
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
49,44	49,44	39,12	2,27
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
233,02	168,05	96,24	95,36
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
53,96	16,16	14,53	9,30
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
17	17	17	17
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
122,30	75,60	54,98	26,61
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
4,04	22,02	2,90	0,51
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
40	40	36	33

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de las series 1962-1965 y 1971-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 4121C-4121	38° 59' 22N 03° 55' 11W(hoy)	H. relativa media primavera:	60	
CIUDAD REAL (x2)	Alt.: 627-628 m	H. relativa media verano:	45	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	65	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos	
424,06	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximadas a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
213,06	IV	Protegido		(Leyenda)
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	45	
		Media aritmética en muestra:	59,7863	
		Desviación típica en muestra:	35,7758	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
70,86	112,71	147,93	164,01	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	45	
		Media aritmética en muestra:	26,0889	
		Desviación típica en muestra:	8,1044	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
29	38	46	50	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	45	
		Media aritmética en muestra:	16,6394	
		Desviación típica en muestra:	10,2750	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
19,82	31,84	41,96	46,57	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	45	
		Media aritmética en muestra:	10,1556	
		Desviación típica en muestra:	6,2679	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
12	19	26	28	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	45	
		Media aritmética en muestra:	19,2120	
		Desviación típica en muestra:	9,6002	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
22,18	33,41	42,87	47,18	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	45	
		Media aritmética en muestra:	46,0510	
		Desviación típica en muestra:	40,7441	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
58,66	106,33	146,44	164,75	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra: 45 Media aritmética en muestra: 39,4306 Desviación típica en muestra: 23,2658	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
46,63	73,85	96,75	107,21
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra: 45 Media aritmética en muestra: 8,3111 Desviación típica en muestra: 2,2093	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	12	14	15
Presión eólica escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra: 45 Media aritmética en muestra: 27,5941 Desviación típica en muestra: 21,8710	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
34,36	59,95	81,48	91,31

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
179,55	143,46	143,46	143,46
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
22,02	5,76	5,76	5,76
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
51	51	38	38
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
46,67	29,84	29,84	18,71
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
2,66	3,48	3,48	2,80
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
59,11	33,44	25,47	25,47
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,16	1,17	1,14	1,14
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
213,47	80,40	38,15	38,15
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
30,36	11,63	1,47	1,47
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
101,48	101,48	101,48	101,48
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
8,97	8,97	8,97	8,97
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
13	13	13	13
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
111,82	38,15	38,15	38,15
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
37,72	1,47	1,47	1,47
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
32	32	32	32

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 4452	38° 53' 00N 06° 49' 45W	H. relativa media primavera:	65	
BADAJOS AEROPUERTO	Altitud: 185 m	H. relativa media verano:	50	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	65	
		H. relativa media invierno:	80	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
473,63	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
333,95	III	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	100,3838	
		Desviación típica en muestra:	58,8181	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
118,33	186,63	244,09	270,32	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	26,3000	
		Desviación típica en muestra:	9,9925	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
29	41	51	55	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	27,9681	
		Desviación típica en muestra:	9,3040	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
30,81	41,61	50,70	54,85	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	16,7600	
		Desviación típica en muestra:	8,7899	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
19	30	38	42	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	30,6554	
		Desviación típica en muestra:	12,0377	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
34,33	48,31	60,07	65,43	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	63,7133	
		Desviación típica en muestra:	23,6408	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
70,93	98,38	121,47	132,02	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 69,7462 Desviación típica en muestra: 35,6438	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
80,62	122,01	156,83	172,73
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 9,2600 Desviación típica en muestra: 3,1800	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
10	14	17	18
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 39,6498 Desviación típica en muestra: 12,9223	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
43,59	58,60	71,22	76,99

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
313,23	313,23	197,42	197,42
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
12,91	12,91	10,76	10,76
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
51	51	40	38
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
50,97	48,56	42,02	32,27
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
5,88	18,20	11,05	38,43
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
69,61	65,29	45,51	24,65
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,19	1,17	1,20	1,22
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
132,98	128,39	69,54	69,54
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
14,91	1,76	7,67	7,67
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
207,53	124,41	115,95	115,95
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
33,17	16,00	15,35	15,35
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
18	16	12	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
77,02	56,91	50,39	47,51
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
1,12	17,62	3,61	4,93
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
53	53	53	53

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 4605-4642E		37° 16' 48N 06° 54' 35W(hoy)		H. relativa media primavera:	65
HUELVA (x2)		Alt.: 17-19 m		H. relativa media verano:	55
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	65
				H. relativa media invierno:	75
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos
517,24		III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximadas a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		(Leyenda)	
354,00	III	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	112,5795	
			Desviación típica en muestra:	76,2758	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
135,86	224,42	298,94	332,96		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	24,3800	
			Desviación típica en muestra:	11,2159	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
28	41	52	57		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	26,2529	
			Desviación típica en muestra:	12,6277	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
30,11	44,77	57,11	62,74		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	17,8600	
			Desviación típica en muestra:	9,9439	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
21	32	42	47		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	42,4319	
			Desviación típica en muestra:	20,6244	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
48,73	72,67	92,82	102,02		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	54,7189	
			Desviación típica en muestra:	27,4798	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
63,10	95,01	121,86	134,11		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 77,2705 Desviación típica en muestra: 34,3975
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
87,77	127,71	161,31	176,65
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 8,2800 Desviación típica en muestra: 2,8498
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	12	15	17
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 34,5371 Desviación típica en muestra: 13,1303
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
38,54	53,79	66,62	72,47

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
389,08	389,08	241,41	164,46
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
8,17	8,17	9,04	6,58
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
58	58	40	37
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
86,17	42,31	42,31	29,56
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
2,17	31,18	31,18	78,03
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
103,09	88,92	52,35	52,35
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,20	1,18	1,21	1,21
Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]
140,45	79,21	44,01	41,65
Td simultanea [mm/día]	Td simultanea [mm/día]	Td simultanea [mm/día]	Td simultanea [mm/día]
103,09	0,87	11,85	18,75
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
176,96	157,90	151,84	151,84
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]
34,07	13,58	13,66	13,66
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
17	17	12	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
86,17	55,60	42,31	31,31
Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]
2,17	1,73	31,18	1,31
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
53	53	44	44

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos de las series 1974-83; 1990-92; 1994-2001; 2003-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 5270-5270B	37° 46' 40N 03° 48' 27W(hoy)	H. relativa media primavera:	60	
JAÉN (x2)	Alt.: 510-582 m	H. relativa media verano:	50	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	65	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE	Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos		
490,72	IV	No coincide con Figura 2.4 HSI		
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximadas a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
252,84	IV	Protegido		(Leyenda)
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	30	
		Media aritmética en muestra:	85,6302	
		Desviación típica en muestra:	49,9799	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
102,10	162,65	213,60	236,85	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	30	
		Media aritmética en muestra:	24,1667	
		Desviación típica en muestra:	9,5885	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
27	39	49	53	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	30	
		Media aritmética en muestra:	16,7166	
		Desviación típica en muestra:	10,7638	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
20,26	33,30	44,28	49,28	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	30	
		Media aritmética en muestra:	12,4000	
		Desviación típica en muestra:	8,7163	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
15	26	35	39	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	30	
		Media aritmética en muestra:	38,4768	
		Desviación típica en muestra:	21,0930	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
45,43	70,98	92,48	102,30	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	30	
		Media aritmética en muestra:	49,4851	
		Desviación típica en muestra:	29,8568	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
59,32	95,49	125,93	139,82	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 30	
		Media aritmética en muestra: 69,7581	
		Desviación típica en muestra: 41,0388	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
83,28	133,00	174,83	193,93
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 30	
		Media aritmética en muestra: 7,7333	
		Desviación típica en muestra: 2,6700	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	12	15	16
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 30	
		Media aritmética en muestra: 26,0730	
		Desviación típica en muestra: 12,1196	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
30,07	44,75	57,10	62,74

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
220,88	220,88	190,62	190,62
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
20,07	20,07	5,99	5,99
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
42	41	41	38
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
53,69	40,14	18,95	17,24
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
11,83	1,00	36,01	18,46
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
110,91	110,91	36,25	32,80
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,13	1,13	1,13	1,13
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
168,79	168,79	52,27	25,84
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
0,26	0,26	8,41	2,51
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
191,45	151,82	105,91	105,91
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
41,33	33,40	6,57	6,57
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
15	15	14	14
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
57,23	41,23	37,81	19,61
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
7,27	18,85	2,27	1,40
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
47	47	47	47

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de las series 1962-64; 1969-81 y 1987-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 5402	37° 50' 39N 04° 50' 46W	H. relativa media primavera:	60	
CÓRDOBA AEROPUERTO	Altitud: 90 m	H. relativa media verano:	45	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	65	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
616,02	III No coincide con Figura 2.4 HSI			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
398,34	III	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	140,6170	
		Desviación típica en muestra:	89,7215	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
168,75	274,48	363,44	404,05	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	23,8537	
		Desviación típica en muestra:	10,4824	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
27	39	50	55	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	28,8684	
		Desviación típica en muestra:	15,8405	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
33,83	52,50	68,21	75,38	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	18,7561	
		Desviación típica en muestra:	10,9227	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
22	35	46	51	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	46,7976	
		Desviación típica en muestra:	21,7509	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
53,62	79,25	100,82	110,66	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	84,4870	
		Desviación típica en muestra:	48,4294	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
99,67	156,74	204,76	226,68	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 41	
		Media aritmética en muestra: 101,8629	
		Desviación típica en muestra: 58,8210	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
120,30	189,62	247,95	274,57
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 41	
		Media aritmética en muestra: 8,1951	
		Desviación típica en muestra: 2,9977	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	13	16	17
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 41	
		Media aritmética en muestra: 39,1001	
		Desviación típica en muestra: 19,6961	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
45,28	68,49	88,02	96,93

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
399,63	326,87	321,70	321,70
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
21,85	12,74	12,73	12,73
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
52	52	39	37
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
100,75	56,88	28,66	22,47
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
23,37	52,53	0,37	4,49
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
104,85	97,03	97,03	70,68
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,20	1,20	1,20	1,21
Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]
202,00	202,00	69,50	66,55
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
0,97	0,97	42,66	11,23
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
248,71	238,09	238,09	238,09
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]
28,08	22,60	22,60	22,60
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
18	17	12	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
108,89	56,88	38,70	38,70
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
42,47	52,53	1,96	1,96
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
48	47	47	47

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de las series 1962-1981 y 1989-2010. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 5514		37° 08' 13N 03° 37' 53W		H. relativa media primavera:	60
GRANADA BASE AÉREA		Altitud: 687 m		H. relativa media verano:	45
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	65
				H. relativa media invierno:	75
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
374,40		IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia		Grado de exposición aDRI		
201,95	IV		Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	42	
			Media aritmética en muestra:	58,8056	
			Desviación típica en muestra:	27,8370	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
67,50	100,24	127,79	140,37		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	42	
			Media aritmética en muestra:	23,4286	
			Desviación típica en muestra:	9,4947	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
26	38	47	51		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	42	
			Media aritmética en muestra:	22,0032	
			Desviación típica en muestra:	11,0888	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
25,47	38,51	49,48	54,49		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	42	
			Media aritmética en muestra:	10,0476	
			Desviación típica en muestra:	5,9119	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
12	19	25	27		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	42	
			Media aritmética en muestra:	25,1460	
			Desviación típica en muestra:	13,0217	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
29,21	44,53	57,42	63,30		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	42	
			Media aritmética en muestra:	49,3587	
			Desviación típica en muestra:	20,3797	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
55,73	79,70	99,87	109,07		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 42
			Media aritmética en muestra: 41,1293
			Desviación típica en muestra: 20,8074
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
47,63	72,10	92,70	102,10
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 42
			Media aritmética en muestra: 8,0000
			Desviación típica en muestra: 3,3022
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	13	16	18
Presión eólica escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 42
			Media aritmética en muestra: 30,2977
			Desviación típica en muestra: 12,2498
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
34,12	48,53	60,66	66,19

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
127,88	127,88	127,88	127,88
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
6,73	6,73	6,73	6,73
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
52	52	39	39
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
52,57	29,06	25,72	21,16
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
14,13	0,86	2,96	5,11
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
76,00	44,16	23,81	18,92
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,13	1,13	1,11	1,20
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
97,37	92,50	49,82	49,82
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
2,91	44,16	2,09	2,09
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
103,34	79,17	67,43	67,43
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
16,36	9,81	10,08	10,08
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
22	15	14	14
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
62,10	41,71	26,44	21,16
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
22,15	3,38	2,51	5,11
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
28	26	26	26

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1973-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 5530E		37° 11' 23N 03° 47' 22O		H. relativa media primavera:	60
AEROP. DE GRANADA		Altitud: 567 m		H. relativa media verano:	50
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	65
				H. relativa media invierno:	75
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
363,19		IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI			
159,33	IV	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	39
				Media aritmética en muestra:	48,0957
				Desviación típica en muestra:	25,2734
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
56,08	85,98	111,14	122,63		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	39
				Media aritmética en muestra:	22,9487
				Desviación típica en muestra:	8,2305
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
26	35	43	47		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	39
				Media aritmética en muestra:	15,9003
				Desviación típica en muestra:	7,8233
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
18,37	27,63	35,42	38,97		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	39
				Media aritmética en muestra:	9,6667
				Desviación típica en muestra:	5,6129
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
11	18	24	26		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	39
				Media aritmética en muestra:	18,9171
				Desviación típica en muestra:	8,5350
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
21,61	31,71	40,21	44,09		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	39
				Media aritmética en muestra:	40,9995
				Desviación típica en muestra:	22,9466
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
48,25	75,40	98,24	108,67		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 39 Media aritmética en muestra: 33,9110 Desviación típica en muestra: 16,0986
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
39,00	58,04	74,07	81,39
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 39 Media aritmética en muestra: 7,7949 Desviación típica en muestra: 2,5438
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	12	14	15
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 39 Media aritmética en muestra: 20,3451 Desviación típica en muestra: 8,8041
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
23,13	33,54	42,31	46,31

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
121,81	121,81	121,81	121,81
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
6,68	6,68	6,68	6,68
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
52	52	37	37
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
48,21	27,55	27,55	23,31
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
5,74	1,93	1,93	0,49
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
53,92	53,92	25,60	23,50
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,13	1,13	1,14	1,13
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
110,99	110,99	71,50	71,50
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
4,42	4,42	11,40	11,40
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
68,82	68,82	66,70	66,70
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
20,96	20,96	8,11	8,11
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
17	17	17	17
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
48,21	39,75	27,55	23,31
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
5,74	1,34	1,93	0,49
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
30	30	30	30

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 5783	37° 25' 00N 05° 52' 45W	H. relativa media primavera:		60
SEVILLA AEROPUERTO	Altitud: 34 m	H. relativa media verano:		50
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:		65
		H. relativa media invierno:		70
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
569,37		III		
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		
428,40	III	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		50
		Media aritmética en muestra:		148,7745
		Desviación típica en muestra:		100,4291
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
179,42	296,03	394,15	438,94	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		50
		Media aritmética en muestra:		21,8200
		Desviación típica en muestra:		9,8746
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
25	36	46	50	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		50
		Media aritmética en muestra:		27,7713
		Desviación típica en muestra:		10,3958
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
30,94	43,01	53,17	57,81	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		50
		Media aritmética en muestra:		10,7400
		Desviación típica en muestra:		5,9256
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
13	19	25	28	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		50
		Media aritmética en muestra:		54,8327
		Desviación típica en muestra:		25,4226
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
62,59	92,11	116,95	128,28	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:		50
		Media aritmética en muestra:		70,8763
		Desviación típica en muestra:		32,8315
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
80,89	119,02	151,09	165,73	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 113,1580
			Desviación típica en muestra: 63,5042
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
132,54	206,27	268,31	296,64
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 8,0600
			Desviación típica en muestra: 2,9557
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	12	15	17
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 39,9155
			Desviación típica en muestra: 18,9508
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
45,70	67,70	86,22	94,67

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
510,58	510,58	329,07	329,07
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
14,35	14,35	15,33	15,33
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
58	58	37	37
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
52,37	40,52	31,94	28,28
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
4,04	21,91	75,58	3,09
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
128,01	119,29	51,04	48,70
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,20	1,21	1,19	1,22
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
176,84	89,84	80,44	66,67
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
26,39	14,88	34,02	8,07
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
345,79	278,32	255,50	255,50
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
33,82	19,91	24,34	24,34
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
19	14	14	14
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
108,42	68,28	38,39	38,39
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
2,75	86,13	9,33	9,33
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
33	33	19	19

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 5796		37° 09' 30N 05° 36' 57W		H. relativa media primavera:	65
MORÓN DE LA FRONTERA		Altitud: 87 m		H. relativa media verano:	50
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	60
				H. relativa media invierno:	75
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
563,26		III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia		Grado de exposición aDRI		
515,93	III		Exposición moderada		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	170,8281
				Desviación típica en muestra:	105,7907
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
203,11	325,94	429,30	476,48		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	23,0400
				Desviación típica en muestra:	10,8073
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
26	39	49	54		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	42,1973
				Desviación típica en muestra:	19,0335
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
48,01	70,11	88,70	97,19		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	18,3400
				Desviación típica en muestra:	9,7992
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
21	33	42	47		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	66,6847
				Desviación típica en muestra:	33,4414
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
76,89	115,72	148,39	163,30		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	96,1424
				Desviación típica en muestra:	30,4636
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
105,44	140,81	170,57	184,16		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Media aritmética en muestra: 127,6976	
		Desviación típica en muestra: 67,6371	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
148,34	226,87	292,95	323,12
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Media aritmética en muestra: 8,1000	
		Desviación típica en muestra: 2,9343	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	12	15	17
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Media aritmética en muestra: 60,6708	
		Desviación típica en muestra: 26,8166	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
68,85	99,99	126,19	138,15

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
535,21	535,21	330,98	330,98
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
25,69	25,69	16,92	16,92
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
63	63	40	37
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
113,16	72,00	68,98	68,98
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
25,03	40,62	133,77	133,77
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
172,49	172,49	172,49	110,26
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,19	1,19	1,19	1,20
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
189,57	189,57	189,57	189,57
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
110,26	110,26	110,26	110,26
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
385,51	385,51	215,16	215,16
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
39,29	39,29	28,40	28,40
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
19	15	13	13
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
138,11	138,11	115,53	115,53
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
33,89	33,89	117,55	117,55
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
48	48	48	48

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 5960	36° 45' 02N 06° 03' 21W	H. relativa media primavera:	65	
JEREZ DE LA FRONTERA	Altitud: 27 m	H. relativa media verano:	60	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
610,47	III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
602,18	III	Exposición moderada		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	200,8049	
		Desviación típica en muestra:	133,2472	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
241,47	396,18	526,36	585,78	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	23,1200	
		Desviación típica en muestra:	10,8787	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
26	39	50	55	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	43,3852	
		Desviación típica en muestra:	21,8629	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
50,06	75,44	96,80	106,55	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	22,3000	
		Desviación típica en muestra:	11,6538	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
26	39	51	56	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	66,9076	
		Desviación típica en muestra:	28,1971	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
75,51	108,25	135,80	148,38	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	90,5766	
		Desviación típica en muestra:	37,4963	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
102,02	145,56	182,19	198,91	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 141,1939 Desviación típica en muestra: 92,1545	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
169,32	276,32	366,35	407,45
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 8,2200 Desviación típica en muestra: 2,7298	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	12	15	16
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 58,5504 Desviación típica en muestra: 27,9655	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
67,08	99,56	126,88	139,35

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
678,22	678,22	403,27	403,27
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
21,24	21,24	24,24	24,24
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
52	52	48	48
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
126,22	81,67	39,22	39,22
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
74,22	89,74	124,87	124,87
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
153,07	146,64	65,63	65,63
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,20	1,20	1,20	1,20
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
196,57	173,25	73,88	73,88
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
73,98	6,95	4,77	4,77
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
499,06	499,06	306,39	306,39
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
28,04	28,04	34,48	34,48
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
15	15	15	13
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
126,22	109,19	44,76	44,76
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
74,22	24,88	68,78	68,78
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
51	51	51	51

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de las series 1962-78, 1982-85, 1987-2008. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 5973		36° 30' 04N 06° 15' 24W		H. relativa media primavera:	70
CÁDIZ		Altitud: 1 m		H. relativa media verano:	65
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	70
				H. relativa media invierno:	75
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
568,42		III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia		Grado de exposición aDRI		
506,00	III		Exposición moderada		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	43	
			Media aritmética en muestra:	181,0218	
			Desviación típica en muestra:	151,9833	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
228,35	406,78	556,92	625,46		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	43	
			Media aritmética en muestra:	21,0698	
			Desviación típica en muestra:	10,3573	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
24	36	47	51		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	43	
			Media aritmética en muestra:	51,1264	
			Desviación típica en muestra:	39,1026	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
63,30	109,21	147,84	165,47		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	43	
			Media aritmética en muestra:	18,6744	
			Desviación típica en muestra:	9,3826	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
22	33	42	46		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	43	
			Media aritmética en muestra:	67,8453	
			Desviación típica en muestra:	41,8217	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
80,87	129,97	171,28	190,14		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	43	
			Media aritmética en muestra:	125,9024	
			Desviación típica en muestra:	80,8110	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
151,07	245,94	325,77	362,21		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 43 Media aritmética en muestra: 120,0615 Desviación típica en muestra: 79,2957
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
144,75	237,85	316,18	351,94
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 43 Media aritmética en muestra: 7,6744 Desviación típica en muestra: 2,9073
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	12	15	16
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 43 Media aritmética en muestra: 87,3183 Desviación típica en muestra: 75,5771
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
110,85	199,58	274,24	308,32

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
791,56	791,56	306,17	306,17
Pas.viento simült. [N/m2 per.]	Pas.viento simült. [N/m2 per.]	Pas.viento simült. [N/m2 per.]	Pas.viento simült. [N/m2 per.]
37,44	37,44	8,00	8,00
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
62	62	31	28
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
201,40	201,40	96,93	45,79
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
3,93	3,93	2,61	63,55
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
245,60	245,60	245,60	245,60
Pd.viento simült. [N/m2 día]	Pd.viento simült. [N/m2 día]	Pd.viento simült. [N/m2 día]	Pd.viento simült. [N/m2 día]
1,19	1,19	1,19	1,19
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
391,80	391,80	158,82	93,30
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
32,05	32,05	1,23	245,60
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
374,43	374,43	245,60	245,60
Psii.viento simült. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simült. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simült. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simült. [N/m2 per. ii]
47,00	47,00	93,30	93,30
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
19	15	8	6
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
391,80	391,80	151,29	93,30
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
32,05	32,05	1,66	245,60
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
46	46	26	13

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1971-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 6000A	35° 16' 40N 02° 57' 19W	H. relativa media primavera:	65	
MELILLA	Altitud: 47 m	H. relativa media verano:	65	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	70	
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
390,96		IV		
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
297,10	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	89,9032	
		Desviación típica en muestra:	58,8262	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
108,35	177,67	236,00	262,63	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	18,0488	
		Desviación típica en muestra:	7,3549	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
20	29	36	40	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	44,8004	
		Desviación típica en muestra:	20,9846	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
51,38	76,11	96,92	106,41	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	5,4146	
		Desviación típica en muestra:	1,9628	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
6	8	10	11	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	49,2229	
		Desviación típica en muestra:	33,7020	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
59,79	99,50	132,92	148,18	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	76,5450	
		Desviación típica en muestra:	28,9116	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
85,61	119,68	148,35	161,43	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 41
			Media aritmética en muestra: 71,0082
			Desviación típica en muestra: 42,8672
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
84,45	134,96	177,47	196,87
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 41
			Media aritmética en muestra: 6,2195
			Desviación típica en muestra: 1,8414
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
7	9	11	12
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 41
			Media aritmética en muestra: 52,1642
			Desviación típica en muestra: 22,7008
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
59,28	86,03	108,54	118,82

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
297,18	278,20	161,54	161,54
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
15,09	38,79	7,88	7,88
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
38	38	32	32
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
123,78	79,16	45,32	39,57
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
5,92	2,98	3,06	2,58
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
158,23	143,69	71,09	71,09
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,22	1,23	1,20	1,20
Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]
135,55	135,55	90,99	75,79
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
33,44	33,44	0,35	1,33
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
232,10	161,36	108,04	108,04
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]
26,81	17,30	13,48	13,48
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
13	9	9	9
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
129,31	129,31	51,24	42,47
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
56,98	56,98	12,25	8,79
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
11	11	9	9

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos de las series 1962-72, 1974-98, 2001-03, 2005 y 2008. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 6001	36° 00' 55N 05° 35' 51W	H. relativa media primavera:	65	
TARIFA	Altitud: 32 m	H. relativa media verano:	60	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
690,86	III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
944,65	II	Exposición moderada		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	319,1638	
		Desviación típica en muestra:	245,3285	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
396,08	685,18	928,44	1039,49	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	24,7561	
		Desviación típica en muestra:	11,1197	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
28	41	52	57	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	123,5483	
		Desviación típica en muestra:	61,7328	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
142,90	215,65	276,86	304,81	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	25,0244	
		Desviación típica en muestra:	13,8273	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
29	46	59	66	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	97,6188	
		Desviación típica en muestra:	43,0431	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
111,11	161,84	204,52	224,00	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	262,9949	
		Desviación típica en muestra:	99,3953	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
294,16	411,29	509,84	554,84	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 41
			Media aritmética en muestra: 208,9663
			Desviación típica en muestra: 148,6169
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
255,56	430,70	578,06	645,33
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 41
			Media aritmética en muestra: 9,2683
			Desviación típica en muestra: 3,7743
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
10	15	19	20
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 41
			Media aritmética en muestra: 180,6519
			Desviación típica en muestra: 81,0917
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
206,07	301,64	382,04	418,75

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
1464,13	857,87	911,60	168,78
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
66,12	75,19	19,33	67,41
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
69	46	46	21
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
297,13	239,73	80,11	67,41
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
19,97	29,09	96,47	168,78
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
237,20	176,27	150,69	109,93
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,20	1,20	1,20	1,21
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
496,10	481,33	135,00	132,49
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
0,44	0,43	55,73	0,78
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
852,44	351,28	246,30	116,23
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
58,64	73,83	35,87	47,61
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
21	16	15	6
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
459,51	459,51	132,49	132,49
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
3,30	3,30	0,78	0,78
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
60	52	24	20

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 6155A		36° 40' 00N 04° 29' 17W		H. relativa media primavera:	65
MÁLAGA AEROPUERTO		Altitud: 7 m		H. relativa media verano:	60
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	70
				H. relativa media invierno:	70
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
568,43		III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI			
310,60	III	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	109,7709
				Desviación típica en muestra:	79,3652
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
133,99	226,14	303,68	339,07		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	18,9200
				Desviación típica en muestra:	8,1212
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
21	31	39	42		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	26,9136
				Desviación típica en muestra:	13,6000
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
31,06	46,85	60,14	66,21		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	7,2800
				Desviación típica en muestra:	3,7204
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
8	13	16	18		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	51,1847
				Desviación típica en muestra:	33,7409
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
61,48	100,66	133,62	148,67		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	55,8743
				Desviación típica en muestra:	25,4883
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
63,65	93,25	118,15	129,52		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 83,7485 Desviación típica en muestra: 59,3324
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
101,85	170,74	228,71	255,17
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 6,5800 Desviación típica en muestra: 2,6313
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
7	10	13	14
Presión eólica escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 37,2180 Desviación típica en muestra: 24,6456
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
44,74	73,35	97,43	108,42

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
400,14	297,87	297,87	297,87
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
24,87	11,13	11,13	11,13
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
40	40	40	40
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
67,86	67,86	45,46	45,46
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
6,47	6,47	0,25	0,25
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
192,03	192,03	131,34	131,34
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,23	1,23	1,21	1,21
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
173,18	126,37	84,80	64,44
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
9,84	5,92	0,18	131,34
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
307,12	195,73	173,06	173,06
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
23,04	53,62	18,80	18,80
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
19	11	8	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
173,18	72,12	72,12	45,46
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
9,84	10,73	10,73	0,25
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
22	15	10	10

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1969-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 63250		36° 50' 47N 02° 21' 25W		H. relativa media primavera:	65
AEROP. DE ALMERÍA		Altitud: 21 m		H. relativa media verano:	65
Fuente: <i>Fuente: Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.</i>				H. relativa media otoño:	70
				H. relativa media invierno:	70
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos
203,95		V			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		(Leyenda)	
168,77	IV	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	43	
			Media aritmética en muestra:	49,6520	
			Desviación típica en muestra:	32,0145	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
59,62	97,21	128,83	143,27		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	43	
			Media aritmética en muestra:	13,1395	
			Desviación típica en muestra:	5,2010	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
15	21	26	28		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	43	
			Media aritmética en muestra:	60,6454	
			Desviación típica en muestra:	29,0490	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
69,69	103,80	132,49	145,59		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	43	
			Media aritmética en muestra:	3,5814	
			Desviación típica en muestra:	2,0143	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
4	7	9	9		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	43	
			Media aritmética en muestra:	33,8512	
			Desviación típica en muestra:	26,4188	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
42,08	73,09	99,19	111,11		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	43	
			Media aritmética en muestra:	85,2657	
			Desviación típica en muestra:	28,5098	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
94,14	127,62	155,78	168,64		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 43 Media aritmética en muestra: 42,2269 Desviación típica en muestra: 27,6626	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
50,84	83,32	110,64	123,12
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 43 Media aritmética en muestra: 4,9302 Desviación típica en muestra: 2,1393	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
6	8	10	11
Presión eólica escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 43 Media aritmética en muestra: 68,8496 Desviación típica en muestra: 30,4789	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
78,34	114,12	144,23	157,98

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
151,03	120,45	120,45	120,45
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
28,09	19,93	19,93	19,93
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
27	27	27	27
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
137,62	99,91	98,37	58,33
T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]
1,47	9,08	16,43	4,83
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
112,42	112,11	43,09	30,99
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,19	1,17	1,20	1,22
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
179,56	120,95	120,95	120,03
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
5,48	0,22	0,22	0,75
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
112,42	112,11	78,86	78,86
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
44,15	46,53	19,36	19,36
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
12	12	12	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
151,92	105,79	105,79	65,97
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
43,53	6,67	6,67	18,02
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
12	12	12	12

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 7031		37° 47' 20N 00° 48' 12W		H. relativa media primavera:	70
SAN JAVIER AEROPUERTO		Altitud: 4 m		H. relativa media verano:	70
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	70
				H. relativa media invierno:	70
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
324,85		IV No coincide con HS1 Figura 2.4			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI			
288,50	IV	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	93,9134
				Desviación típica en muestra:	52,2677
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
109,86	170,55	221,61	244,93		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	14,3000
				Desviación típica en muestra:	5,7767
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
16	23	28	31		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	54,3276
				Desviación típica en muestra:	25,0479
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
61,97	91,05	115,53	126,70		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	4,7000
				Desviación típica en muestra:	1,8248
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
5	7	9	10		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	59,8915
				Desviación típica en muestra:	32,8149
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
69,91	108,01	140,07	154,70		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	95,5624
				Desviación típica en muestra:	38,8960
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
107,43	152,59	190,59	207,94		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 82,6658
			Desviación típica en muestra: 46,9258
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
96,99	151,47	197,32	218,24
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 4,7400
			Desviación típica en muestra: 1,4534
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
5	7	8	9
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 67,8520
			Desviación típica en muestra: 26,9956
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
76,09	107,43	133,81	145,85

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
245,74	245,74	139,53	139,53
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
15,80	15,80	11,14	11,14
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
28	28	28	19
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
146,80	103,69	76,42	76,42
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
8,21	34,94	18,90	18,90
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
145,07	123,99	123,99	123,99
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,22	1,22	1,22	1,22
Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]
213,88	213,88	137,86	126,24
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
14,39	14,39	103,77	20,90
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
235,09	168,45	125,39	125,39
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]
20,12	47,77	20,50	20,50
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
8	8	8	8
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
146,80	136,90	136,90	76,42
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
8,21	10,65	10,65	18,90
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
11	11	8	8

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 7228		37° 57' 28N 01° 13' 47W		H. relativa media primavera:	55
MURCIA-ALCANTARILLA		Altitud: 85 m		H. relativa media verano:	55
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	65
				H. relativa media invierno:	65
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
293,44		V No coincide con HS1 Figura 2.4			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia		Grado de exposición aDRI		
115,61	V		Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	33,7174	
			Desviación típica en muestra:	20,4358	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
39,95	63,68	83,65	92,76		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	15,5200	
			Desviación típica en muestra:	7,7955	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
18	27	35	38		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	17,5190	
			Desviación típica en muestra:	9,8625	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
20,53	31,98	41,62	46,01		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	3,4000	
			Desviación típica en muestra:	1,1832	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
4	5	6	7		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	22,9459	
			Desviación típica en muestra:	14,4490	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
27,36	44,13	58,25	64,69		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	33,8021	
			Desviación típica en muestra:	13,9600	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
38,06	54,27	67,91	74,14		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 29,2421
			Desviación típica en muestra: 17,5629
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
34,60	54,99	72,15	79,98
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 5,3800
			Desviación típica en muestra: 1,6600
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
6	8	9	10
Presión eólica escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 22,4594
			Desviación típica en muestra: 13,1501
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
26,47	41,74	54,59	60,45

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
95,45	95,45	62,81	62,81
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
3,38	3,38	6,91	6,91
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
50	36	36	36
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
46,68	42,10	42,10	20,52
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
6,72	1,17	1,17	24,71
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
58,04	56,25	56,25	56,25
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,19	1,17	1,17	1,17
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
64,76	64,76	51,68	36,59
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
0,16	0,16	0,26	3,49
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
71,31	71,31	56,25	56,25
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
18,48	18,48	24,04	24,04
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
11	9	7	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
62,51	53,31	51,68	31,79
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
0,29	0,50	0,26	0,71
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
6	6	6	4

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1968-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 8019		38° 16' 58N 00° 34' 15W		H. relativa media primavera:	60
AEROP. DE ALICANTE		Altitud: 43 m		H. relativa media verano:	65
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	65
				H. relativa media invierno:	65
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos
284,67		V			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		(Leyenda)	
189,36	IV	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	44	
			Media aritmética en muestra:	52,5128	
			Desviación típica en muestra:	32,6736	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
62,65	100,95	133,17	147,88		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	44	
			Media aritmética en muestra:	15,9773	
			Desviación típica en muestra:	4,6928	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
17	23	28	30		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	44	
			Media aritmética en muestra:	35,8548	
			Desviación típica en muestra:	16,6777	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
41,03	60,58	77,02	84,53		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	44	
			Media aritmética en muestra:	4,0000	
			Desviación típica en muestra:	1,6787	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
5	6	8	9		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	44	
			Media aritmética en muestra:	31,1059	
			Desviación típica en muestra:	17,4883	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
36,53	57,03	74,28	82,15		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	44	
			Media aritmética en muestra:	65,5173	
			Desviación típica en muestra:	24,6761	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
73,18	102,10	126,43	137,54		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 44
			Media aritmética en muestra: 45,2575
			Desviación típica en muestra: 29,1214
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
54,30	88,43	117,14	130,25
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 44
			Media aritmética en muestra: 4,9773
			Desviación típica en muestra: 1,2879
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
5	7	8	9
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 44
			Media aritmética en muestra: 49,9362
			Desviación típica en muestra: 23,1474
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
57,12	84,25	107,08	117,50

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
167,10	156,30	74,78	74,78
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
19,32	8,38	8,07	8,07
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
28	28	21	21
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
118,20	54,69	50,38	50,38
T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]
3,63	5,38	4,28	4,28
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
79,00	76,87	34,86	34,86
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,24	1,24	1,20	1,20
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
124,28	99,49	99,49	67,42
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
0,22	5,96	5,96	2,77
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
166,87	106,41	50,00	50,00
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
24,73	50,57	6,91	6,91
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
8	7	7	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
118,20	99,49	99,49	67,42
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
3,63	5,96	5,96	2,77
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
9	9	6	4

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 8025	38° 22' 21N 00° 29' 39W	H. relativa media primavera:	65	
ALICANTE	Altitud: 81 m	H. relativa media verano:	65	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	65	
		H. relativa media invierno:	65	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
332,87	IV		No coincide con Figura 2.4 HSI	
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
134,68	V	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	38,5648	
		Desviación típica en muestra:	20,3623	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
44,78	68,42	88,31	97,40	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	16,6200	
		Desviación típica en muestra:	6,5327	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
19	26	33	35	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	16,2163	
		Desviación típica en muestra:	10,6604	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
19,47	31,85	42,26	47,02	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	3,6400	
		Desviación típica en muestra:	1,4527	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
4	6	7	8	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	22,9854	
		Desviación típica en muestra:	12,4281	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
26,78	41,21	53,35	58,89	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	30,5932	
		Desviación típica en muestra:	14,7206	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
35,09	52,18	66,56	73,12	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Media aritmética en muestra: 33,1851	
		Desviación típica en muestra: 17,3843	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
38,49	58,67	75,66	83,41
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Media aritmética en muestra: 5,1000	
		Desviación típica en muestra: 1,3601	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
6	7	8	9
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 50	
		Media aritmética en muestra: 21,2175	
		Desviación típica en muestra: 11,0646	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
24,59	37,44	48,25	53,19

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
100,52	100,52	43,52	28,09
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
6,59	6,59	3,30	1,32
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
40	40	40	26
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
63,31	63,31	10,21	10,21
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
0,78	0,78	8,51	8,51
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
70,84	70,84	30,42	18,32
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,19	1,19	1,19	1,23
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
68,56	63,31	28,81	20,62
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
15,11	0,78	2,84	0,31
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
77,97	77,97	37,60	21,47
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
11,70	11,70	2,39	1,33
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
9	9	9	9
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
63,31	63,31	28,81	20,62
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
0,78	0,78	2,84	0,31
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
7	6	6	4

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de las series 1962-1994 y 1997-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 8096		40° 04' 00N 02° 08' 17W		H. relativa media primavera:	60
CUENCA		Altitud: 945 m		H. relativa media verano:	50
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	65
				H. relativa media invierno:	75
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
534,52		III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI			
231,40	IV	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	48
				Media aritmética en muestra:	58,2097
				Desviación típica en muestra:	29,8124
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
67,36	102,07	131,28	144,62		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	48
				Media aritmética en muestra:	29,0833
				Desviación típica en muestra:	11,2728
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
33	46	57	62		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	48
				Media aritmética en muestra:	16,1186
				Desviación típica en muestra:	12,8166
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
20,05	34,97	47,53	53,27		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	48
				Media aritmética en muestra:	9,9792
				Desviación típica en muestra:	5,5621
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
12	18	24	26		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	48
				Media aritmética en muestra:	22,4523
				Desviación típica en muestra:	13,7340
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
26,67	42,66	56,11	62,26		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	48
				Media aritmética en muestra:	45,9125
				Desviación típica en muestra:	30,8828
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
55,39	91,35	121,61	135,42		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 48
			Media aritmética en muestra: 39,8948
			Desviación típica en muestra: 19,6087
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
45,91	68,74	87,96	96,73
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 48
			Media aritmética en muestra: 9,6875
			Desviación típica en muestra: 3,3860
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
11	15	18	20
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 48
			Media aritmética en muestra: 25,1401
			Desviación típica en muestra: 16,6603
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
30,25	49,65	65,98	73,43

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
164,21	164,21	92,79	92,79
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
17,22	17,22	2,91	2,91
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
64	64	41	38
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
56,06	56,06	15,16	6,34
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
4,83	4,83	12,75	6,07
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
66,54	64,34	38,29	15,94
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,06	1,08	1,07	1,10
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
125,12	125,12	26,99	17,33
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
19,02	19,02	0,11	4,17
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
92,62	92,62	68,68	68,68
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
26,01	26,01	4,30	4,30
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
22	15	15	15
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
68,92	68,92	17,18	11,29
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
0,59	0,59	3,50	6,05
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
28	20	20	20

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos de las series 1962-63, 1966-86, 1988-97 y 1999-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 8175		38° 57' 08N 01° 51' 47W		H. relativa media primavera:	60
ALBACETE-LOS LLANOS		Altitud: 704 m		H. relativa media verano:	50
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	70
				H. relativa media invierno:	75
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
367,72		IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI			
290,46	IV	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	46
				Media aritmética en muestra:	67,3172
				Desviación típica en muestra:	27,7560
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
75,88	108,30	135,58	148,03		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	46
				Media aritmética en muestra:	21,7609
				Desviación típica en muestra:	7,2807
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
24	33	40	43		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	46
				Media aritmética en muestra:	66,1282
				Desviación típica en muestra:	27,5925
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
74,64	106,87	133,99	146,37		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	46
				Media aritmética en muestra:	6,1087
				Desviación típica en muestra:	3,6548
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
7	12	15	17		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	46
				Media aritmética en muestra:	32,7354
				Desviación típica en muestra:	17,6578
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
38,18	58,81	76,16	84,09		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	46
				Media aritmética en muestra:	134,1259
				Desviación típica en muestra:	60,5404
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
152,80	223,52	283,02	310,18		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra: 46 Media aritmética en muestra: 46,4861 Desviación típica en muestra: 22,3011	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
53,37	79,42	101,33	111,34
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra: 46 Media aritmética en muestra: 6,3043 Desviación típica en muestra: 1,9767	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
7	9	11	12
Presión eólica escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra: 46 Media aritmética en muestra: 97,0735 Desviación típica en muestra: 52,8437	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
113,38	175,10	227,04	250,75

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
136,99	136,99	133,93	133,93
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
9,42	9,42	20,38	20,38
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
37	37	32	32
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
132,56	132,56	88,25	55,35
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
3,40	3,40	6,71	2,94
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
104,71	104,71	64,99	64,99
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,13	1,13	1,13	1,13
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
306,00	267,25	128,24	128,24
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
8,22	9,71	6,17	6,17
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
116,20	116,20	105,49	105,49
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
13,65	13,65	11,75	11,75
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
11	11	11	11
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
267,25	267,25	88,25	63,02
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
9,71	9,71	6,71	10,54
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
26	26	26	26

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1966-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 8414A		39° 29' 12N 00° 28' 24W		H. relativa media primavera:	65
AEROP. DE VALENCIA		Altitud: 69 m		H. relativa media verano:	65
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	70
				H. relativa media invierno:	70
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
456,46		IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia		Grado de exposición aDRI		
267,21	IV		Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	46	
			Media aritmética en muestra:	81,8741	
			Desviación típica en muestra:	47,7882	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
96,62	152,44	199,41	220,85		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	46	
			Media aritmética en muestra:	16,1957	
			Desviación típica en muestra:	6,2227	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
18	25	32	34		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	46	
			Media aritmética en muestra:	49,6526	
			Desviación típica en muestra:	44,8435	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
63,49	115,87	159,94	180,06		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	46	
			Media aritmética en muestra:	5,2391	
			Desviación típica en muestra:	1,6310	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
6	8	9	10		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	46	
			Media aritmética en muestra:	46,9930	
			Desviación típica en muestra:	27,3859	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
55,44	87,43	114,35	126,63		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	46	
			Media aritmética en muestra:	84,4309	
			Desviación típica en muestra:	47,3123	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
99,03	154,29	200,79	222,02		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 46
			Media aritmética en muestra: 67,6128
			Desviación típica en muestra: 41,2548
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
80,34	128,53	169,08	187,59
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 46
			Media aritmética en muestra: 6,0000
			Desviación típica en muestra: 1,6151
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
6	8	10	11
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 46
			Media aritmética en muestra: 62,5007
			Desviación típica en muestra: 47,3904
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
77,12	132,48	179,05	200,32

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
248,92	194,93	105,85	88,82
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
7,71	9,34	11,03	9,50
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
32	32	32	32
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
235,58	184,06	68,72	38,88
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
3,59	1,33	0,30	1,83
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
147,92	147,92	67,09	67,09
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,20	1,20	1,21	1,21
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
235,58	230,38	68,72	68,46
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
3,59	2,36	0,30	0,16
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
218,28	174,92	94,85	77,69
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
18,44	33,72	15,93	13,10
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
10	10	10	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
235,58	184,06	68,72	55,56
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
3,59	1,33	0,30	0,74
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
9	9	8	4

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de las series 1962-2004 y 2006-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 8416	39° 28' 50N 00° 21' 59W	H. relativa media primavera:	65	
VALENCIA	Altitud: 11 m	H. relativa media verano:	65	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	70	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
472,07	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
176,81	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	49	
		Media aritmética en muestra:	61,4685	
		Desviación típica en muestra:	32,7496	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
71,49	109,57	141,61	156,24	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	49	
		Media aritmética en muestra:	18,4082	
		Desviación típica en muestra:	7,1569	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
21	29	36	39	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	49	
		Media aritmética en muestra:	16,9528	
		Desviación típica en muestra:	13,3430	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
21,04	36,55	49,60	55,56	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	49	
		Media aritmética en muestra:	4,4286	
		Desviación típica en muestra:	1,3093	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
5	6	8	8	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	49	
		Media aritmética en muestra:	36,7015	
		Desviación típica en muestra:	20,3173	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
42,92	66,54	86,42	95,49	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	49	
		Media aritmética en muestra:	32,9544	
		Desviación típica en muestra:	15,1305	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
37,58	55,18	69,98	76,74	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 49
			Media aritmética en muestra: 52,2238
			Desviación típica en muestra: 29,6048
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
61,28	95,70	124,67	137,89
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 49
			Media aritmética en muestra: 6,0612
			Desviación típica en muestra: 1,9526
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
7	9	11	12
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 49
			Media aritmética en muestra: 22,4750
			Desviación típica en muestra: 14,4101
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
26,88	43,64	57,74	64,17

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
160,54	160,54	101,63	76,54
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
6,00	6,00	7,24	1,70
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
40	37	37	37
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
67,65	67,65	20,57	11,80
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
0,30	0,30	0,44	1,15
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
94,00	72,10	72,10	48,88
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,21	1,22	1,22	1,22
Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]
67,65	67,65	40,17	13,30
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
0,30	0,30	72,10	0,13
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
142,44	118,26	99,18	57,37
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]
8,60	9,16	9,64	2,86
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
14	14	10	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
67,65	67,65	20,57	13,30
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
0,30	0,30	0,44	0,13
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
7	7	6	5

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 8501-8500A	39° 57' 00N 00° 04' 17W(hoy)	H. relativa media primavera:	65	
CASTELLÓN (x2)	Alt.: 25-35 m	H. relativa media verano:	65	
Fuente: Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	70	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE	Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos		
458,82	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI	aproximadas a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.	
210,10	IV	Protegido	(Leyenda)	
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	66,1095	
		Desviación típica en muestra:	37,0218	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
77,41	120,39	156,56	173,07	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	17,7000	
		Desviación típica en muestra:	6,1425	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
20	27	33	35	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	19,7642	
		Desviación típica en muestra:	20,2562	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
25,95	49,46	69,25	78,29	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	4,8200	
		Desviación típica en muestra:	2,0464	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
5	8	10	11	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	37,6287	
		Desviación típica en muestra:	23,0919	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
44,68	71,49	94,05	104,35	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	40,6312	
		Desviación típica en muestra:	33,4305	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
50,83	89,65	122,31	137,22	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 56,2082
			Desviación típica en muestra: 33,3936
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
66,40	105,17	137,80	152,69
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 5,7400
			Desviación típica en muestra: 1,9164
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
6	9	10	11
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 25,4586
			Desviación típica en muestra: 19,8806
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
31,53	54,61	74,03	82,90

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
163,33	163,33	148,06	89,08
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
39,93	39,93	5,70	3,77
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
36	36	36	36
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
106,91	84,93	18,90	11,49
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
4,98	0,34	0,79	4,37
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
126,14	126,14	90,16	37,21
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,20	1,20	1,25	1,21
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
156,13	156,13	30,04	22,39
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
126,14	126,14	1,39	0,09
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
163,33	163,33	145,74	68,11
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
39,93	39,93	8,52	3,75
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
15	15	15	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
106,91	84,93	30,04	13,50
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
4,98	0,34	1,39	0,25
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
12	12	12	7

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1981-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 90910		42° 52' 19N 02° 44' 00W		H. relativa media primavera:	70
AEROP. DE ALAVA		Altitud: 513 m		H. relativa media verano:	70
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	75
				H. relativa media invierno:	80
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
739,54		III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia		Grado de exposición aDRI		
409,05	III		Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	31	
			Media aritmética en muestra:	114,3474	
			Desviación típica en muestra:	41,1309	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
127,82	177,49	219,29	238,37		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento por lluvia batiente (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	31	
			Media aritmética en muestra:	49,6774	
			Desviación típica en muestra:	24,6333	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
58	87	113	124		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	31	
			Media aritmética en muestra:	17,2585	
			Desviación típica en muestra:	10,8284	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
20,81	33,88	44,89	49,91		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	31	
			Media aritmética en muestra:	31,1290	
			Desviación típica en muestra:	9,5029	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
34	46	55	60		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	31	
			Media aritmética en muestra:	30,6808	
			Desviación típica en muestra:	13,2259	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
35,01	50,99	64,43	70,56		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	31	
			Media aritmética en muestra:	60,8642	
			Desviación típica en muestra:	30,5779	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
70,88	107,81	138,88	153,07		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 31
			Media aritmética en muestra: 67,3537
			Desviación típica en muestra: 24,5118
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
75,38	104,99	129,89	141,26
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 31
			Media aritmética en muestra: 11,8710
			Desviación típica en muestra: 2,4196
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
13	16	18	19
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 31
			Media aritmética en muestra: 33,1188
			Desviación típica en muestra: 16,3153
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
38,46	58,17	74,75	82,31

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
243,16	243,16	145,96	128,02
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
4,04	4,04	7,83	5,27
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
154	154	63	63
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
53,74	53,74	50,40	15,86
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
5,55	5,55	8,73	23,88
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
73,79	73,79	73,79	73,79
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,18	1,18	1,18	1,18
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
197,36	197,36	85,24	85,24
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
51,24	51,24	1,97	1,97
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
120,12	120,12	112,89	96,87
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
13,17	13,17	9,32	13,75
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
19	19	17	13
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
90,86	90,86	50,40	46,21
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
30,08	30,08	8,73	1,25
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
63	63	43	43

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 9170	42° 27' 08N 02° 19' 52W	H. relativa media primavera:	65	
LOGROÑO AEROPUERTO	Altitud: 353 m	H. relativa media verano:	60	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
404,40	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
253,85	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	53,2966	
		Desviación típica en muestra:	21,0361	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
59,72	84,14	104,69	114,07	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	30,3000	
		Desviación típica en muestra:	10,4178	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
33	46	56	60	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	32,9993	
		Desviación típica en muestra:	16,2503	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
37,96	56,83	72,70	79,95	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	6,3200	
		Desviación típica en muestra:	3,0753	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
7	11	14	15	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	22,1905	
		Desviación típica en muestra:	8,2418	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
24,71	34,28	42,33	46,00	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	76,7884	
		Desviación típica en muestra:	27,4443	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
85,16	117,03	143,84	156,08	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 33,2011
			Desviación típica en muestra: 11,6235
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
36,75	50,24	61,60	66,78
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 7,6000
			Desviación típica en muestra: 2,2450
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
8	11	13	14
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 55,9239
			Desviación típica en muestra: 26,4786
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
64,00	94,75	120,62	132,43

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
129,59	129,59	81,38	81,38
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
9,22	9,22	3,80	3,80
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
61	61	58	58
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
82,39	82,39	32,20	32,20
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
6,81	6,81	1,90	1,90
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
53,46	39,52	31,39	24,74
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,16	1,20	1,13	1,19
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
168,63	94,12	79,76	79,76
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
4,08	0,68	1,15	1,15
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
60,40	60,40	50,35	40,87
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
19,70	19,70	24,19	9,63
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
17	17	17	17
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
168,63	86,06	79,76	79,76
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
4,08	2,71	1,15	1,15
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
15	15	15	9

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de las series 1976-1986 y 1989-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 9263D	42° 46' 37N 01° 39' 00W	H. relativa media primavera:	65	
AEROP. DE PAMPLONA	Altitud: 459 m	H. relativa media verano:	60	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
676,23	III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
417,40	III	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	34	
		Media aritmética en muestra:	104,1197	
		Desviación típica en muestra:	40,7263	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
117,26	166,02	207,05	225,78	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	34	
		Media aritmética en muestra:	37,6471	
		Desviación típica en muestra:	12,3118	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
42	56	69	74	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	34	
		Media aritmética en muestra:	31,8332	
		Desviación típica en muestra:	13,6281	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
36,23	52,55	66,28	72,54	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	34	
		Media aritmética en muestra:	12,4412	
		Desviación típica en muestra:	5,1518	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
14	20	25	28	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	34	
		Media aritmética en muestra:	33,6301	
		Desviación típica en muestra:	18,8728	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
39,72	62,32	81,33	90,01	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	34	
		Media aritmética en muestra:	75,5915	
		Desviación típica en muestra:	37,2489	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
87,61	132,21	169,73	186,86	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 34 Media aritmética en muestra: 57,6046 Desviación típica en muestra: 23,4475	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
65,17	93,24	116,87	127,65
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 34 Media aritmética en muestra: 10,9706 Desviación típica en muestra: 3,5437	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
12	16	20	22
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 34 Media aritmética en muestra: 46,0147 Desviación típica en muestra: 18,9723	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
52,14	74,85	93,96	102,69

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
228,17	228,17	129,23	124,12
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
26,53	26,53	13,47	9,53
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
79	79	79	79
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
75,32	75,32	37,08	37,08
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
17,22	17,22	12,94	12,94
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
97,85	89,45	61,75	32,81
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,13	1,17	1,13	1,18
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
228,85	228,85	78,54	70,49
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
23,12	23,12	29,35	7,50
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
116,75	104,85	61,88	60,19
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
9,25	21,99	11,05	20,11
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
26	16	13	13
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
111,61	111,61	78,54	61,86
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
54,95	54,95	29,35	2,89
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
23	23	18	17

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 9390	41° 06' 53N 01° 24' 39W	H. relativa media primavera:	60	
DAROCA	Altitud: 779 m	H. relativa media verano:	55	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	70	
		H. relativa media invierno:	75	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
416,96	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
124,14	V	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	24,3639	
		Desviación típica en muestra:	10,0743	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
27,44	39,14	48,98	53,47	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	25,8200	
		Desviación típica en muestra:	10,0830	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
29	41	50	55	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	11,1937	
		Desviación típica en muestra:	6,3743	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
13,14	20,54	26,77	29,61	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	3,6200	
		Desviación típica en muestra:	1,9989	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
4	7	9	9	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	10,3081	
		Desviación típica en muestra:	4,1048	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
11,56	16,33	20,34	22,17	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	32,3170	
		Desviación típica en muestra:	15,8888	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
37,17	55,61	71,14	78,22	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 15,4251
			Desviación típica en muestra: 6,4525
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
17,39	24,89	31,19	34,07
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 6,9400
			Desviación típica en muestra: 2,0728
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
8	10	12	13
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 21,8298
			Desviación típica en muestra: 13,9799
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
26,10	42,33	55,99	62,22

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
64,23	45,20	39,27	39,27
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
4,63	3,48	1,27	1,27
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
60	60	39	39
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
34,14	34,14	18,94	6,32
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
2,34	2,34	0,82	5,18
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
20,31	19,03	12,07	12,07
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,12	1,11	1,10	1,10
Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]
73,07	73,07	43,79	43,79
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
14,09	14,09	1,07	1,07
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
31,68	30,07	20,50	20,50
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]
3,05	21,56	6,83	6,83
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
13	13	9	9
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
73,07	73,07	18,94	11,61
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
14,09	14,09	0,82	3,26
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
9	9	4	4

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 9434		41° 39' 43N 01° 00' 29W		H. relativa media primavera:	60
ZARAGOZA AEROPUERTO		Altitud: 247 m		H. relativa media verano:	55
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	65
				H. relativa media invierno:	75
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
317,32		IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI			
217,57	IV	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	45,8114
				Desviación típica en muestra:	23,0105
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
52,83	79,55	102,03	112,29		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	22,2600
				Desviación típica en muestra:	9,7259
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
25	37	46	50		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	55,2523
				Desviación típica en muestra:	24,0347
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
62,59	90,49	113,97	124,69		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	5,0000
				Desviación típica en muestra:	2,3749
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
6	8	11	12		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	25,9565
				Desviación típica en muestra:	14,6983
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
30,44	47,51	61,87	68,42		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	50
				Media aritmética en muestra:	98,4892
				Desviación típica en muestra:	29,2808
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
107,42	141,42	170,03	183,09		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 34,7468
			Desviación típica en muestra: 20,5494
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
41,02	64,88	84,95	94,12
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 5,6600
			Desviación típica en muestra: 1,5951
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
6	8	10	10
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 66,7091
			Desviación típica en muestra: 24,5567
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
74,20	102,72	126,71	137,66

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
149,75	105,10	81,28	81,28
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
23,43	18,96	10,44	10,44
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
61	61	52	34
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
144,91	121,78	73,18	69,37
T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]
1,50	10,72	30,37	2,77
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
87,57	62,19	41,29	30,50
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,21	1,15	1,21	1,19
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
162,99	148,42	83,42	69,37
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
0,25	0,24	0,34	2,77
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
146,94	72,84	58,00	40,24
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
46,73	14,79	18,53	9,80
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
10	10	10	10
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
144,91	121,78	83,42	69,37
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
1,50	10,72	0,34	2,77
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
13	11	9	8

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 9771-9771C	41° 37' 33N 00° 35' 42E(hoy)	H. relativa media primavera:	60	
LÉRIDA (x2)	Alt.: 199-192 m	H. relativa media verano:	55	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	75	
		H. relativa media invierno:	80	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan los datos	
357,96	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximadas a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
137,57	V	Protegido		(Leyenda)
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	31,9453	
		Desviación típica en muestra:	13,9265	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
36,20	52,37	65,97	72,18	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	23,3800	
		Desviación típica en muestra:	11,1353	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
27	40	51	56	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	16,0340	
		Desviación típica en muestra:	10,2990	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
19,18	31,14	41,20	45,79	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	9,7800	
		Desviación típica en muestra:	3,7963	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
11	15	19	21	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	16,9262	
		Desviación típica en muestra:	6,1152	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
18,79	25,89	31,87	34,59	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	32,7627	
		Desviación típica en muestra:	13,4718	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
36,87	52,52	65,68	71,69	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 23,0901
			Desviación típica en muestra: 7,4925
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
25,38	34,08	41,40	44,74
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 6,8400
			Desviación típica en muestra: 2,2123
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
8	10	12	13
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 19,1850
			Desviación típica en muestra: 9,1114
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
21,97	32,54	41,45	45,51

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
73,21	73,21	60,57	60,57
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
2,81	2,81	3,51	3,51
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
74	74	28	28
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
67,90	67,90	16,63	11,44
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
0,93	0,93	1,88	6,80
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
31,72	31,72	31,72	31,72
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,20	1,20	1,20	1,20
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
74,60	64,30	36,76	36,76
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
0,17	1,01	0,41	0,41
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
41,35	41,35	33,95	33,95
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
7,18	7,18	10,80	10,80
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
16	12	12	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
41,40	41,40	22,31	22,31
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
0,44	0,44	4,23	4,23
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
19	19	15	14

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos de las series 1962-1998, 2001-2005 y 2007-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN 9898		42° 05' 00N 00° 19' 35W		H. relativa media primavera:	65
HUESCA AEROPUERTO		Altitud: 541 m		H. relativa media verano:	60
Fuente: Estatai de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	70
				H. relativa media invierno:	75
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
532,99		III No coincide con HS1 Figura 2.4			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI			
363,30	III	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	47	
			Media aritmética en muestra:	77,7410	
			Desviación típica en muestra:	33,8341	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
88,15	127,61	160,81	175,97		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	47	
			Media aritmética en muestra:	22,0213	
			Desviación típica en muestra:	7,1830	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
24	33	40	43		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	47	
			Media aritmética en muestra:	59,8182	
			Desviación típica en muestra:	40,2520	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
72,20	119,14	158,64	176,67		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	47	
			Media aritmética en muestra:	9,5957	
			Desviación típica en muestra:	4,4227	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
11	16	20	22		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	47	
			Media aritmética en muestra:	38,1980	
			Desviación típica en muestra:	16,4612	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
43,25	62,42	78,55	85,91		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	47	
			Media aritmética en muestra:	102,2947	
			Desviación típica en muestra:	37,2248	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
113,71	157,06	193,53	210,18		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 47
			Media aritmética en muestra: 56,3976
			Desviación típica en muestra: 20,7931
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
62,78	86,99	107,36	116,66
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 47
			Media aritmética en muestra: 6,6383
			Desviación típica en muestra: 2,1080
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
7	10	12	13
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 47
			Media aritmética en muestra: 75,9156
			Desviación típica en muestra: 39,8042
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
88,13	134,48	173,48	191,28

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
210,48	210,48	88,13	66,91
Pas.viento simut. [N/m2 per.]	Pas.viento simut. [N/m2 per.]	Pas.viento simut. [N/m2 per.]	Pas.viento simut. [N/m2 per.]
30,94	30,94	9,43	8,60
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
37	37	32	28
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
231,93	151,60	96,43	54,45
T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]
1,52	14,41	1,80	22,99
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
88,60	74,82	42,63	42,63
Pd.viento simut. [N/m2 día]	Pd.viento simut. [N/m2 día]	Pd.viento simut. [N/m2 día]	Pd.viento simut. [N/m2 día]
1,14	1,11	1,11	1,11
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
231,93	183,59	183,59	183,59
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
1,52	17,40	17,40	17,40
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
109,41	86,31	66,06	64,11
Psii.viento simut. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simut. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simut. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simut. [N/m2 per. ii]
14,82	27,12	13,31	36,03
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
12	11	11	11
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
231,93	151,60	118,28	75,88
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
1,52	14,41	0,41	6,12
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
22	20	12	10

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN 9981A TORTOSA Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.	40° 49' 14N 00° 29' 29E Altitud: 44 m	H. relativa media primavera: H. relativa media verano: H. relativa media otoño: H. relativa media invierno:	60 60 65 65	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE	Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos		
541,61	III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
216,69	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	58,0619	
		Desviación típica en muestra:	24,0317	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
65,40	93,30	116,78	127,49	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	22,4400	
		Desviación típica en muestra:	9,8289	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
25	37	46	51	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	24,7910	
		Desviación típica en muestra:	16,2541	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
29,75	48,62	64,50	71,75	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	4,8800	
		Desviación típica en muestra:	1,8723	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
5	8	9	10	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	28,8125	
		Desviación típica en muestra:	12,2333	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
32,55	46,75	58,70	64,16	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	54,5188	
		Desviación típica en muestra:	25,8683	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
62,41	92,45	117,72	129,26	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 46,3844
			Desviación típica en muestra: 21,9830
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
53,09	78,62	100,09	109,90
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 6,2000
			Desviación típica en muestra: 1,6613
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
7	9	10	11
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 28,1746
			Desviación típica en muestra: 16,8365
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
33,31	52,86	69,31	76,82

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
124,51	124,51	75,39	75,39
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
5,67	5,67	4,01	4,01
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
59	55	35	35
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
90,21	90,21	90,21	36,95
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
5,02	5,02	5,02	3,06
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
68,71	68,71	42,35	20,96
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,20	1,20	1,22	1,18
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
127,32	90,21	90,21	53,38
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
0,22	5,02	5,02	0,27
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
97,32	97,32	63,90	34,60
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
6,73	6,73	2,35	2,98
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
10	10	8	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
90,21	90,21	90,21	36,95
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
5,02	5,02	5,02	3,06
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
8	8	7	7

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1978-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN B228	39° 33' 12N 02° 37' 31E	H. relativa media primavera:	75	
PUERTO DE MALLORCA	Altitud: 3 m	H. relativa media verano:	70	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	75	
		H. relativa media invierno:	80	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
451,57	IV		No coincide con Figura 2,4 HSI	
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
172,15	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	34	
		Media aritmética en muestra:	44,1051	
		Desviación típica en muestra:	18,1169	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
49,95	71,64	89,89	98,23	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	34	
		Media aritmética en muestra:	22,1765	
		Desviación típica en muestra:	7,8683	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
25	34	42	46	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	34	
		Media aritmética en muestra:	15,9989	
		Desviación típica en muestra:	9,2667	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
18,99	30,08	39,42	43,68	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	34	
		Media aritmética en muestra:	18,1176	
		Desviación típica en muestra:	6,5653	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
20	28	35	38	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	34	
		Media aritmética en muestra:	21,6088	
		Desviación típica en muestra:	12,0621	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
25,50	39,94	52,09	57,64	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	34	
		Media aritmética en muestra:	30,2613	
		Desviación típica en muestra:	19,0031	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
36,39	59,14	78,29	87,03	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 34 Media aritmética en muestra: 31,4088 Desviación típica en muestra: 14,8675
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
36,21	54,01	68,98	75,82
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 34 Media aritmética en muestra: 6,8824 Desviación típica en muestra: 1,7109
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
7	9	11	12
Presión eólica escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 34 Media aritmética en muestra: 22,1417 Desviación típica en muestra: 12,9685
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
26,33	41,85	54,92	60,88

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
85,23	85,23	85,23	85,23
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
2,81	2,81	2,81	2,81
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
42	42	42	42
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
43,74	35,64	17,94	16,63
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
7,66	21,88	11,14	3,94
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
62,97	53,20	53,20	53,20
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,24	1,21	1,21	1,21
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
106,00	57,73	45,05	20,14
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
62,97	5,21	45,01	4,42
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
74,74	74,74	74,74	53,53
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
14,88	14,88	14,88	4,31
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
12	12	12	12
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
73,35	42,76	20,21	20,14
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
63,94	10,65	2,70	4,42
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
35	35	35	35

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1975-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN B278		39° 33' 39N 02° 44' 12E		H. relativa media primavera:	75
AEROP. DE MALLORCA		Altitud: 8 m		H. relativa media verano:	70
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	75
				H. relativa media invierno:	80
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
421,51		IV No coincide con Figura 2.4 HSI			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Ia [mm/año]		Zonificación de referencia		Grado de exposición aDRI	
273,87		IV		Protegido	
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	37
				Media aritmética en muestra:	70,4673
				Desviación típica en muestra:	30,1343
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
80,06	115,87	146,01	159,76		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	37
				Media aritmética en muestra:	20,2973
				Desviación típica en muestra:	6,5589
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
22	30	37	40		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	37
				Media aritmética en muestra:	38,6478
				Desviación típica en muestra:	18,5156
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
44,54	66,55	85,06	93,52		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	37
				Media aritmética en muestra:	23,2973
				Desviación típica en muestra:	7,6859
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
26	35	43	46		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	37
				Media aritmética en muestra:	34,4021
				Desviación típica en muestra:	16,7435
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
39,73	59,63	76,37	84,02		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	37
				Media aritmética en muestra:	71,7004
				Desviación típica en muestra:	33,8588
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
82,48	122,72	156,58	172,03		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 37
			Media aritmética en muestra: 51,5543
			Desviación típica en muestra: 25,9762
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
59,82	90,70	116,67	128,53
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 37
			Media aritmética en muestra: 6,4595
			Desviación típica en muestra: 1,5870
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
7	9	10	11
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 37
			Media aritmética en muestra: 53,8089
			Desviación típica en muestra: 17,8352
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
59,49	80,68	98,52	106,66

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
143,87	143,87	143,87	115,25
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
13,39	13,39	13,39	12,70
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
37	37	37	37
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
106,73	79,78	37,38	37,38
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
101,48	3,84	2,34	2,34
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
92,19	92,19	92,19	66,26
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,22	1,22	1,22	1,22
Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]	Pd.viento max [N/m2 día]
234,29	132,42	97,10	64,94
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
65,85	5,50	10,18	38,55
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
139,82	139,82	139,82	68,65
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]
28,02	28,02	28,02	8,65
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
11	11	11	11
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
106,73	79,78	74,52	52,98
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
101,48	3,84	9,20	9,80
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
43	43	43	43

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1975-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN B893	39° 51' 17N 04° 12' 56E	H. relativa media primavera:		70
AEROP. DE MENORCA	Altitud: 91 m	H. relativa media verano:		70
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:		75
		H. relativa media invierno:		75
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
563,46	III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
482,05	III	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	37	
		Media aritmética en muestra:	124,6307	
		Desviación típica en muestra:	55,8438	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
142,41	208,78	264,62	290,11	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	37	
		Media aritmética en muestra:	29,0270	
		Desviación típica en muestra:	14,2516	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
34	51	65	71	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	37	
		Media aritmética en muestra:	51,2032	
		Desviación típica en muestra:	19,5339	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
57,42	80,64	100,17	109,09	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	37	
		Media aritmética en muestra:	27,7027	
		Desviación típica en muestra:	7,9792	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
30	40	48	51	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	37	
		Media aritmética en muestra:	53,1020	
		Desviación típica en muestra:	34,0004	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
63,93	104,33	138,33	153,86	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	37	
		Media aritmética en muestra:	112,4440	
		Desviación típica en muestra:	28,8369	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
121,62	155,90	184,73	197,90	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 37 Media aritmética en muestra: 83,1548 Desviación típica en muestra: 50,4840
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
99,23	159,22	209,71	232,75
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 37 Media aritmética en muestra: 8,0811 Desviación típica en muestra: 2,3980
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
9	12	14	15
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 37 Media aritmética en muestra: 70,1715 Desviación típica en muestra: 25,6515
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
78,34	108,82	134,47	146,18

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
335,98	335,98	335,98	206,48
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
25,02	25,02	25,02	19,26
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
76	76	76	76
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
108,84	108,84	64,88	62,12
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
2,69	2,69	0,30	5,71
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
175,39	171,92	171,92	50,12
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,21	1,21	1,21	1,20
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
176,58	176,58	176,58	125,11
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
0,26	0,26	0,26	2,30
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
315,30	315,30	315,30	98,69
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
48,84	48,84	48,84	27,61
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
17	17	17	17
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
154,42	154,42	125,21	62,45
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
4,12	4,12	2,59	1,45
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
42	42	42	42

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de las series 1965-66, 69-70, 1972 y 1975-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN B954		38° 52' 35N 01° 23' 04E		H. relativa media primavera:	70
IBIZA AEROPUERTO		Altitud: 6 m		H. relativa media verano:	70
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	70
				H. relativa media invierno:	70
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
427,65		IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI			
317,17	III	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	42
				Media aritmética en muestra:	80,6469
				Desviación típica en muestra:	28,9154
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
89,68	123,69	152,31	165,37		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	42
				Media aritmética en muestra:	18,5238
				Desviación típica en muestra:	7,5758
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
21	30	37	41		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	42
				Media aritmética en muestra:	44,4033
				Desviación típica en muestra:	18,2862
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
50,12	71,62	89,72	97,98		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	42
				Media aritmética en muestra:	5,2619
				Desviación típica en muestra:	1,5745
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
6	8	9	10		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	42
				Media aritmética en muestra:	49,3645
				Desviación típica en muestra:	23,7142
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
56,77	84,67	108,14	118,85		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	42
				Media aritmética en muestra:	78,3941
				Desviación típica en muestra:	28,8168
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
87,40	121,29	149,81	162,83		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 42
			Media aritmética en muestra: 66,1537
			Desviación típica en muestra: 28,3893
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
75,02	108,41	136,51	149,34
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 42
			Media aritmética en muestra: 5,6905
			Desviación típica en muestra: 2,0758
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
6	9	11	12
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 42
			Media aritmética en muestra: 59,2605
			Desviación típica en muestra: 22,4009
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
66,26	92,61	114,78	124,90

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
142,19	141,10	141,10	76,91
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
37,25	9,99	9,99	12,30
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
47	47	47	19
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
108,28	70,93	59,53	59,53
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
100,24	43,09	15,52	15,52
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
127,10	84,93	71,63	44,44
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,24	1,21	1,18	1,22
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
214,33	114,02	101,16	101,16
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
34,21	0,22	0,70	0,70
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
141,81	109,35	97,54	76,70
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
56,40	25,62	18,57	15,96
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
15	15	15	15
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
108,28	101,16	101,16	101,16
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
100,24	0,70	0,70	0,70
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
10	10	10	8

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1973-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN C0290		28° 57' 07N 13° 36' 01W		H. relativa media primavera:	70
AEROP. DE LANZAROTE		Altitud: 14 m		H. relativa media verano:	70
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	65
				H. relativa media invierno:	70
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
110,32		V No coincide con Figura 2.4 HSI			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI			
118,81	V	Protegido			
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	39
				Media aritmética en muestra:	51,2732
				Desviación típica en muestra:	33,0477
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
61,71	100,81	133,72	148,73		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	39
				Media aritmética en muestra:	13,7436
				Desviación típica en muestra:	5,2610
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
15	22	27	29		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	39
				Media aritmética en muestra:	45,0360
				Desviación típica en muestra:	11,7899
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
48,76	62,71	74,45	79,81		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	39
				Media aritmética en muestra:	3,2821
				Desviación típica en muestra:	1,5350
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
4	6	7	8		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	39
				Media aritmética en muestra:	25,3614
				Desviación típica en muestra:	18,2139
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
31,11	52,66	70,80	79,08		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel				Número de datos en muestra:	39
				Media aritmética en muestra:	78,2761
				Desviación típica en muestra:	21,0260
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
84,92	109,80	130,73	140,28		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 39	
		Media aritmética en muestra: 44,6292	
		Desviación típica en muestra: 30,0542	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
54,12	89,68	119,60	133,26
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 39	
		Media aritmética en muestra: 5,5641	
		Desviación típica en muestra: 1,8646	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
6	8	10	11
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 39	
		Media aritmética en muestra: 53,4884	
		Desviación típica en muestra: 16,9821	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
58,85	78,95	95,85	103,57

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
195,14	195,14	82,14	82,14
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
21,13	21,13	25,69	25,69
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
26	26	22	22
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
79,43	79,43	56,56	44,05
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
8,29	8,29	0,28	2,75
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
88,77	88,77	42,52	41,29
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,19	1,19	1,20	1,19
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
142,51	142,51	93,30	93,30
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
21,57	21,57	23,57	23,57
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
171,79	171,79	81,89	81,89
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
49,65	49,65	22,99	22,99
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
10	10	9	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
125,61	125,61	75,33	63,95
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
8,49	8,49	16,78	0,78
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
6	6	6	6

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1971-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN CI39E	28° 37' 59N 17° 45' 18W	H. relativa media primavera:	70	
AEROP. DE LA PALMA	Altitud: 33 m	H. relativa media verano:	70	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	65	
		H. relativa media invierno:	70	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
346,83	IV			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
344,98	III	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	146,8179	
		Desviación típica en muestra:	96,2540	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
176,99	290,42	385,87	429,44	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	21,7317	
		Desviación típica en muestra:	11,2597	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
25	39	50	55	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	67,3264	
		Desviación típica en muestra:	87,9494	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
94,90	198,54	285,75	325,56	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	5,7073	
		Desviación típica en muestra:	2,3085	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
6	9	11	12	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	77,6801	
		Desviación típica en muestra:	45,5382	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
91,96	145,62	190,77	211,39	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	41	
		Media aritmética en muestra:	112,9048	
		Desviación típica en muestra:	83,9063	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
139,21	238,09	321,29	359,27	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 41
			Media aritmética en muestra: 114,0003
			Desviación típica en muestra: 65,8876
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
134,66	212,30	277,63	307,46
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 41
			Media aritmética en muestra: 6,1951
			Desviación típica en muestra: 1,9155
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
7	9	11	12
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 41
			Media aritmética en muestra: 79,9812
			Desviación típica en muestra: 85,5209
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
106,79	207,57	292,37	331,08

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
554,07	299,66	274,06	269,01
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
53,83	11,55	22,45	47,22
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
66	66	66	20
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
599,30	77,61	77,61	77,61
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
215,64	34,53	34,53	34,53
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
215,64	186,01	153,17	153,17
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,19	1,18	1,17	1,17
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
599,30	183,09	152,95	152,95
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
215,64	19,10	16,27	16,27
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
265,91	265,91	255,47	255,47
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
20,59	20,59	57,66	57,66
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
10	10	10	8
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
599,30	90,33	89,48	77,61
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
215,64	23,85	93,56	34,53
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
12	12	9	7

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1970-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN C249I		28° 24' 41N 13° 51' 47W		H. relativa media primavera:	70
AEROP. FUERTEVENTURA		Altitud: 25 m		H. relativa media verano:	70
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	65
				H. relativa media invierno:	70
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
104,29		V No coincide con Figura 2.4 HSI			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia		Grado de exposición aDRI		
103,86	V		Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	42	
			Media aritmética en muestra:	46,5609	
			Desviación típica en muestra:	34,9516	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
57,48	98,59	133,18	148,97		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	42	
			Media aritmética en muestra:	9,7143	
			Desviación típica en muestra:	4,9823	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
11	17	22	24		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	42	
			Media aritmética en muestra:	45,0135	
			Desviación típica en muestra:	14,3410	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
49,49	66,36	80,55	87,03		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	42	
			Media aritmética en muestra:	2,5476	
			Desviación típica en muestra:	1,3130	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
3	5	6	6		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	42	
			Media aritmética en muestra:	29,3513	
			Desviación típica en muestra:	22,2045	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
36,29	62,41	84,38	94,41		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	42	
			Media aritmética en muestra:	73,2378	
			Desviación típica en muestra:	19,5585	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
79,35	102,35	121,71	130,55		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 42	
		Media aritmética en muestra: 41,4661	
		Desviación típica en muestra: 32,0442	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
51,48	89,17	120,88	135,36
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 42	
		Media aritmética en muestra: 4,4762	
		Desviación típica en muestra: 1,9054	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
5	7	9	10
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 42	
		Media aritmética en muestra: 50,8564	
		Desviación típica en muestra: 14,5685	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
55,41	72,54	86,96	93,54

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
228,68	228,68	67,77	67,77
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
18,21	18,21	23,40	23,40
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
23	23	16	16
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
78,88	69,02	59,94	59,94
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
4,69	8,22	0,76	0,76
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
131,11	131,11	62,60	62,60
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,18	1,18	1,18	1,18
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
124,35	115,10	88,67	88,67
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
3,20	9,64	7,83	7,83
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
207,86	207,86	66,86	66,86
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
42,56	42,56	32,63	32,63
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
9	9	8	8
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
87,51	69,02	64,09	60,40
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
82,34	8,22	9,07	0,29
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
6	6	4	2

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1981-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN C429I	28° 02' 51N 16° 33' 39W	H. relativa media primavera:	65	
AEROP. TENERIFE SUR	Altitud: 64 m	H. relativa media verano:	70	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	60	
		H. relativa media invierno:	65	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE	Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos		
130,61	V	No coincide con Figura 2.4 HSI		
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
121,57	V	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	31	
		Media aritmética en muestra:	55,3796	
		Desviación típica en muestra:	32,7792	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
66,12	105,70	139,01	154,22	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	31	
		Media aritmética en muestra:	9,6774	
		Desviación típica en muestra:	3,5322	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
11	15	19	20	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	31	
		Media aritmética en muestra:	46,8068	
		Desviación típica en muestra:	17,6580	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
52,59	73,92	91,86	100,05	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	31	
		Media aritmética en muestra:	3,3548	
		Desviación típica en muestra:	1,4712	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
4	6	7	8	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	31	
		Media aritmética en muestra:	30,9989	
		Desviación típica en muestra:	18,8016	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
37,16	59,86	78,97	87,69	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	31	
		Media aritmética en muestra:	77,4780	
		Desviación típica en muestra:	17,9872	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
83,37	105,09	123,37	131,71	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 31	
		Media aritmética en muestra: 43,4449	
		Desviación típica en muestra: 25,8378	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
51,91	83,11	109,37	121,35
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 31	
		Media aritmética en muestra: 3,9032	
		Desviación típica en muestra: 1,5731	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
4	6	8	9
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 31	
		Media aritmética en muestra: 55,5084	
		Desviación típica en muestra: 15,9227	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
60,72	79,95	96,13	103,52

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
130,99	130,99	116,85	103,33
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
18,12	18,12	34,04	30,18
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
18	18	18	18
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
85,90	85,90	70,26	64,23
Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]	Tas simultanea [mm/periodo ab.]
47,10	47,10	28,46	37,24
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
86,39	86,39	63,17	63,17
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,18	1,18	1,18	1,18
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
124,42	124,42	96,25	96,25
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
0,22	0,22	0,20	0,20
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
103,29	103,29	75,70	75,70
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
31,12	31,12	36,41	36,41
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
9	9	7	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
85,90	85,90	70,26	67,04
Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]	Tsii simultanea [mm/periodo ii]
47,10	47,10	28,46	0,56
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
8	8	6	6

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos de las series 1962, 1965-96, 2004 y 2007-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN C430E	28° 18' 32N 16° 29' 58W	H. relativa media primavera:	45	
IZAÑA	Altitud: 2371 m	H. relativa media verano:	30	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	45	
		H. relativa media invierno:	55	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE	Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos		
463,16	IV	No coincide con Figura 2.4 HSI		
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
914,94	II	Exposición moderada		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	39	
		Media aritmética en muestra:	434,9336	
		Desviación típica en muestra:	548,7180	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
608,23	1257,49	1803,78	2053,17	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	39	
		Media aritmética en muestra:	13,6154	
		Desviación típica en muestra:	4,8812	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
15	21	26	28	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	39	
		Media aritmética en muestra:	178,8238	
		Desviación típica en muestra:	108,0660	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
212,95	340,82	448,41	497,52	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	39	
		Media aritmética en muestra:	6,8718	
		Desviación típica en muestra:	2,9193	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
8	11	14	15	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	39	
		Media aritmética en muestra:	225,1795	
		Desviación típica en muestra:	196,2613	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
287,16	519,38	714,78	803,98	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	39	
		Media aritmética en muestra:	323,3855	
		Desviación típica en muestra:	162,3557	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
374,66	566,76	728,40	802,19	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 39 Media aritmética en muestra: 323,1042 Desviación típica en muestra: 252,1353
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
402,73	701,07	952,09	1066,68
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 39 Media aritmética en muestra: 5,7949 Desviación típica en muestra: 2,2779
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
7	9	11	13
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 39 Media aritmética en muestra: 212,7696 Desviación típica en muestra: 115,3394
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
249,20	385,67	500,50	552,92

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
3565,92	775,78	518,29	518,29
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
227,95	83,10	109,90	109,90
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
27	21	19	19
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
595,04	480,53	152,18	152,18
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
180,16	68,98	1,78	1,78
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
867,86	740,62	406,23	406,23
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
0,96	0,96	0,94	0,94
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
950,44	611,17	611,17	611,17
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
867,86	406,23	406,23	406,23
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
1191,59	775,78	473,44	473,44
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
332,11	83,10	240,34	240,34
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
14	11	10	10
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
595,04	480,53	245,15	245,15
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
180,16	68,98	56,11	56,11
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
17	10	8	8

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos de las series 1963, 1965-71, 1975-2005 y 2007-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN C447A		28° 28' 39N 16° 19' 46W		H. relativa media primavera:	70
TENERIFE NORTE AEROP.		Altitud: 632 m		H. relativa media verano:	70
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	65
				H. relativa media invierno:	70
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
569,68		III			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia		Grado de exposición aDRI		
600,14	III		Exposición moderada		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	44	
			Media aritmética en muestra:	177,5410	
			Desviación típica en muestra:	92,2738	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
206,18	314,32	405,32	446,86		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	44	
			Media aritmética en muestra:	25,2273	
			Desviación típica en muestra:	7,0674	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
27	36	43	46		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	44	
			Media aritmética en muestra:	51,9076	
			Desviación típica en muestra:	14,4152	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
56,38	73,28	87,49	93,98		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	44	
			Media aritmética en muestra:	8,9545	
			Desviación típica en muestra:	3,6801	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
10	14	18	20		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	44	
			Media aritmética en muestra:	63,7151	
			Desviación típica en muestra:	40,1708	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
76,18	123,26	162,88	180,96		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	44	
			Media aritmética en muestra:	101,2436	
			Desviación típica en muestra:	29,3492	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
110,35	144,75	173,69	186,90		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 44
			Media aritmética en muestra: 130,2601
			Desviación típica en muestra: 57,8069
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
148,20	215,95	272,96	298,98
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 44
			Media aritmética en muestra: 8,9091
			Desviación típica en muestra: 2,9218
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
10	13	16	17
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 44
			Media aritmética en muestra: 64,2013
			Desviación típica en muestra: 19,7146
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
70,32	93,43	112,87	121,74

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
556,60	343,53	309,58	309,58
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
38,89	23,60	35,87	35,87
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
44	44	36	35
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
84,29	84,29	74,83	58,86
T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]
0,65	0,65	6,56	2,78
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
233,62	158,45	78,30	64,88
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,13	1,14	1,16	1,14
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
158,07	154,16	141,36	110,00
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
44,08	61,61	47,60	35,48
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
292,00	261,13	179,44	158,98
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
31,56	52,57	44,07	51,82
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
16	16	16	16
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
147,09	87,21	74,83	69,62
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
52,15	98,15	6,56	91,55
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
19	16	14	10

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN C449C	28° 27' 48N 16° 15' 19W	H. relativa media primavera:	70	
SANTA CRUZ DE TENERIFE	Altitud: 35 m	H. relativa media verano:	70	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	65	
		H. relativa media invierno:	70	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE		Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos	
230,15	V	No coincide con HS1 Figura 2.4		
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		
134,35	V	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	53,1525	
		Desviación típica en muestra:	31,2451	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
62,69	98,97	129,49	143,43	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	19,0000	
		Desviación típica en muestra:	6,3214	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
21	28	34	37	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	22,3654	
		Desviación típica en muestra:	17,4188	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
27,68	47,91	64,92	72,69	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	4,2800	
		Desviación típica en muestra:	1,8115	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
5	7	9	10	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	26,0972	
		Desviación típica en muestra:	17,3564	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
31,39	51,55	68,50	76,24	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra:	50	
		Media aritmética en muestra:	45,8916	
		Desviación típica en muestra:	32,2167	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
55,72	93,13	124,60	138,97	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 43,7803
			Desviación típica en muestra: 23,9281
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
51,08	78,86	102,24	112,91
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 7,3600
			Desviación típica en muestra: 2,6964
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
8	11	14	15
Presión eólica escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra: 50
			Media aritmética en muestra: 28,4303
			Desviación típica en muestra: 20,3191
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
34,63	58,22	78,07	87,14

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
180,06	94,54	62,54	35,38
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
22,39	24,89	3,73	4,13
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
37	37	37	27
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
71,51	59,19	20,17	20,17
T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]	T'as simultanea [mm/periodo ab.]
4,24	6,51	1,17	1,17
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
85,36	41,25	38,10	21,19
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,20	1,20	1,20	1,20
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
116,64	116,64	57,60	30,28
T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]	T'd simultanea [mm/día]
5,71	5,71	0,52	0,55
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
98,24	94,54	48,71	29,65
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
11,81	24,89	5,86	4,42
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
17	17	8	7
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
88,68	59,93	30,28	30,28
T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]	T'sii simultanea [mm/periodo ii]
33,96	10,59	0,55	0,55
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
8	8	8	4

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1962-2011. Mediciones diarias					
ESTACIÓN C649I		27° 55' 21N 15° 23' 22W		H. relativa media primavera:	65
AEROP. LAS PALMAS		Altitud: 24 m		H. relativa media verano:	65
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.				H. relativa media otoño:	65
				H. relativa media invierno:	65
Precipitación media anual		Zona pluviométrica de promedios CTE			Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos
133,89		V No coincide con HS1 Figura 2.4			
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia		Grado de exposición aDRI		
125,25	V		Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	52,4469	
			Desviación típica en muestra:	37,7683	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años		
63,97	107,82	144,72	161,57		
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	12,4600	
			Desviación típica en muestra:	6,7445	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años		
15	22	29	32		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	70,2800	
			Desviación típica en muestra:	26,6131	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años		
78,40	109,30	135,30	147,17		
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	3,0400	
			Desviación típica en muestra:	1,3410	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años		
3	5	6	7		
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	28,6182	
			Desviación típica en muestra:	22,5545	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años		
35,50	61,69	83,72	93,78		
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)					
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel			Número de datos en muestra:	50	
			Media aritmética en muestra:	96,5249	
			Desviación típica en muestra:	26,7170	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años		
104,68	135,70	161,80	173,72		

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 42,2278 Desviación típica en muestra: 33,6466	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
52,50	91,56	124,43	139,44
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 4,2800 Desviación típica en muestra: 1,6857	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
5	7	8	9
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
<i>Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel</i>		Número de datos en muestra: 50 Media aritmética en muestra: 78,4498 Desviación típica en muestra: 25,6738	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
86,28	116,09	141,18	152,63

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
177,18	177,18	110,30	81,01
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
18,47	18,47	28,16	23,54
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
28	28	28	14
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
145,09	145,09	92,87	74,26
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
1,53	1,53	0,36	0,59
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
106,61	101,91	64,43	59,24
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,21	1,18	1,21	1,19
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
153,75	153,75	128,40	83,21
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
0,25	0,25	0,23	1,17
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
156,20	152,31	109,86	77,52
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
80,01	41,55	35,12	39,69
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
9	9	7	4
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
145,09	145,09	92,87	79,09
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
1,53	1,53	0,36	0,61
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
8	8	6	4

Parametrización de la exposición a la humedad y de los ensayos de estanqueidad en cerramientos de edificación. Caracterización prestacional de su comportamiento higrotérmico.

Resultados escalares obtenidos del análisis de la serie climatológica 1974-2011. Mediciones diarias				
ESTACIÓN C929I	27° 49' 08N 17° 53' 20W	H. relativa media primavera:	70	
AEROP. DEL HIERRO	Altitud: 32 m	H. relativa media verano:	70	
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente. Elaboración: Pérez, J.M.		H. relativa media otoño:	65	
		H. relativa media invierno:	70	
Precipitación media anual	Zona pluviométrica de promedios CTE	Las casillas sombreadas (color invertido), presentan datos		
185,29	V	No coincide con Figura 2.4 HSI		
Lluvia batiente anual de referencia escalar (3.2 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Ia [mm/año]	Zonificación de referencia	Grado de exposición aDRI		aproximados a los definidos por UNE-EN ISO 15927-3:2011.
170,82	IV	Protegido		
Lluvia batiente máxima de referencia escalar (3.3 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	38	
		Media aritmética en muestra:	78,6236	
		Desviación típica en muestra:	63,8455	
Ias [mm/periodo ab.] TR=3 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=10 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=30 años	Ias [mm/periodo ab.] TR=50 años	
98,87	174,57	238,27	267,35	
Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento (Anexo B UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	38	
		Media aritmética en muestra:	13,1579	
		Desviación típica en muestra:	7,3037	
Periodo ab. [días] TR=3 años	Periodo ab. [días] TR=10 años	Periodo ab. [días] TR=30 años	Periodo ab. [días] TR=50 años	
15	24	31	35	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente durante periodo absoluto de humedecimiento (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	38	
		Media aritmética en muestra:	60,0608	
		Desviación típica en muestra:	30,3807	
[N/m2 periodo ab.] TR=3 años	[N/m2 periodo ab.] TR=10 años	[N/m2 periodo ab.] TR=30 años	[N/m2 periodo ab.] TR=50 años	
69,69	105,72	136,03	149,87	
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalar de referencia (4 UNE-EN ISO 15927-3:2011) (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	38	
		Media aritmética en muestra:	3,9737	
		Desviación típica en muestra:	1,9397	
[1/2 jorn.] TR=3 años	[1/2 jorn.] TR=10 años	[1/2 jorn.] TR=30 años	[1/2 jorn.] TR=50 años	
5	7	9	10	
Lluvia batiente máxima diaria escalar (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	38	
		Media aritmética en muestra:	44,5103	
		Desviación típica en muestra:	38,2338	
Id [mm/día] TR=3 años	Id [mm/día] TR=10 años	Id [mm/día] TR=30 años	Id [mm/día] TR=50 años	
56,63	101,97	140,12	157,53	
Presión eólica escalar máxima simultánea a lluvia batiente diaria (Mediciones diarias)				
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra:	38	
		Media aritmética en muestra:	100,1176	
		Desviación típica en muestra:	55,2753	
[N/m2 día] TR=3 años	[N/m2 día] TR=10 años	[N/m2 día] TR=30 años	[N/m2 día] TR=50 años	
117,64	183,19	238,34	263,51	

Continuación de los resultados anteriores:

Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalara (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 38	
		Media aritmética en muestra: 67,4377	
		Desviación típica en muestra: 55,9948	
Isii [mm/per. ii] TR=3 años	Isii [mm/per. ii] TR=10 años	Isii [mm/per. ii] TR=30 años	Isii [mm/per. ii] TR=50 años
85,19	151,59	207,46	232,96
Periodo escalara máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 38	
		Media aritmética en muestra: 4,7105	
		Desviación típica en muestra: 1,9988	
Duración ii [días] TR=3 años	Duración ii [días] TR=10 años	Duración ii [días] TR=30 años	Duración ii [días] TR=50 años
5	8	10	11
Presión edíca escalara máxima simultanea a lluvia batiente ininterrumpida (Mediciones diarias)			
Parámetros de ajuste para Distribución Gumbel		Número de datos en muestra: 38	
		Media aritmética en muestra: 74,2035	
		Desviación típica en muestra: 37,9412	
[N/m2 periodo ii] TR=3 años	[N/m2 periodo ii] TR=10 años	[N/m2 periodo ii] TR=30 años	[N/m2 periodo ii] TR=50 años
86,23	131,22	169,08	186,36

Datos escalares máximos puntuales registrados, según antigüedad de la serie (Mediciones diarias)			
Serie 1962-2011	Serie 1980-2011	Serie 2001-2011	Serie 2008-2011
Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]	Is max. [mm/periodo ab.]
286,10	286,10	175,32	175,32
Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]	Pas.viento simult. [N/m2 per.]
21,74	21,74	26,57	26,57
Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]	Periodo ab. max. [días]
41	41	41	22
Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]	Pas.viento max [N/m2 periodo ab.]
162,19	162,19	70,37	70,37
I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]	I'as simultanea [mm/periodo ab.]
87,69	87,69	0,31	0,31
Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]	Id max. [mm/día]
166,18	166,18	101,68	96,45
Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]	Pd.viento simult. [N/m2 día]
1,19	1,19	1,21	1,19
Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]	Pd. viento max [N/m2 día]
303,75	226,58	147,55	92,73
I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]	I'd simultanea [mm/día]
9,25	69,92	0,24	24,14
Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]	Isii max. [mm/periodo ii]
252,65	252,65	175,14	175,14
Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii.viento simult. [N/m2 per. ii]	Psii. viento simult. [N/m2 per. ii]
12,99	12,99	25,40	25,40
Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]	Periodo ii max. [días]
9	9	9	9
Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]	Psii.viento max [N/m2 periodo ii]
188,84	164,27	112,81	90,25
I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]	I'sii simultanea [mm/periodo ii]
95,53	9,69	0,39	1,20
[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.	[1/2 jornadas] max.
10	10	6	6

ANE.2.- MAPAS DE EXPOSICIÓN A LA HUMEDAD

En este apartado se presentan los mapas elaborados para resumir gráficamente la totalidad de los datos estructurados en las tablas anteriores, permitiendo su comparación ágil y funcional.

Se presentan mapas relativos a 80 emplazamientos españoles, representativos de todo el territorio nacional, incluidos sus archipiélagos, con el objetivo de establecer comparaciones entre las condiciones de exposición a diferentes parámetros de influencia para la penetración de agua atmosférica a través de los cerramientos verticales de los edificios.

La elaboración de los mapas presentados a continuación, se ha explicado detalladamente a lo largo del Capítulo IV.4, utilizando para ello un sistema de información geográfica o GIS, mediante software de uso libre. La información representada corresponde a la recopilada con anterioridad en las tablas de resultados, para lo cual se han seguido los procedimientos descritos en el Capítulo IV. Las conclusiones más relevantes que pueden extraerse del análisis conjunto de todos los mapas, se ha desarrollado igualmente en el capítulo IV.5.

En consecuencia se presentan una serie de mapas informativos, que ofrecen una revisión más científica y objetiva de la situación de exposición a la humedad de los cerramientos españoles, mejorando la estimación de la sollicitación ofrecida por el DB-HS1 del Código Técnico de la Edificación, cuyas numerosas carencias fueron ya desarrolladas en el Capítulo III.

Así, son numerosos los parámetros fenomenológicos representados en los mapas, de influencia en la caracterización de la sollicitación o exposición a penetración de agua en los cerramientos:

- Lluvia batiente incidente sobre el cerramiento.
- Presión eólica simultánea a lluvia sobre el cerramiento.
- Duración de la exposición a las anteriores variables

La duración analizada para la exposición corresponde a la:

- Sollicitación o exposición anual a lluvia batiente.
- Sollicitación o exposición diaria a lluvia batiente.
- Sollicitación o exposición a lluvia batiente por periodo de humedecimiento.
- Sollicitación o exposición a lluvia batiente, por periodo de jornadas ininterrumpidas de lluvia.

También se incorpora el plano relativo a la aproximación cualitativa, basada en los conceptos aportados por la norma UNE-EN ISO 15927-3:2011, para la estimación del periodo de humedecimiento más desfavorable, en contraposición a los restantes cálculos cuantitativos.

Todo ello se complementa con la presentación de mapas referidos a pluviometrías medias anuales y presiones eólicas medias simultánea a la precipitación, así como la estimación de varios coeficientes normalizados de exposición a la penetración de agua, que tratan de relacionar en un único parámetro, todos aquellos

factores climáticos de influencia sobre la posible penetración de agua atmosférica en el interior del cerramiento (numerados con una notación diferente I, II y III).

Cada una de estas tipologías de información ha sido agrupada en un mismo bloque diferenciado, en el índice de mapas que se muestra a continuación:

Mapa 01	Pluviometría media anual
Mapa 02	Zona pluviométrica de promedios (según CTE DB-HS1)
Mapa 03	Pluviometría media anual simultánea a viento (pluviometría batiente)
Mapa 04	Presión eólica media anual simultánea a precipitación
Mapa 05	Lluvia batiente anual de referencia escalas I_A
Mapa 06	Zonificación de referencia según indicador I_A
Mapa 07	Indicador daDRI
Mapa 08	Grado de exposición según clasificación de Lacy (indicador daDRI)
Mapa 09	Lluvia batiente máxima de referencia escalas I_{AS} para TR 3 años
Mapa 10	Exposición combinada anual (I_A) y por periodo absoluto de humedecimiento (I_{AS})
Mapa 11	Presión eólica máxima escalas, simultánea a periodo absoluto, TR 3 años
Mapa 12	Duración máxima escalas de periodo absoluto, TR 3 años
Mapa 13	Lluvia batiente máxima de referencia escalas I_{AS} para TR 10 años
Mapa 14	Presión eólica máxima escalas, simultánea a periodo absoluto, TR 10 años
Mapa 15	Duración máxima escalas de periodo absoluto, TR 10 años
Mapa 16	Lluvia batiente máxima de referencia escalas I_{AS} para TR 30 años
Mapa 17	Presión eólica máxima escalas, simultánea a periodo absoluto, TR 30 años
Mapa 18	Duración máxima escalas de periodo absoluto, TR 30 años
Mapa 19	Lluvia batiente máxima de referencia escalas I_{AS} para TR 50 años
Mapa 20	Presión eólica máxima escalas, simultánea a periodo absoluto, TR 50 años
Mapa 21	Duración máxima escalas de periodo absoluto, TR 50 años
Mapa 22	Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalas, TR 3 años
Mapa 23	Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalas, TR 10 años
Mapa 24	Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalas, TR 30 años
Mapa 25	Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento escalas, TR 50 años
Mapa 26	Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalas I_{SII} , TR 3 años
Mapa 27	Presión eólica máx. escalas, simultánea a lluvia ininterrumpida, TR 3 años
Mapa 28	Duración máxima escalas de periodo de lluvia ininterrumpida, TR 3 años
Mapa 29	Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalas I_{SII} , TR 10 años
Mapa 30	Presión eólica máx. escalas, simultánea a lluvia ininterrumpida TR 10 años
Mapa 31	Duración máxima escalas de periodo de lluvia ininterrumpida, TR 10 años
Mapa 32	Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalas I_{SII} , TR 30 años
Mapa 33	Presión eólica máx. escalas, simultánea a lluvia ininterrumpida TR 30 años
Mapa 34	Duración máxima escalas de periodo de lluvia ininterrumpida, TR 30 años
Mapa 35	Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalas I_{SII} , TR 50 años
Mapa 36	Presión eólica máx. escalas, simultánea a lluvia ininterrumpida TR 50 años
Mapa 37	Duración máxima escalas de periodo de lluvia ininterrumpida, TR 50 años

Mapa 38	Lluvia batiente máxima diaria escalar I_D , TR 3 años
Mapa 39	Presión eólica máx. escalar diaria, simultánea a lluvia, TR 3 años
Mapa 40	Lluvia batiente máxima diaria escalar I_D , TR 10 años
Mapa 41	Presión eólica máx. escalar diaria, simultánea a lluvia, TR 10 años
Mapa 42	Lluvia batiente máxima diaria escalar I_D , TR 30 años
Mapa 43	Presión eólica máx. escalar diaria, simultánea a lluvia, TR 30 años
Mapa 44	Lluvia batiente máxima diaria escalar I_D , TR 50 años
Mapa 45	Presión eólica máx. escalar diaria, simultánea a lluvia, TR 50 años

Mapa I	Coficiente normalizado de riesgo de penetración en periodos absolutos de humedecimiento, TR 3 años
Mapa II	Coficiente normalizado de riesgo de penetración en periodos ininterrumpidos de lluvia, TR 3 años
Mapa III	Coficiente normalizado de riesgo de penetración por lluvia diaria, TR 3 años



Mapa 01

LEYENDA

Precipitación anual (mm/año)

ISLAS CANARIAS
(OCENO ATLANTICO)





Mapa 02

[Según datos diarios AEMET para el período
1962-2011 (CTE DB-HS1)]

Zona pluviométrica de promedios

- I $p > 2000$ mm/año
- II $1000 < p \leq 2000$ mm/año
- III $500 < p \leq 1000$ mm/año
- IV $300 < p \leq 500$ mm/año
- V $p \leq 300$ mm/año

ISLAS CANARIAS
(OCÉANO ATLÁNTICO)



Mapa 04



LEYENDA

Presión eólica media simultánea a lluvia (N/m² día)

ISLAS CANARIAS
(OCEANO ATLANTICO)





Mapa 05

LEYENDA

la (mm/año)

Lluvia batiente anual de referencia escalar

ISLAS CANARIAS
(OCEANO ATLANTICO)





Mapa 06

[Según datos diarios AEMET para el periodo
1962-2011]

Zona de referencia Ia

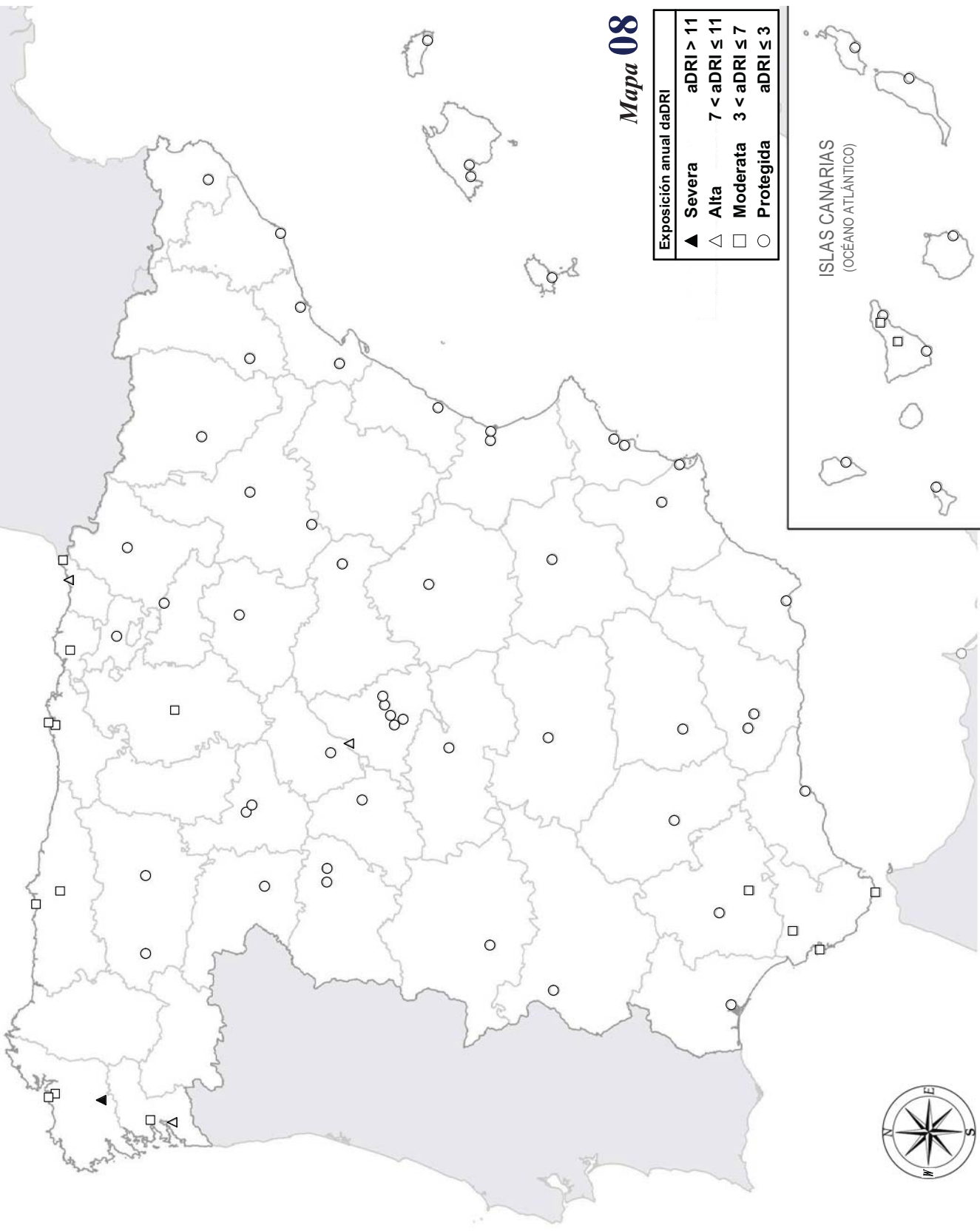
- I la > 1240 mm/año
- II 620 < la ≤ 1240 mm/año
- III 310 < la ≤ 620 mm/año
- IV 155 < la ≤ 310 mm/año
- V la ≤ 155 mm/año

ISLAS CANARIAS
(OCÉANO ATLÁNTICO)



Mapa 08

Exposición anual daDRI	
▲	Severa aDRI > 11
△	Alta 7 < aDRI ≤ 11
□	Moderata 3 < aDRI ≤ 7
○	Protegida aDRI ≤ 3



ISLAS CANARIAS
(OCÉANO ATLÁNTICO)





Mapa 09

LEYENDA

las (mm/periodo absoluto)
Lluvia batiente máxima de referencia escalar TR=3 años
(a partir de 3.3 UNE-EN-ISO 15927-3:2011)



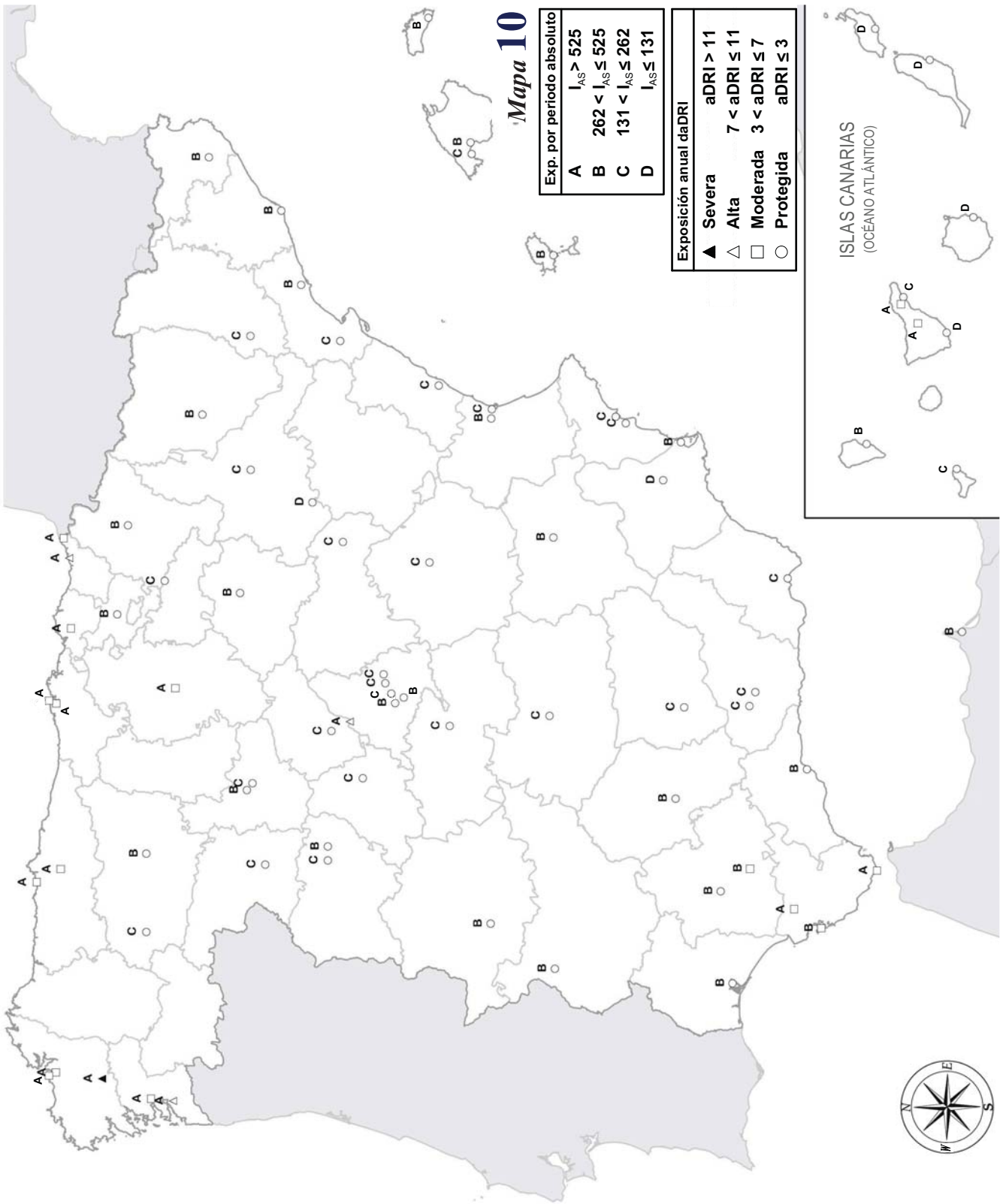
ISLAS CANARIAS
(OCEANO ATLANTICO)



Mapa 10

Exp. por periodo absoluto	
A	$I_{AS} > 525$
B	$262 < I_{AS} \leq 525$
C	$131 < I_{AS} \leq 262$
D	$I_{AS} \leq 131$

Exposición anual daDRI	
▲	Severa aDRI > 11
△	Alta 7 < aDRI ≤ 11
□	Moderada 3 < aDRI ≤ 7
○	Protegida aDRI ≤ 3



ISLAS CANARIAS
(OCÉANO ATLÁNTICO)





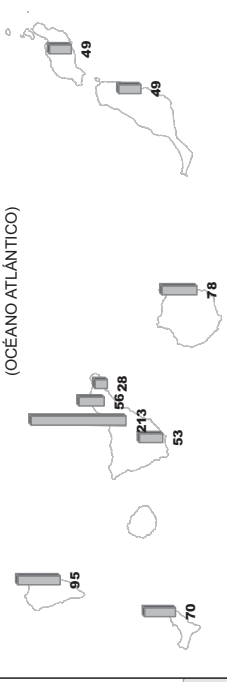
Mapa 11

LEYENDA

Pa (N/m²-periodo absoluto)
Presión eólica máxima simultánea a lluvia batiente
durante periodo absoluto de humedecimiento TR=3 años



ISLAS CANARIAS
(OCEANO ATLANTICO)





Mapa 12

LEYENDA

Da (días)

Duración máxima escalar de periodo absoluto de humedecimiento TR=3 años (UNE-EN-ISO 15927-3:2011)



ISLAS CANARIAS
(OCÉANO ATLÁNTICO)



Mapa 13



LEYENDA

las (mm/período absoluto)
 Lluvia batiente máxima de referencia escalar TR=10 años
 (a partir de 3.3 UNE-EN-ISO 15927-3:2011)



ISLAS CANARIAS
 (OCEANO ATLANTICO)





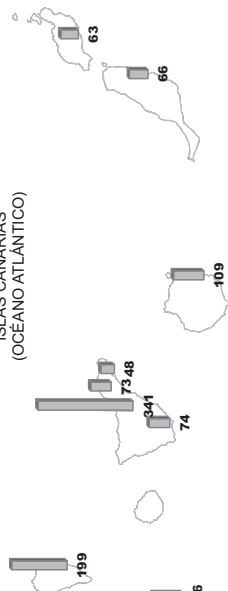
Mapa 14

LEYENDA

Pa (N/m²-periodo absoluto)
 Presión eólica máxima simultánea a lluvia batiente
 durante periodo absoluto de humedecimiento TR=10 años



ISLAS CANARIAS
 (OCEANO ATLANTICO)

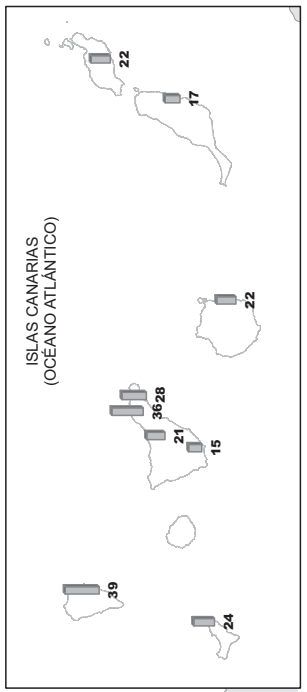




Mapa 15

LEYENDA

Da (días)
Duración máxima escalar de período absoluto de
humed. TR=10 años (UNE-EN-ISO 15927-3:2011)





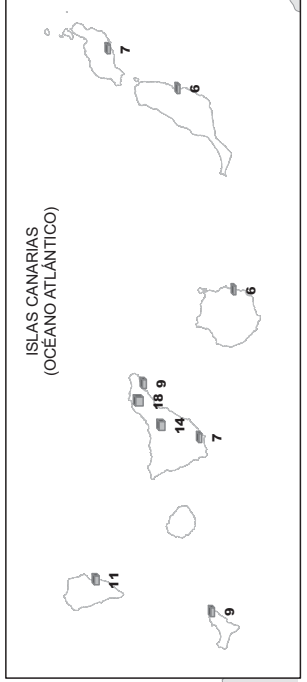
Mapa 24

LEYENDA

Duración (1/2 jornadas) TR=30 años
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento
escalar de referencia (UNE-EN-ISO 15927-3:2011)



ISLAS CANARIAS
(OCEANO ATLANTICO)





Mapa 25

LEYENDA

Duración (1/2 jornadas) TR=50 años
Estimación cualitativa del periodo de humedecimiento
escalar de referencia (UNE-EN-ISO 15927-3:2011)



ISLAS CANARIAS
(OCEANO ATLANTICO)





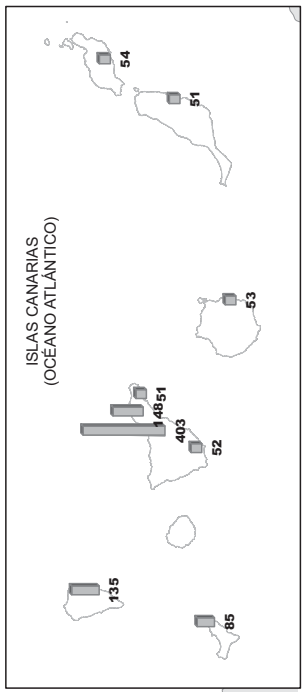
Mapa 26

LEYENDA

Isii (mm/periodo ii)
Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalar
TR=3 años



ISLAS CANARIAS
(OCEANO ATLANTICO)





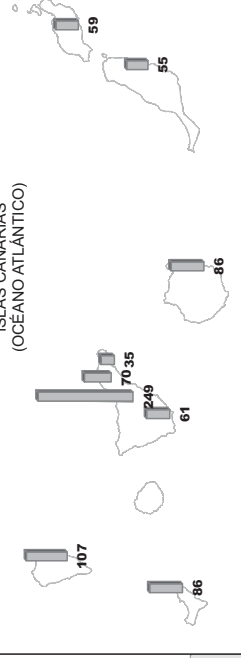
Mapa 27

LEYENDA

- Pii (N/m²-día)
- Presión eólica escalara máxima simultánea a lluvia batiente ininterumpida TR=3 años



ISLAS CANARIAS
(OCEANO ATLANTICO)





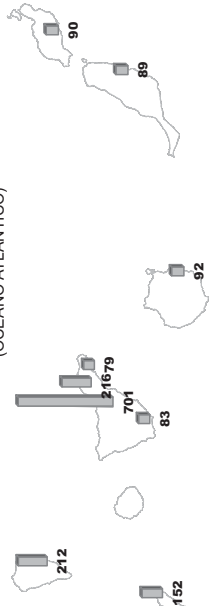
Mapa 29

LEYENDA

Isii (mm/periodo ii)
Lluvia batiente máxima ininterrumpida escalar
TR=10 años



ISLAS CANARIAS
(OCEANO ATLANTICO)





Mapa 31

LEYENDA

Día (días)

Periodo escalor máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterrumpida TR=10 años





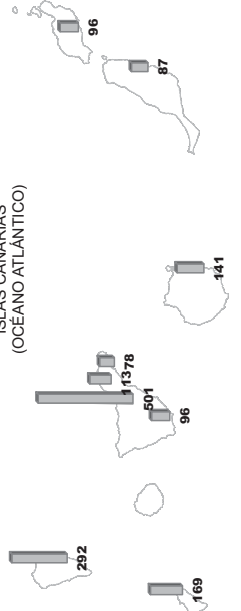
Mapa 33

LEYENDA

Pii (N/m²-día)
Presión eólica escalara máxima simultánea a lluvia
batiente ininterumpida TR=30 años



ISLAS CANARIAS
(OCEANO ATLANTICO)





Mapa 37

LEYENDA

Día (días)

Periodo escalor máximo de humedecimiento por lluvia batiente ininterumpida TR=50 años



ISLAS CANARIAS
(OCEANO ATLANTICO)



Mapa 38

LEYENDA

Id (mm/día)

Lluvia batiente máxima diaria escalara TR=3 años



ISLAS CANARIAS
(OCEANO ATLANTICO)

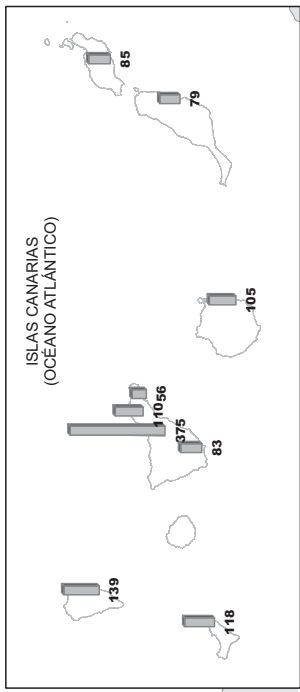




Mapa 39

LEYENDA

Pd (N/m²-día)
Presión eólica escalara máxima simultánea a lluvia
batiente diaria TR=3 años

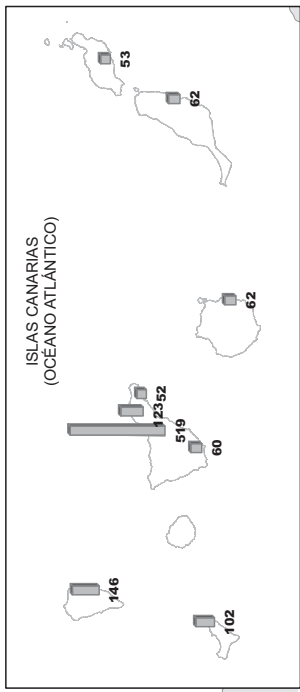




Mapa 40

LEYENDA

- Id (mm/día)
- Lluvia batiente máxima diaria escalar TR=10 años

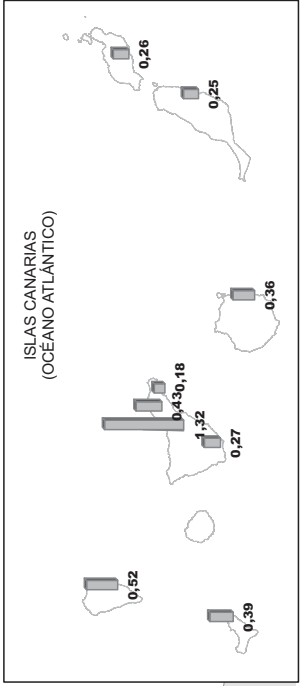




Mapa III

LEYENDA

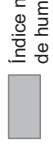
índice normalizado de penetración por periodo ininterrumpido de precipitación para TR=3 años. [adimensional]





Mapa III

LEYENDA



Índice normalizado de penetración por periodo diario de humedecimiento para TR=3 años. [adimensional]

ISLAS CANARIAS
(OCEANO ATLANTICO)



ANE.3.- MAPAS DE CARACTERIZACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD DE DISEÑO

En este apartado se presentan los dos mapas elaborados para resumir los gráficamente los resultados obtenidos en el Capítulo VI, evaluando de un modo comparativo, ágil y funcional, los factores correctores que se sugieren sean aplicados sobre la conductividad de diseño utilizada para el cálculo térmico de los cerramientos en nuestro país.

Los datos aportados se refieren a todas las capitales de provincia españolas, de forma similar a los parámetros térmicos recopilados por el DB-HE1 del Código Técnico de la Edificación.

Como en el caso anterior, la elaboración de los mapas presentados, se ha explicado detalladamente a lo largo del Capítulo IV.4, utilizando para ello un sistema de información geográfica o GIS, mediante software de uso libre. Las conclusiones más relevantes que pueden extraerse del análisis conjunto de los mapas, se ha desarrollado igualmente en el capítulo VI.6.

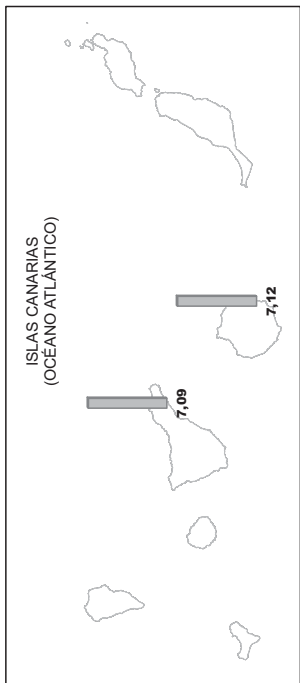
Los parámetros de corrección presentados o porcentaje (%) con el que debe mayorarse la conductividad térmica de los materiales en cada emplazamiento para el cálculo, ofrecen una estimación más precisa y prestacional de las condiciones higrotérmicas existentes, mejorando substancialmente el parámetro de partida básico utilizado en cualquier otro análisis térmico posterior.

Partiendo de diferentes caracterizaciones de la conductividad (en condiciones de diseño definidas por el CTE o en condiciones declaradas por el fabricante según el conjunto de especificaciones Ia), se presentan dos mapas diferenciados, que muestran los factores de corrección a aplicar sobre la conductividad definida por cada grupo de condiciones:

Mapa A	% de incremento de conductividad λ sobre condiciones de diseño CTE
Mapa B	% de incremento de conductividad λ sobre condiciones declaradas Ia



Mapa B



ANE.4.- PUBLICACIONES CIENTÍFICAS DERIVADAS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Acompañan a la realización de esta Tesis Doctoral diferentes artículos ya publicados o remitidos a diversas revistas de reconocido prestigio internacional, los cuales se inspiran, basan o apoyan en los aportes obtenidos en el desarrollo de la misma. Se contabilizan cuatro publicaciones en revistas recogidas en puestos relevantes dentro de los listados “Subject Category Listing” del Journal Citation Report del Science Citation Index (SCI), cuyos datos se enumeran a continuación:

Article title: *Estimation of the exposure of buildings to driving rain in Spain from daily wind and rain data*

DOI information: 10.1016/j.buildenv.2012.05.010

Authors: José M. Pérez Bella; Javier Domínguez Hernández; Beatriz Rodríguez Soria; Juan J. del Coz Díaz; Enrique Cano Suñén

First author: José M. Pérez Bella

Journal: Building and Environment; PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD; JRC Impact Factor 2.129; Q1 (3/53); Construction & Building Technology.

Received: 12 Mar 2012

Accepted: 24 May 2012

Abstract:

In this study, the severity of the exposure of buildings in Spain to driving rain is estimated. The annual driving rain index (aDRI) is determined at 80 sites spread across Spain, based on wind and rain data recorded daily over 30 years. The comparison among the driving rain indices based on daily, monthly and annual climatic data, allows assessing the existence of co-occurrence errors and errors due to averaging. This work also introduces a new reference scalar index to characterise exposure to driving rain during the wetting stages of the building façades based on daily data. Therefore, a new approach to the concept of “spell” established by the ISO 15927-3:2009 standard is proposed. The combination of the two indices provides a qualitative characterisation based on two temporal criteria, supplementing the estimated exposure level currently set by the Spanish standard for the design of buildings. A driving rain map for Spain is produced. Those sites where exposure during periods of wetting is significant are identified (the northern part of the country, the Gulf of Cadiz and specific areas of the Mediterranean coast and the Canary Islands). An important annual exposure on the north and northwest coast of the country and a slightly lower exposure in coastal areas of the Gulf of Cadiz are also identified. The Mediterranean coast and the interior regions are considered to have a low annual exposure to driving rain. Finally, the major findings of this research are reported.

Keywords:

Driving rain, Wind speed, Rainfall, Building design, Spain

Article title: *Optimised method for estimating directional driving rain from synoptic observation data.*

Authors: José M. Pérez Bella; Javier Domínguez Hernández; Beatriz Rodríguez Soria; Juan J. del Coz Díaz; Enrique Cano Suñén

First author: José M. Pérez Bella

Journal: Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics; PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD; JRC Impact Factor 1.123; Q1 (27/115); Civil Engineering.

Received: 13 Jun 2012

Accepted: En estado de revisión.

Abstract:

In this article, the annual directional exposure to driving rain is examined at four Spanish sites that are characterised in terms of different rainfall levels and topographical and wind conditions. For this study, the present weather observation method is used, which is based on average annual rainfall data and synoptic observations of the present weather. The results of this study are compared with those obtained by applying the ISO 15927-3:2009 standard, which is based on the semi-empirical analysis of hourly wind and rainfall data. This study identifies the intrinsic dependence of the synoptic method on the weather conditions that exist at each site, which affect the reliability and accuracy of the forecasts. Thus, corrective changes that would enable the synoptic method to generate more reliable approximations are proposed, and a new optimised methodology is presented that also relies on synoptic observations but is independent of weather conditions and rainfall. The results, validated at four Spanish sites, suggest that in the absence of hourly data for implementing the ISO standard, this optimised synoptic method is able to generate reasonably accurate forecasts of the annual directional exposure to driving rain, regardless of the particular conditions at each site.

Keywords:

Driving rain; Weather observations; Building enclosure performance; Spain

Article title: *Performance-based method for calculating test parameters used in wall system water tightness tests.*

Authors: José M. Pérez Bella; Javier Domínguez Hernández; Beatriz Rodríguez Soria; Juan J. del Coz Díaz; Enrique Cano Suñén

First author: José M. Pérez Bella

Journal: Building and Environment; PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD; JRC Impact Factor 2.129; Q1 (3/53); Construction & Building Technology.

Received: 28 Jun 2012

Accepted: En estado de revisión.

Abstract:

Rain and wind pressure on walls are two fundamental climatic parameters affecting the penetration of water through building façades. Water tightness tests attempt

to reproduce exposure extremes, thus evaluating the resistance to the passage of water through the façade. However, the exposure conditions that can occur for a given return period in a real situation vary with each location and operating condition. Therefore, standardised conditions simulated during the leakage tests may not be exactly representative of all real exposure conditions, which impedes a precise understanding of the actual performance of the façade under operating conditions that differ from test settings. To achieve a one-to-one correlation between standard exposure parameters used in testing and actual exposure conditions is a key challenge in improving the usefulness of water tightness tests. This paper proposes a new methodology for establishing this correlation in terms of the performance. To establish this correlation during operating conditions, the return period that produces the tested exposure is determined. The proposed new methodology has been used to assess the adequacy of standardised test conditions, which are specified by EN 12865:2001 for European localities, on a specific façade located at a site in Spain. The results demonstrate that the proposed methodology can determine the performance ensured by the test results regardless of the weather conditions and design that define the operational situation of the façade, which maximises the utility of existing tests and allows for an improvement of the wall design under operating conditions for every situation.

Keywords:

Driving rain; Building envelope; Test parameters; Water tightness; Climate loads

Además de los tres anteriores artículos, publicados y/o remitidos a revistas de investigación respectivamente, otro artículo más relacionado con los aportes desarrollados en esta Tesis Doctoral seguirá próximamente similares pasos:

Article title: *Expanded performance-based method for defining the equivalence between different international water tightness tests.*

Authors: José M. Pérez Bella; Javier Domínguez Hernández; Beatriz Rodríguez Soria; Juan J. del Coz Díaz; Enrique Cano Suñén

First author: José M. Pérez Bella

Por último, se ha dirigido igualmente un Proyecto Fin de Carrera de la titulación de Ingeniería Industrial, en la mención de Construcciones e Instalaciones Industriales de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza, titulado: “*Aproximación a la solicitud por humedad en cerramientos de edificación en España. Aplicación del CTE DB-HSI a vivienda unifamiliar*”, realizado por D. Javier Escuer Gracia en 2012 y calificado con una evaluación de Sobresaliente.

El Proyecto Fin de Carrera, que se apoya en los resultados presentados por esta Tesis Doctoral, se centró en el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica a partir de los datos recopilados, permitiendo una visualización funcional de los aportes obtenidos. Resultado del mismo, son los mapas contenidos en este capítulo de anejos.



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza



Departamento de
Ingeniería Mecánica
Universidad Zaragoza



ÁREA DE INGENIERÍA
DE LA CONSTRUCCIÓN
Universidad Zaragoza

