



Trabajo Fin de Grado

DETERMINACIÓN DIRECCIONAL DE LAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN A LA PENETRACIÓN DE AGUA ATMOSFÉRICA EN FACHADAS DE DIFERENTES ESTADOS MEXICANOS.

DIRECTIONAL ANALYSIS OF WATER PENETRATION EXPOSURE IN BUILDING FAÇADES OF DIFFERENT MEXICAN STATES.

Autor:

Aníbal Santiago Ciprián

Director:

José María Pérez Bella

Facultad / Escuela
Centro Politécnico Superior
Año
2018



**DECLARACIÓN DE
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD**

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./Dª. ANÍBAL SANTIAGO CIPRIÁN,

con nº de DNI 18059 157 V en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA, (Título del Trabajo)
DETERMINACIÓN DIRECCIONAL DE LAS CONDICIONES
DE EXPOSICIÓN A LA PENETRACIÓN DE AGUA
ATMOSFÉRICA EN FACHADAS DE DIFERENTES
ESTADOS MEXICANOS

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 20 de Septiembre 2018

Fdo:

RESUMEN:

Con el fin de asegurar el buen comportamiento higro-térmico de un cerramiento es necesario tener en cuenta todos los factores tanto externos como internos que pueden afectar a este. Uno de los factores al que actualmente no se le otorga la suficiente importancia es la penetración indebida de agua atmosférica a través de la envolvente del edificio y específicamente, a través de las fachadas. Esta penetración de agua se traduce en una menor durabilidad de los cerramientos, menores rendimientos energéticos, pérdida de aislamiento térmico e incluso, afecciones para la salud de los ocupantes de los inmuebles.

En las fachadas, el principal aporte de agua deviene de la llamada lluvia batiente, o precipitación que, impulsada por la acción simultánea del viento, incide sobre su superficie vertical. Simultáneamente, la presión ejercida por el viento sobre la fachada contribuye a introducir este aporte de agua en la estructura porosa de los materiales, aumentando el alcance y afecciones de la penetración de agua.

En conjunto, ambos factores determinan el riesgo de exposición a la penetración de agua de las fachadas de edificación, parámetro que debe ser adecuadamente caracterizado como paso previo para establecer posteriormente los requisitos de diseño necesarios para minimizar las posibles afecciones.

A su vez, la influencia de los vientos predominantes durante las precipitaciones en estos fenómenos propicia que la dirección de las gotas de lluvia cambie e incida sobre la fachada, propiciando un humedecimiento y posterior deterioro del cerramiento diferenciado para cada posible orientación de fachada.

Analizando registros meteorológicos simultáneos de precipitación, velocidad y dirección de viento, en este proyecto se ha caracterizado la exposición direccional de las fachadas ante la penetración de agua, para múltiples emplazamientos de 4 estados del centro y oeste de México (Guanajuato, Hidalgo, Morelos y San Luis Potosí).

Con los resultados obtenidos se elaboran mapas de exposición para estos estados, así como fichas detalladas para cada una de las distintas estaciones meteorológicas analizadas. Del mismo modo, se presentan valores de exposición de carácter escalar (sin discriminar la exposición entre las distintas orientaciones de fachada) y se incluyen diversos estudios estadísticos que analizan los valores de exposición asociados a diferentes períodos de retorno.

Esta detallada caracterización pretende proporcionar los datos de partida necesarios para desarrollar posteriores requerimientos de construcción adecuados a las necesidades existentes en cada emplazamiento, que, incorporados en los códigos de construcción mexicanos, posibiliten diseños mejorados de fachadas, más seguros ante la penetración de agua atmosférica.

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL PROYECTO:	5
2. ALCANCE:	6
2.1 ESTADOS ANALIZADOS:	8
2.1.1 GUANAJUATO:	8
2.1.2 HIDALGO:	9
2.1.3 MORELOS:.....	11
2.1.4 SAN LUIS POTOSÍ:	12
3. METODOLOGÍA:	13
3.1 CALCULOS SOBRE LLUVIA BATIENTE:	13
3.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL APORTE DE AGUA INCIDENTE SOBRE LA FACHADA:	13
3.1.2 CÁLCULO DE LA PRESIÓN EÓLICA SIMULTÁNEA A LA LLUVIA BATIENTE:	17
3.2 CÁLCULOS DE PERIODOS DE RETORNO (DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL):	17
3.2.1 APLICACIÓN DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL:	18
3.3 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS:	20
3.3.1 DESCARGA Y TRATAMIENTO DE DATOS:.....	20
3.3.2 ANÁLISIS DE DATOS:	22
4. RESULTADOS:.....	22
4.1 FICHAS DE ESTACIONES:	22
4.2 MAPAS DE EXPOSICIÓN:	25
5. DISCUSIÓN O ANÁLISIS DE RESULTADOS:	28
5.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS CLIMÁTICOS:	28
5.2 CORRELACIONES ENTRE LOS DISTINTOS RESULTADOS:.....	28
5.3 CÁLCULO DE RIWP:.....	32
6. CONCLUSIONES:.....	35
6.1 CARÁCTER PERSONAL:.....	35
6.2: CARÁCTER TÉCNICO:.....	36
7. BIBLIOGRAFÍA:	38
8. ANEXOS:.....	40
ANEXO 1: FICHAS DE ESTACIONES.....	40
ANEXO 2: CÓDIGO DE DESCARGA EN PYTHON.	219
ANEXO 3: MAPAS DE EXPOSICIÓN.....	221

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL PROYECTO:

Uno de los mayores problemas que presentan los cerramientos verticales en la edificación es la presencia indebida de humedad como consecuencia de la penetración de agua atmosférica.

Esta exposición a los agentes ambientales externos afecta a la durabilidad de los materiales, provoca manchas o efectos antiestéticos, disminuye la capacidad de aislamiento de los materiales (aumentando el gasto energético del edificio y la emisión de agentes contaminantes a la atmósfera) e incluso puede derivar en la existencia de patologías que afecten a la salud humana (mohos, alergias, asma...)(1,2).

La penetración de agua atmosférica a través de los materiales de fachada se produce principalmente cuando la precipitación es desviada por la acción simultánea del viento sobre la superficie vertical. Así, caracterizar estos factores atmosféricos constituye un primer paso necesario para posteriormente, establecer los requisitos necesarios en cada emplazamiento (1-3).

En el CÓDIGO DE EDIFICACIÓN DE VIVIENDA del Gobierno Federal de Estados Unidos Mexicanos no se incluye información para cada municipio o región determinada, acerca de los requerimientos de diseño necesarios para garantizar la durabilidad, efectividad térmica de los cerramientos bajo estos efectos atmosféricos adversos.

Así, en la actualidad tan solo se establecen recomendaciones de diseño dependientes de la región climática en la que se encuentre el edificio; Existen tres regiones según el código, cálida-seca, cálida húmeda y templada (4):

"CAPÍTULO 26A - ACABADOS EXTERIORES E INTERIORES:

2601A.2 Selección de recubrimientos. La selección y aplicación de acabados, texturas y colores exteriores deben concordar con la región climática y ofrecer las mejores ventajas ante humedad (lluvia, brisa, nieve), polvo, radiación solar y mantenimiento, para evitar que la exposición de la vivienda a la intemperie, como uno de los factores de deterioro que más desgastan las cubiertas y paredes, y los problemas de humedad, goteras y hongos afecten negativamente la conservación de la vivienda y la salud de las personas."

La cantidad de agua incidente sobre la superficie vertical de la fachada depende de intensidad de lluvia, así como de la acción del viento que desvía la trayectoria natural de las gotas de lluvia. Este fenómeno se denomina lluvia batiente (wind-driven rain o WDR). Así, mediante una formulación semi-empírica es posible determinar la cantidad de lluvia batiente incidente sobre la fachada a partir de registros simultáneos de viento y precipitación.

Al mismo tiempo, la presión eólica simultánea a la lluvia batiente sobre la fachada se denomina (driving rain wind pressure o DRWP), y contribuye a la infiltración de agua en el interior del cerramiento, favoreciendo la penetración del agua en la matriz porosa de los materiales de construcción (1).

Para caracterizar la exposición de las fachadas a la WDR y DRWP en cada emplazamiento, es necesaria la recopilación y análisis de la pluviometría y la velocidad y dirección del viento en cada lugar. Dada la limitada disponibilidad de datos meteorológicos exhaustivos en México, para este análisis se ha recurrido a datos medios diarios (renunciando a una caracterización horaria o diezminutal), pero, en cualquier caso, proporcionando una precisión superior a la habitualmente alcanzada en estudios de estas características (desarrollados a partir de datos medios o anuales).

Con estos datos diarios recopilados durante varios años, es posible estimar la solicitud a la humedad que sufrirán los cerramientos verticales en función de su ubicación. Incorporando además en la formulación registros simultáneos de dirección de viento, los resultados obtenidos permitirán identificar aquellas orientaciones de fachada más expuestas en cada lugar.

Así, se realizará el análisis de los parámetros WDR y DRWP para 4 estados mexicanos, (Hidalgo, Morelos, Guanajuato y San Luis Potosí), estudiando más de 90 estaciones climatológicas repartidas a lo largo de su territorio.

Con todo ello se pretende sentar las bases para mejorar el diseño de los futuros cerramientos de edificación en estas regiones, caracterizando adecuadamente las prestaciones de estanqueidad requeridos en cada emplazamiento. La implementación de esta caracterización en la normativa de construcción (por ejemplo, el mencionado Código de Edificación de Vivienda mexicano), contribuiría a desarrollar un cumplimiento más exigente y con mayores prestaciones en la protección frente a la humedad y disminuiría las afecciones que actualmente tiene la penetración de humedad en las fachadas mexicanas (1).

2. ALCANCE:

En este estudio se han analizado datos climatológicos diarios de 4 estados del centro de México, estos son Hidalgo, Morelos, Guanajuato y San Luis Potosí. El país se divide en 8 regiones, los estados de Guanajuato y San Luis Potosí pertenecen a la región del Centronorte, Morelos pertenece a la región de Centrosur e Hidalgo pertenece a Oriente (Fig.1).



Fig. 1: Mapa de los estados estudiados. (5)

La mayor parte del territorio analizado se encuentra comprendido entre dos grandes cadenas montañosas que se extienden a lo largo del país (Fig. 2). La sierra Madre Occidental y la sierra Madre Oriental. Entre ellas se encuentra una meseta de gran extensión llamada Mesa del Centro, con una altura promedio de 1200 msnm. Esta particular orografía contribuye a que las lluvias en esta zona sean escasas, generando un clima seco y árido en diversas zonas (6,7).



Fig. 2: Mapa orográfico de México (7)

Los datos empleados (registros diarios de intensidad de precipitación, velocidad y dirección de viento) han sido descargados de INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). Para cada estación se ha elaborado un documento Excel mediante el que se analizan los datos de los años analizados.

Se establecen como requisitos para el análisis un mínimo de 5 años de registro, con una fiabilidad del 75%. Así, en algunos casos había estaciones que cumplían el mínimo de años a estudiar, pero en las que había más de un 20% de datos erróneos. Lo habitual en dichos casos es que la estación climatológica se encuentra fuera de servicio y existen meses o incluso años en los que no se recogen datos.

En total, se han analizado un total de 90 estaciones meteorológicas con datos suficientemente representativos de la climatología local. Para la obtención de datos se ha empleado un software (Python) que agiliza la descarga desde la página de INIFAP y que posteriormente ordena los documentos descargados en un orden cronológico. El código del programa se ha actualizado y modificado para que funcione correctamente en el ordenador empleado.

A su vez, los resultados obtenidos son recopilados en una tabla resumen. Estas contienen información acerca de la ubicación y resultados de exposición tales como el daDRI y DRWP de la propia estación. A ello se suman, a efectos estadísticos, los valores climatológicos asociados a diferentes períodos de retorno. Así, se han analizado períodos de retorno para las precipitaciones y viento diarios, empleándose para ello la Distribución de Gumbell (8).

A partir del análisis mencionado es posible elaborar mapas de exposición basados en criterios más fiables que los parámetros de diseños actualmente empleados por el Código de Edificación de Vivienda. Así, estos mapas representan detalladamente las condiciones climatológicas realmente influyentes para el diseño de fachadas ante la penetración de humedad atmosférica en estos cuatro estados mexicanos.

Con esto se pretende proporcionar una herramienta útil para actualizar el Código de Edificación de Vivienda del gobierno mexicano, mejorando la protección de los edificios mexicanos ante los efectos adversos que provoca la penetración de agua atmosférica en los mismos.

2.1 ESTADOS ANALIZADOS:

2.1.1 GUANAJUATO:

El estado de Guanajuato es el sexto más poblado del país, ocupa una superficie de 30.491 km². Se encuentra dentro de tres grandes provincias fisiográficas, en la parte norte, la Mesa del Centro; en el noreste, la Sierra Madre Oriental y en el centro sur, el Eje Neovolcánico. Esto condiciona notoriamente el clima, además de la lejanía al mar, efectos provocados por masas de aire polar provenientes del norte y los contrastes de altura y presión entre valles y serranías (9).

La temperatura media anual del estado es de 18°C, la precipitación media del estado es de aproximadamente 650 mm anuales. Las lluvias se presentan en verano, principalmente en los meses de junio a septiembre. Siendo la zona norte la más seca, así se ha reflejado en los resultados, se aprecia que las estaciones del sur es donde las lluvias son más abundantes (10).

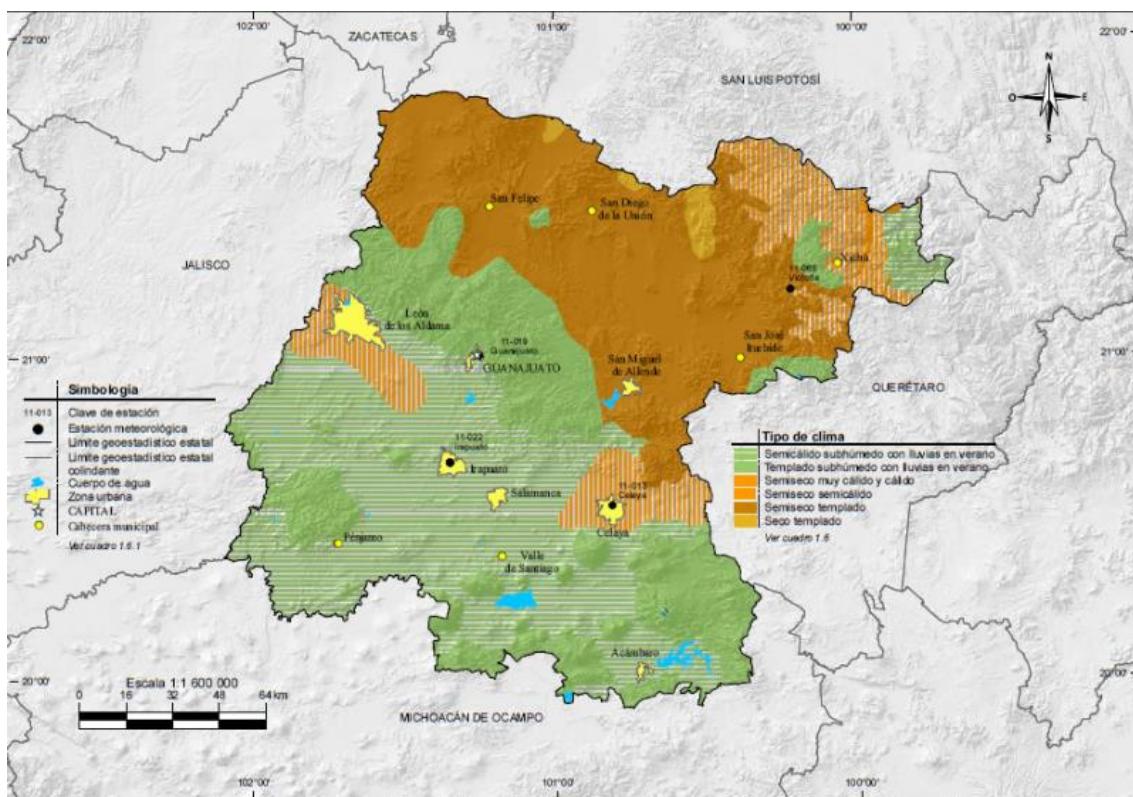


Fig. 3: Mapa climático de Guanajuato. (10)

En la ilustración (Fig. 3) se aprecian los distintos climas presentes en el estado por extensión territorial, estos son: semicálido subhúmedo (33.1%), templado semiseco (30.89%), templado subhúmedo (23.46%), semicálido semiseco (11.39%), templado seco (0.96%) y cálido semiseco (0.2%).

En la Tabla 1 se presenta el número de estaciones analizadas en este estado.

ESTACIONES	
Número total de estaciones en el estado.	46
Número de estaciones aprovechables.	25
Porcentaje de estaciones útiles.	54,34%
Superficie del estado.	30.608 km ²
Cobertura (Estaciones/km²)	1/1.225

Tabla 1: Información de estaciones Guanajuato.

2.1.2 HIDALGO:

Hidalgo es el sexto estado menos extenso de México, con una superficie de 20 813 km². Debido a su ubicación en la región centro-oriental del país, está englobado

en tres grandes provincias fisiográficas. Sierra Madre Oriental en la zona norte-centro, Eje Neovolcánico ocupando la parte centro-sur y La Llanura Costera del Golfo del Norte al este. Existen grandes diferencias de altitud entre las distintas provincias del estado, alcanzando más de 2000 msnm en la Sierra Madre Oriental y en la Llanura Costera, hay zonas con 100 msnm.

La temperatura media anual del estado es de 16°C, la precipitación media del estado es de aproximadamente 800 mm anuales. Las lluvias se presentan en verano, principalmente en los meses de junio a septiembre, exceptuando la zona noreste, en la región de la Huasteca y de la Sierra de Tenango, donde las lluvias se prolongan a lo largo de todo el año (11).

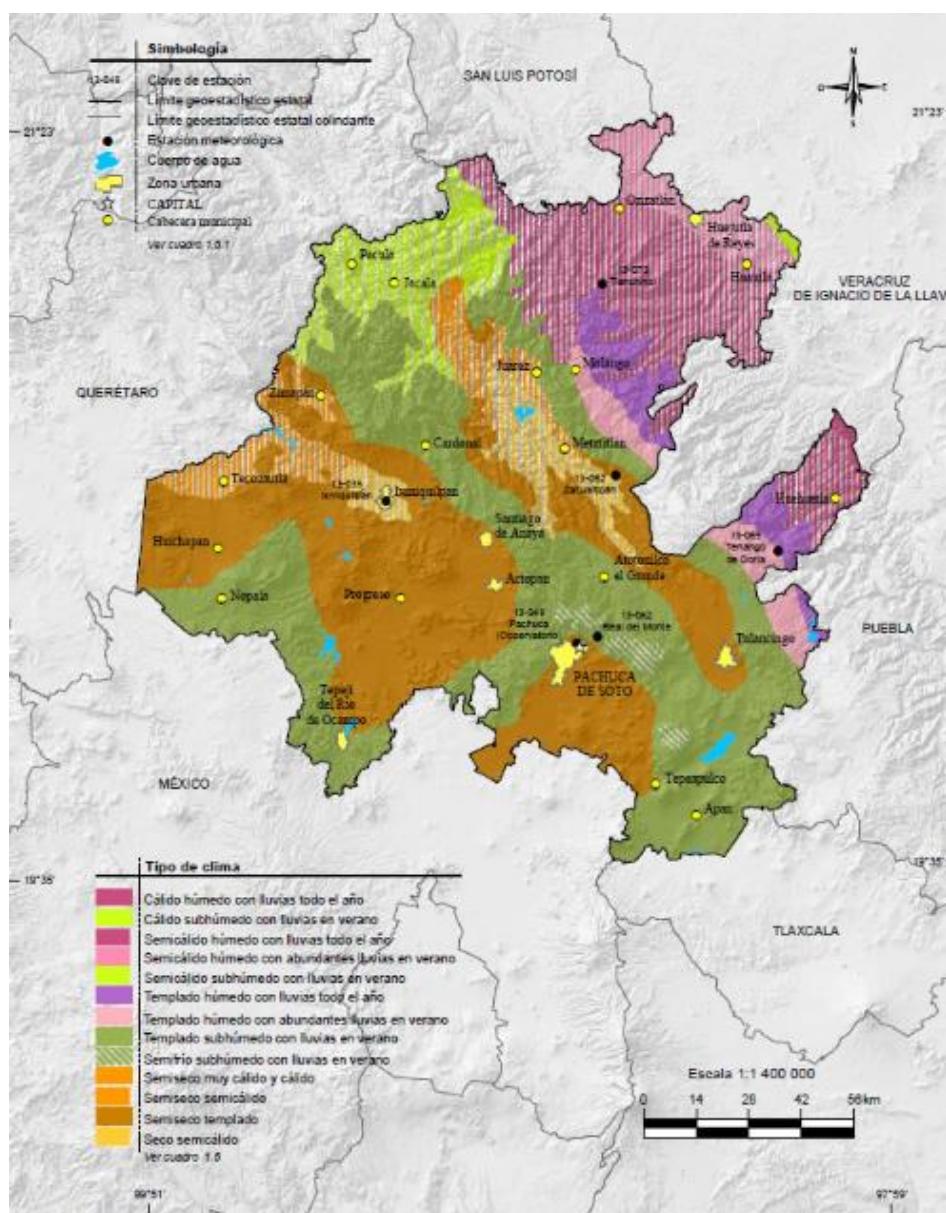


Fig. 4: Mapa climático de Hidalgo.

En la ilustración (Fig. 4) se observa que existen gran cantidad de climas presentes en el estado, por extensión territorial se distribuyen: templado subhúmedo (31.42%), templado semiseco (29.65%), semicálido húmedo (16.23%), templado húmedo (6.05%), semicálido subhúmedo (5.76%), semicálido semiseco (4.92%), semicálido seco

(3.83%), semifrío subhúmedo (0.93%), cálido subhúmedo (0.84%), cálido húmedo (0.2%) y semiseco muy cálido y cálido (0.17%).

En la Tabla 2 se presenta el número de estaciones analizadas en este estado.

ESTACIONES	
Número total de estaciones en el estado.	41
Número de estaciones aprovechables.	28
Porcentaje de estaciones útiles.	68,29%
Superficie del estado.	20.813 km ²
Cobertura (Estaciones/km²)	1/744

Tabla 2: Información de estaciones Hidalgo.

2.1.3 MORELOS:

Morelos es el segundo estado menos extenso del país, cuenta con 4893 km². Sin embargo, es el segundo con mayor densidad de población, con 363,22 hab/km², únicamente superado por el Estado de México. Las alturas son muy variadas desde los 5.432 msnm del Volcán Popocatépetl, hasta los 720 msnm de la zona sur.

La temperatura media anual es de 21,5°C, la precipitación media del estado es de alrededor 900 mm anuales. La mayor parte de las lluvias se dan en los meses de verano, de junio a septiembre. Predomina el clima subhúmedo, abarcando un 97% de la superficie(12).

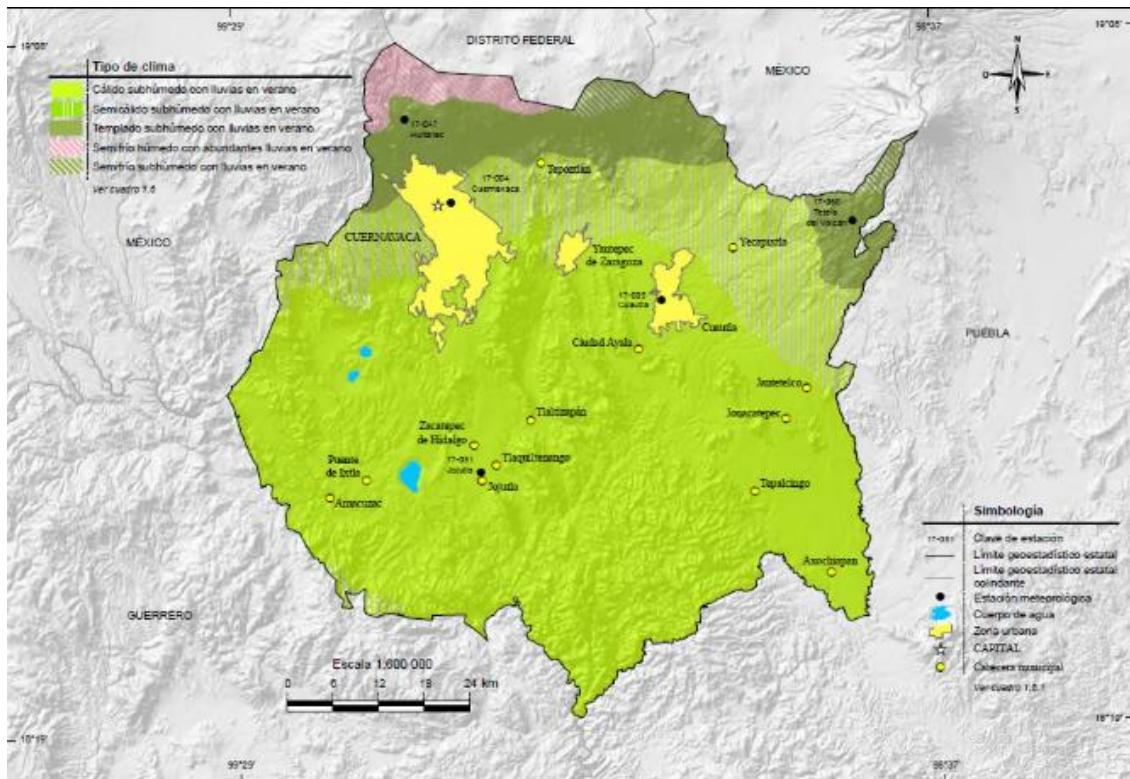


Fig. 5: Mapa climático de Morelos.

En términos generales los climas predominantes en el Estado de Morelos, por extensión territorial, son: cálido subhúmedo (68.17%), semicálido subhúmedo (18.85%), templado subhúmedo (9.7%), semifrío húmedo (2.25%) y semifrío subhúmedo (1.03%) (Fig. 5).

En la Tabla 3 se presenta el número de estaciones analizadas en este estado.

ESTACIONES	
Número total de estaciones en el estado.	32
Número de estaciones aprovechables.	21
Porcentaje de estaciones útiles.	65,62%
Superficie del estado.	4.893 km ²
Cobertura (Estaciones/km ²)	1/233

Tabla 3: Información de estaciones Morelos.

2.1.4 SAN LUIS POTOSÍ:

El estado se encuentra en la región centronorte del país, la extensión es de 65.278 km². La Sierra Madre Oriental ocupa más de la mitad de la superficie de la entidad, La Meseta Centro representa el 35% y el resto pertenece a la zona de La Llanura Costera del Golfo Norte.

La temperatura media anual es de 21°C, la precipitación media del estado es de 950 mm anuales. Las mayores precipitaciones se presentan al este de la entidad y las menores al oeste, la variación de precipitaciones entre ambas zonas se debe a la Sierra Madre Oriental(13).

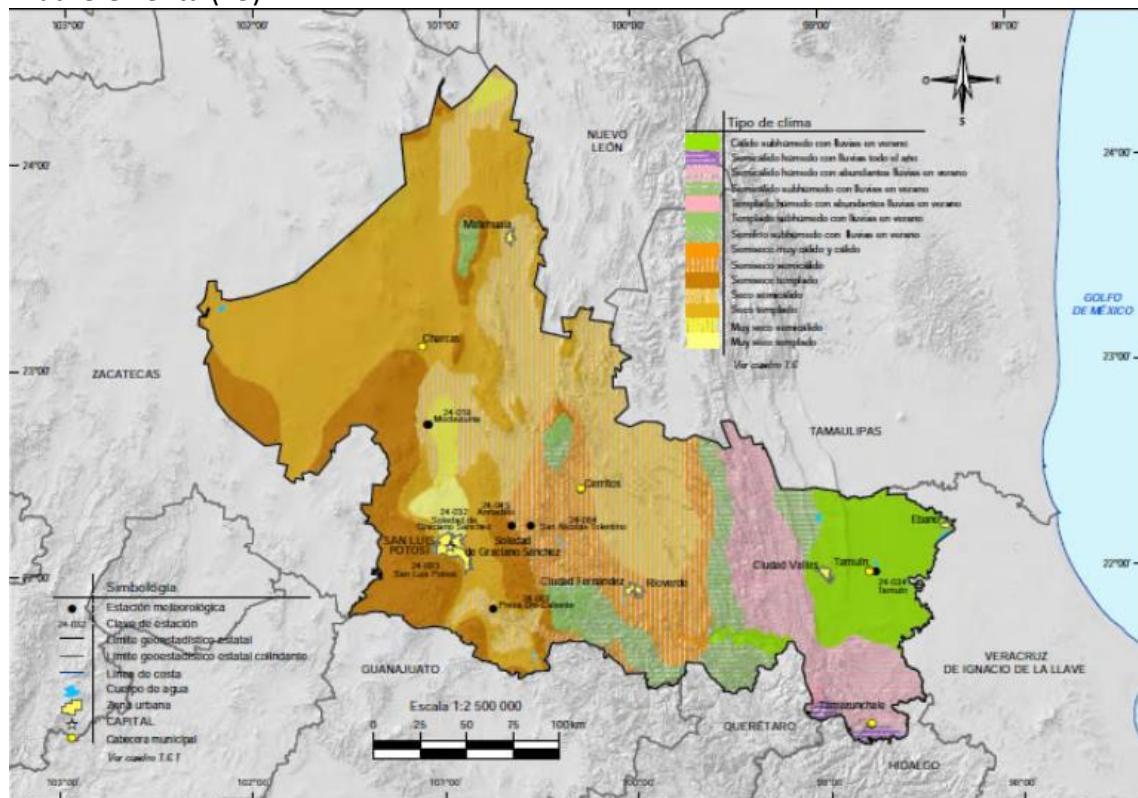


Fig. 6: Mapa climático de San Luis Potosí.

En términos generales los climas predominantes en el Estado de San Luis Potosí, por extensión territorial, son: templado seco (27.62%), semicálido seco (20.04%), templado semiseco (12.90%), semicálido semiseco (10.32%), semicálido húmedo (9.96%), cálido subhúmedo (8.68%), semicálido subhúmedo (6.32%), templado subhúmedo (1.37%), semicálido muy seco (1.35%), templado muy seco (1.16%), templado húmedo (0.19%), cálido semiseco (0.08%) y semifrío semihúmedo (0.01%)(Fig. 6).

En la Tabla 4 se presenta el número de estaciones analizadas en este estado.

ESTACIONES	
Número total de estaciones en el estado.	53
Número de estaciones aprovechables.	21
Porcentaje de estaciones útiles.	39,62%
Superficie del estado.	60.546 km ²
Cobertura (Estaciones/km²)	1/2.883

Tabla 4: Información de estaciones San Luis Potosí.

3. METODOLOGÍA:

A continuación, se explicará detalladamente los métodos de cálculo empleados para la obtención de los resultados que se presentan.

3.1 CALCULOS SOBRE LLUVIA BATIENTE:

3.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL APORTE DE AGUA INCIDIENTE SOBRE LA FACHADA:

Durante los años 50 y 60 del siglo XX, existieron diversos investigadores europeos que midieron simultáneamente la lluvia y la velocidad del viento, registrando igualmente la lluvia batiente recibida por la superficie vertical (1).

Los resultados de estos trabajos de investigación permitieron establecer una ecuación semi-empírica (relación WDR o WDR-relationship), que es capaz de estimar la cantidad de lluvia batiente recibida por una fachada a partir del registro simultáneo de valores de precipitaciones y viento (Fig. 7).

Así, la lluvia batiente WDR (I/m^2) recibida se aproxima como el producto de la velocidad del viento U (m/s), de la intensidad de la precipitación registrada sobre una superficie horizontal R_h (I/m^2) y de un coeficiente empírico de ajuste k (s/m)(1).

$$\text{WDR} = U \cdot R_h \cdot k \quad [1]$$

El valor de k depende del tamaño de las gotas de lluvia (lo que a su vez depende de la intensidad de precipitación), con oscilaciones que diferentes estudios experimentales evalúan entre 0,2 y 0,25 s/m habitualmente (aunque en ocasiones los valores pueden variar entre 0,15 y 0,5).

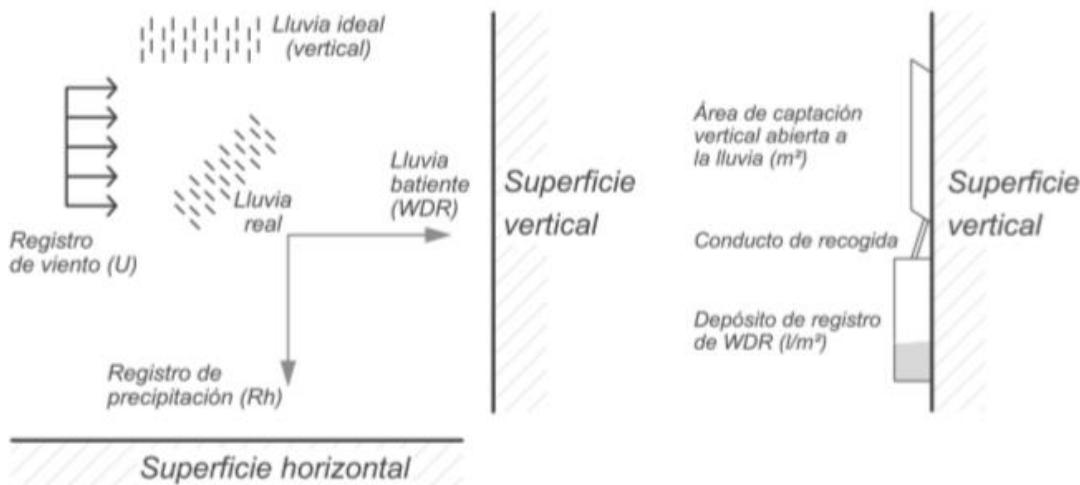


Fig. 7: Representación y fundamentos de WDR (izq.), esquema de la instrumentación necesaria para medición de lluvia batiente.(1)

Para este cálculo, la norma UNE-EN ISO 15927-3 emplea datos simultáneos de precipitación, velocidad-dirección del viento para calcular la exposición a la lluvia batiente en cada emplazamiento. Los datos de viento han de registrarse en las condiciones de referencia establecidas por la Organización Meteorológica Mundial, 10 m de altura sobre terreno llano (14).

Así, el volumen de agua promedio I_A ($\text{l}/\text{m}^2\text{año}$) que incide anualmente sobre una fachada con orientación Θ ($^\circ$) se obtiene mediante la Ec. (2). Donde los parámetros r (l/m^2) es la intensidad de lluvia registrada, v (m/s) la velocidad del viento y D ($^\circ$) su dirección.

$$I_A = \frac{\frac{2}{9} \sum v \cdot r^{\frac{8}{9}} \cdot \cos(D - \Theta)}{N} \quad [2]$$

Para el sumatorio únicamente se consideran aquellos registros horarios en los que la dirección del viento D impulsa a la lluvia sobre la orientación Θ con valores positivos. Para realizar este cálculo, la norma considera como mínimo registros climáticos de $N=10$ años. En el caso del estudio realizado, hay estaciones que debido a la escasez de datos registrados no llega al mínimo de años requeridos.

Por otro lado, existe el problema de que se una sola tormenta de gran intensidad pueda dar lugar a una penetración del agua en los cerramientos, provocando efectos de penetración de agua más adversos que la exposición media anual. Para analizar este efecto, la norma UNE characteriza el volumen de lluvia que puede acumularse sobre la fachada en cortos intervalos de tiempo, antes de que la evaporación reduzca el humedecimiento adquirido. Por ello, la norma considera que la evaporación de las fachadas se inicia tras 96 horas sin lluvia batiente sobre la fachada. Debe puntualizarse que este intervalo de 96 horas, si bien puede ser adecuado para países húmedos como Reino Unido (lugar de origen de esta norma), no parece muy realista para climas mucho más cálidos como el que aquí se analiza (Fig. 8).

Para esta caracterización, se considera el sumatorio de los registros horarios en el periodo de humedecimiento analizado. Como antes, solo se emplean los registros de dirección del viento D que impulsa la lluvia batiente sobre la orientación de la fachada, esto se refleja en la siguiente ecuación (14).

$$I_s = \frac{2}{9} \cdot \sum v \cdot r^{\frac{8}{9}} \cdot \cos(D - \Theta) \quad [3]$$

Tras una recopilación de una serie histórica de los valores máximos anuales de I_s (L/m^2 periodo) es definida como la lluvia batiente máxima acumulable en uno de estos intervalos de humedecimiento a causa de grandes tormentas, estableciendo un periodo de retorno. Para el cálculo estadístico se emplea la distribución de Gumbel.

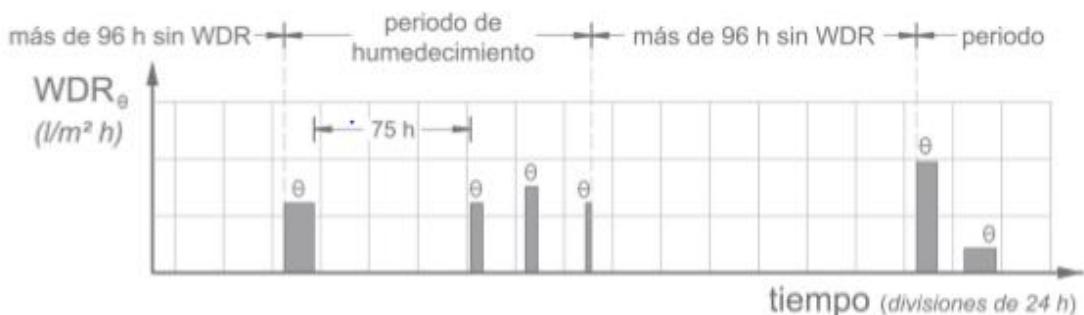


Fig.8: Definición de periodo de humedecimiento por el estándar ISO 15927-3:2009, para establecer el valor máximo de exposición puntual a la humedad sobre cada posible orientación Θ del cerramiento (1)

Este cálculo solo se puede realizar para emplazamientos con datos horarios registrados de manera correcta y durante el número suficiente de años (al menos 10). Por ello, en el caso de este estudio no puede utilizarse este método de cálculo normalizado (14).

Dada la dificultad de acceder a datos meteorológicos como los requeridos por esta normativa, la mayoría de estudios han optado por una mayor simplificación del cálculo de WDR, omitiendo el factor de ajuste k. De este modo se obtiene un índice de lluvia batiente (m^2/s) o driving rain index (DRI), normalmente promediado en un periodo anual (aDRI), y que permite comparar aproximadamente el nivel de exposición a la humedad para distintos emplazamientos, regiones y países. Este indicador constituye la forma más extendida de caracterizar la lluvia batiente a nivel internacional, habiéndose aplicado en un número significativo de países.

Así por ejemplo, utilizando valores promedio anuales de precipitación R_h (mm/año) y velocidad de viento U (m/s) registrados a lo largo de N años en cada emplazamiento, se obtendría un “annual driving rain index” o aaDRI, como se muestra en la ecuación [4](1).

$$\text{aDRI} = \frac{\sum_{i=1}^N U \cdot \left(\frac{R_h}{1000}\right)}{N} \quad [2]$$

Es posible obtener registros mucho más detallados, realizando los cálculos con registros horarios o diezminutales, con la carga de trabajo que ello supone (el esfuerzo de cálculo crece de manera muy acusada al mejorar la exhaustividad del análisis). En el caso de este estudio, como se han usado datos diarios se puede calcular el valor daDRI, permitiendo una exhaustividad superior a la habitualmente utilizada en estudios similares realizados para otros países (generalmente maDRI o aaDRI). A su vez, se determinan a partir de estos datos diarios resúmenes mensuales y anuales, que permiten obtener los indicadores de exposición maDRI y aaDRI, lo que permite su comparación con otros países.

Incorporando los registros de dirección de viento a la anterior formulación, también es posible determinar el valor de exposición asociado a cada posible orientación de fachada. En este estudio, el análisis direccional se realiza en intervalos de 15°. La ecuación empleada es la siguiente:

$$\text{daDRI} = \sum_{i=1}^N \frac{U \cdot \left(\frac{R_h}{1000} \right) \cdot \cos(\Theta - \phi)}{N} \quad [5]$$

Siendo Θ (º) la dirección del viento y ϕ (º) la orientación de la fachada, la resta de ambos es el ángulo de incidencia de la lluvia batiente sobre la fachada analizada. Como antes, en el sumatorio solo se consideran los registros en los que la dirección del viento D impulsa lluvia batiente sobre la orientación de la fachada ($\phi \pm 90^\circ$).

Con este análisis es posible elaborar gráficas direccionales como las que se presentan en la Fig. 9, y que se incorporan a cada una de las fichas detalladas de las estaciones analizadas.

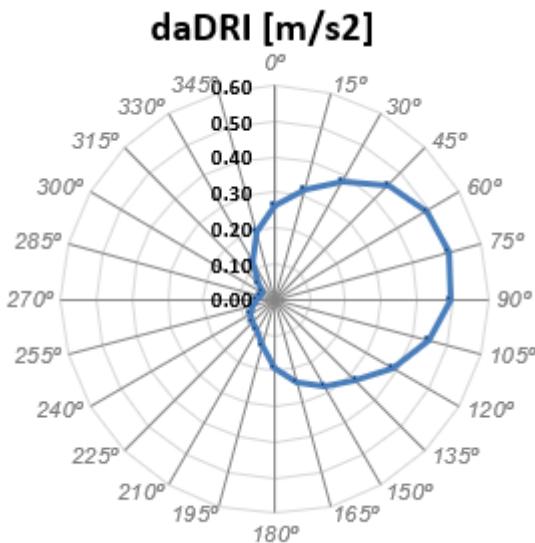


Fig.9: Representación gráfica del daDRI para una estación analizada.

3.1.2 CÁLCULO DE LA PRESIÓN EÓLICA SIMULTÁNEA A LA LLUVIA BATIENTE:

La presencia de presión eólica simultánea a la lluvia batiente es el segundo parámetro más importante a considerar para caracterizar el riesgo de penetración de agua al interior del cerramiento (1).

La diferencia de presión o presión eólica simultánea sobre una superficie vertical se calcula generalmente mediante la *ecuación de Bernoulli*. El valor medio anual de presión eólica simultánea a la lluvia batiente DRWP_A (Pa) incidente en una fachada con una orientación Θ (°), se obtiene mediante la Ec.6. Donde ρ (kg/m³) representa la densidad del aire, v (m/s) la velocidad del viento y D (°) la dirección del viento (14).

Para el sumatorio solo se tienen en cuenta aquellos registros m en los que existe viento y precipitaciones simultáneamente, además de que solo se analizan valores de presión positiva. Es decir, que la dirección del viento incida sobre la fachada contribuyendo a la penetración del agua en esta.

$$DRWP_A = \frac{\sum \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \cos(D - \Theta)}{m} \quad [6]$$

Como sucede con el daDRI, con los registros diarios de DRWP se puede obtener una gráfica que permite conocer la orientación de las fachadas que están más expuestas a la presión eólica simultánea. Estas gráficas se han dividido en 15° como se aprecia en la figura 9.

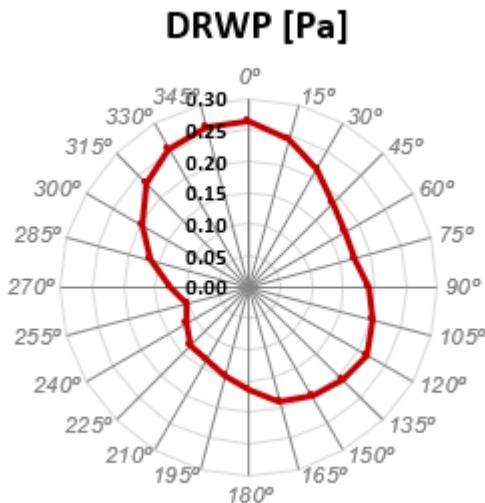


Fig.9: Representación gráfica del DRWP para una estación analizada.

3.2 CÁLCULOS DE PERIODOS DE RETORNO (DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL):

Con la disponibilidad de datos climatológicos necesarios para la realización de cálculos sobre lluvia batiente, se decidió aprovecharlos y realizar un estudio sobre períodos de retorno para los valores de precipitación máxima y viento máximo.

3.2.1 APLICACIÓN DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL:

Con este método, podemos obtener el valor máximo X que solo se dará, de media, 1 vez cada RP años. En las siguientes ecuaciones se reflejan las distintas variables necesarias para el cálculo de este valor de retorno X.

$$X = \mu - \beta \cdot (\ln(-\ln(1 - \frac{1}{RP}))) \quad [7]$$

Donde μ es la moda de la distribución.

$$\mu = x_m - \mu_y \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \quad [8]$$

Y β es la dispersión de la distribución.

$$\beta = \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \quad [9]$$

x_m es la media de los máximos, x_i es el máximo de cada año, N número de datos (número máximo de años considerados), μ_y es la media de la variable reducida, σ_y desviación estándar de la variable reducida, σ_x la desviación estándar. x_m se ha calculado en excel como la media de los valores máximos de cada uno de los años analizados, elaborándose una tabla (Tabla 5) (15).

VELOCIDAD DE VIENTO MÁXIMA PARA CADA AÑO											
2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
3.4611	5.2056	3.5444	4.0472	3.9083	3.7278	3.1833	2.2972	3.5667	3.2167	9.9806	

Tabla 5. Recopilación de los máximos para la velocidad del viento.

A continuación, aparecen las ecuaciones para el cálculo de las variables anteriormente citadas.

Desviación estándar:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)}{N}} \quad [10]$$

La variable reducida o variable de Gumbel se representa como y_i y se emplea únicamente para el cálculo.

$$y_i = -\ln \cdot \left(\ln \left(\frac{N+1}{i} \right) \right) \quad [11]$$

Media de la variable reducida:

$$\mu_y = \frac{\sum_{i=1}^N -\ln \left(\ln \left(\frac{N+1}{i} \right) \right)}{N} \quad [12]$$

Desviación estándar de la variable reducida:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum(y_i - y_m)^2}{N}} \quad [13]$$

Con las ecuaciones planteadas ya se pueden obtener las distintas tablas y valores necesarios para la obtención de los resultados de los valores de lluvia y de viento que podemos esperar para períodos de retorno de 5,10,25,50,100,250 y 500 años. Se introducen los datos y ecuaciones en Excel y se van relacionando, como se aprecia en la Tabla 6.

VIENTO		
Datos (N)	11	
μ_y	0.30540428	
σ_y	0.78417999	
y1	-0.91023509	1
y2	-0.58319808	2
y3	-0.32663426	3
y4	-0.09404783	4
y5	0.13299584	5
y6	0.36651292	6
y7	0.6180462	7
y8	0.90272046	8
y9	1.24589932	9
y10	1.70198336	10
μ_{viento}	3.43566229	
xmedia viento max	4.1944	
σ_x	1.94830857	
Bviento	2.48451708	
Periodos de retorno:		
años	m/s	Probabilidad de ocurrencia
5	7.162	20.0000%
10	9.027	10.0000%
25	11.382	4.0000%
50	13.130	2.0000%
100	14.865	1.0000%
250	17.149	0.4000%
500	18.873	0.2000%

Tabla 6. Resultados de valores de retorno para distintos años en el caso de la velocidad del viento.

La probabilidad de ocurrencia se calcula con la siguiente ecuación:

$$F(x) = 1 - e^{-(x-\mu)/\beta} \quad [14]$$

Se emplea la distribución de Gumbel debido a sus buenos resultados en estudios sobre el clima (8,16).

3.3 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS:

Para la recopilación y análisis de datos se han empleado distintos programas, entre ellos están, Python para la descarga, Kutools para unión de tablas Excel y el propio Excel para tratamiento de datos y análisis de los resultados.

3.3.1 DESCARGA Y TRATAMIENTO DE DATOS:

Para agilizar la descarga de los datos se ha empleado un programa que se encargaba de recopilar los documentos Excel mensuales de las estaciones, ahorrando un tiempo considerable. El código del programa fue facilitado por el director del TFG, se tuvieron que realizar diversas modificaciones para lograr un correcto funcionamiento en el ordenador donde se almacenaban los datos y para adaptarse a los cambios introducidos en la web de INIFAP (Fig. 10).

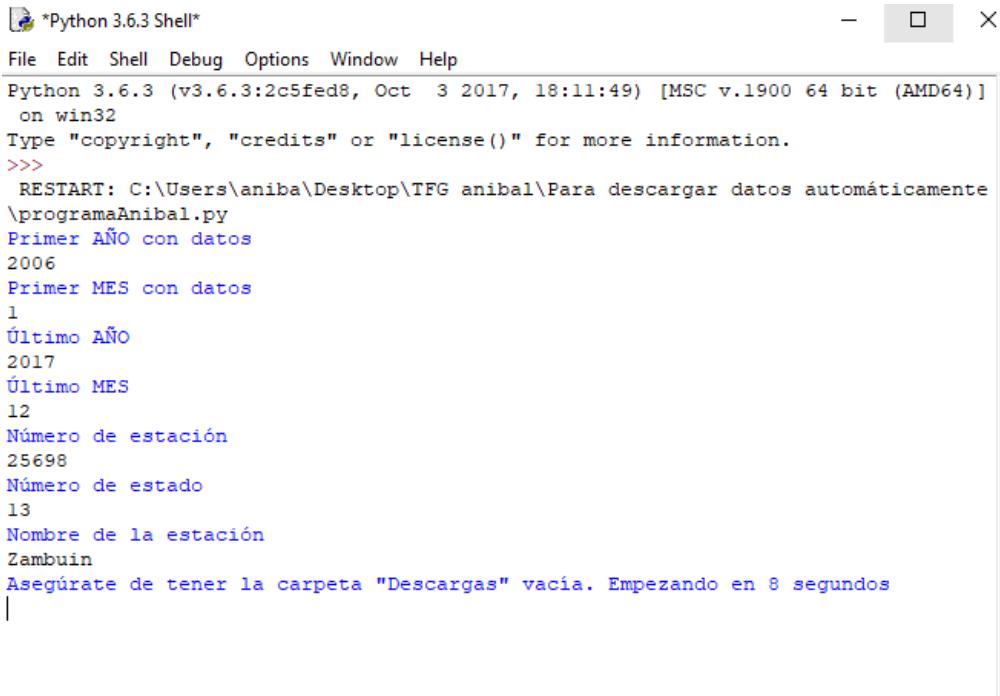
La base de datos a la que se ha recurrido pertenece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Los datos se pueden descargar gratuitamente previo registro y la organización por estaciones y estados es correcta.

El único problema que se presenta es que algunas estaciones tienen meses con datos erróneos y no válidos que posteriormente hay que filtrar. Esta falta de datos en algunos periodos hace que los resultados sean menos fiables, debiéndose descartar años completos de registros por estas incidencias.

Primero se accede a la página web de INIFAP y se selecciona el estado y la estación que se desea descargar, posteriormente se introducen los datos requeridos por Python para que inicie la descarga. Por último, los distintos documentos se agrupan en una carpeta y se organizan automáticamente por orden cronológico.

Esta página pertenece al gobierno de México y se encarga de la recopilación de distintos datos climatológicos para el uso y posterior desarrollo de las actividades del país. Las estaciones son seleccionadas en el siguiente URL:

<http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/Estaciones>



```

Python 3.6.3 (v3.6.3:2c5fed8, Oct  3 2017, 18:11:49) [MSC v.1900 64 bit (AMD64)]
on win32
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
RESTART: C:\Users\aniba\Desktop\TFG anibal\Para descargar datos automáticamente
\programaAnibal.py
Primer AÑO con datos
2006
Primer MES con datos
1
Último AÑO
2017
Último MES
12
Número de estación
25698
Número de estado
13
Nombre de la estación
Zambuin
Asegúrate de tener la carpeta "Descargas" vacía. Empezando en 8 segundos
|

```

Fig. 10. Ilustración de la ventana donde se introducen los datos en Python para la descarga.

Con los documentos Excel una vez descargados y ordenados, lo siguiente es unirlos en un solo Excel para un copiado y pegado posterior más sencillo y rápido. Para ello se emplea la herramienta de Kutools, que es una extensión que se añade al programa Excel y posibilita la unión de estos documentos en uno solo (Fig. 11).

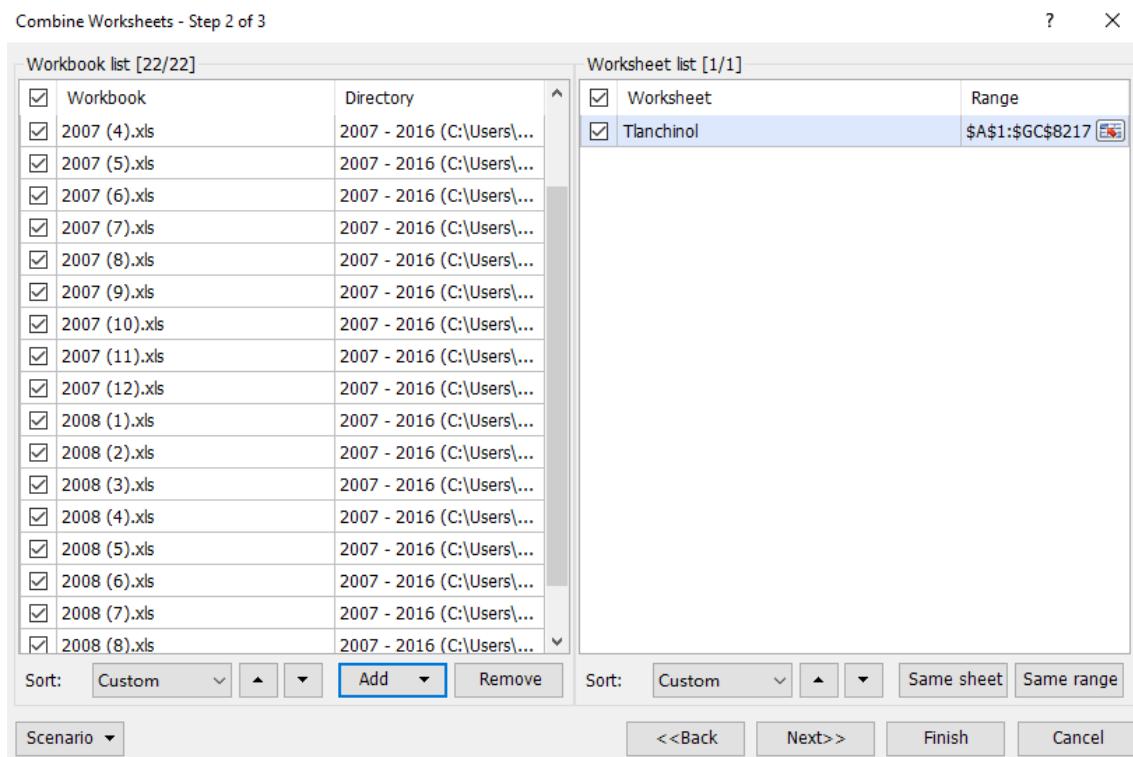


Fig.11. Ventana de Kutools donde se seleccionan los documentos que se quieren unir.

Para finalizar el tratamiento de los datos, cada uno de los documentos contiene una leyenda que ha de ser eliminada antes de implementar la formulación necesaria (únicamente interesan los datos). Se consiguió que el propio programa Excel los eliminara automáticamente, el problema era que el coste computacional era muy elevado y tardaba más de 20 minutos. Mientras que a mano en aproximadamente 10 minutos se completaba la tarea.

Para ello se va avanzando a través del documento Excel eliminando las leyendas indeseables que aparecen cada mes. En caso de tener un documento con 10 años, la leyenda se elimina manualmente en 119 ocasiones, este es un trabajo laborioso debido a las más de 100 estaciones que se han analizado. Aunque posteriormente se descartaran las que presentaban demasiados datos erróneos.

3.3.2 ANÁLISIS DE DATOS:

Con los datos ya tratados, el último paso es copiarlos a una plantilla realizada en Excel que previamente se ha configurado para que haga todos los cálculos y análisis necesarios. En esta plantilla se han introducido todas las fórmulas requeridas para obtener las fichas de resultados necesarias para crear los mapas y lograr el resultado final.

Aun así, algunos datos de las fichas, como la designación de estaciones, coordenadas, ajustar escalas de los gráficos y eliminación de algunos datos incorrectos debe realizarse manualmente. Tras ello, quedará la labor menos mecánica y de mayor interés del TFG: proceder al análisis de la gran cantidad de datos y resultados recopilados.

4. RESULTADOS:

Los resultados obtenidos se presentan a continuación, se incluye: un modelo de las fichas realizadas para cada una de las estaciones y los mapas resultantes para la exposición al daDRI y dDRWP.

4.1 FICHAS DE ESTACIONES:

El uso de estas fichas tiene como objetivo reflejar y presentar de manera clara y concisa la síntesis de todo el análisis de datos que se realiza para cada estación.

Primero se presentan datos relevantes de la estación, incluye el nombre de esta, el estado al que pertenece, altura del emplazamiento donde se encuentra. Además, se adjuntan las coordenadas de la localización de la estación y datos estadísticos acerca de esta (Fig. 12).

En la siguiente sección se encuentra un resumen acerca del daDRI, maDRI, aaDRI y sus homólogos para el DRWP.

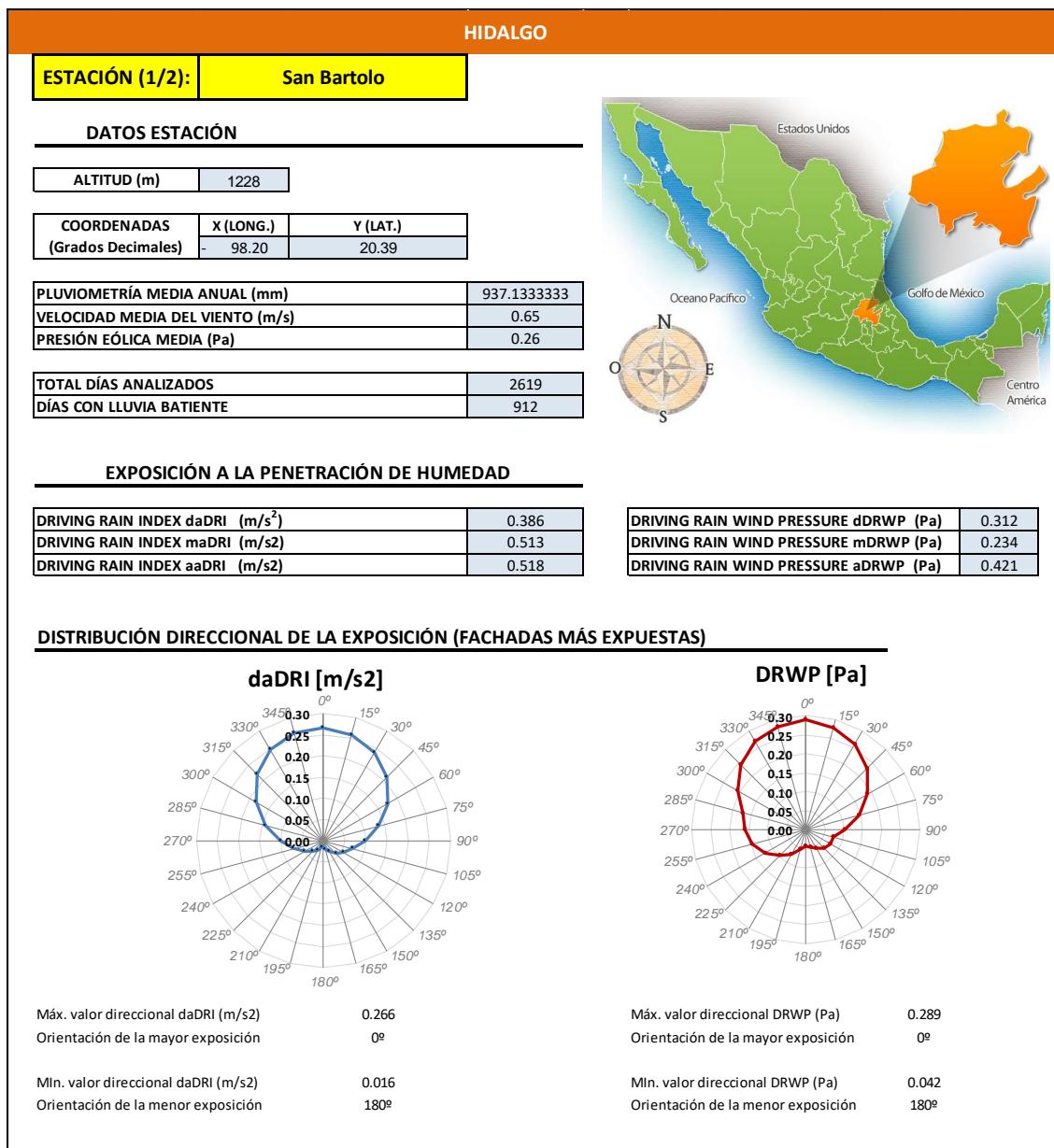


Fig.12. Primera página de la hoja resumen para una estación analizada.

En la tercera sección aparecen las gráficas de exposición direccional para el daDRI y dDRWP. Se incluye también el valor y dirección del máximo y mínimo daDRI/dDRWP (Fig. 12).

La segunda página contiene gráficas que permiten seguir la evolución anual del aaDRI y dDRWP (Fig. 13). Al ser un modelo que se aplica a todas las estaciones, engloba todos los posibles años que pueden ser analizados, como hay estaciones que contienen datos erróneos o años sin datos, existe la posibilidad de que haya columnas en las gráficas que no se representen por la ausencia de datos.

Por último, se incluye un resumen con los resultados estadísticos de la Distribución de Gumbel (Fig. 13).

DETERMINACIÓN DIRECCIONAL DE LAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN A LA PENETRACIÓN DE AGUA ATMOSFÉRICA EN FACHADAS DE DIFERENTES ESTADOS MEXICANOS.

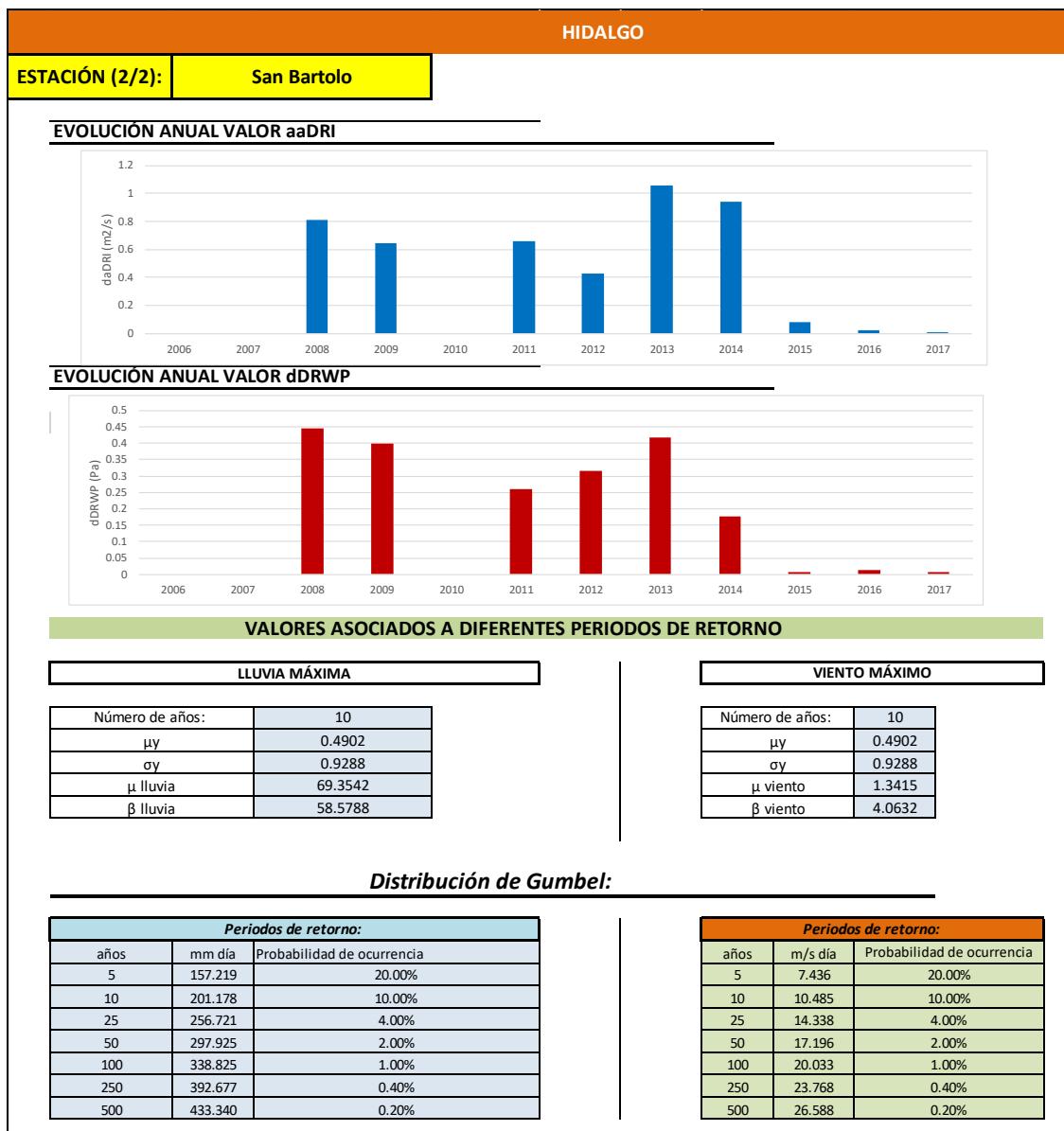


Fig.13. Segunda página de la hoja resumen para una estación analizada.

4.2 MAPAS DE EXPOSICIÓN:

Para la realización de los mapas, se emplean los resultados del daDRI y dDRWP anteriormente citados. Se realiza con datos diarios debido a la mayor precisión y caracterización de estos.

Para elaborar los mapas se emplea un software alemán de la compañía Nemetscheck, llamado Allplan. Se requiere de las coordenadas UTM de cada estación para la correcta localización a lo largo del mapa. Se ubica la estación y se otorga un valor (daDRI o dDRWP) como variable en el eje Z. Posteriormente, se realiza un levantamiento topográfico del terreno y se obtienen las curvas de nivel, que en nuestro caso son las curvas de exposición a la variable calculada.

Se obtiene un mapa de isolíneas, que permite analizar de una manera más rápida y eficiente la exposición de las distintas zonas analizadas a la penetración de agua atmosférica en fachadas según su ubicación.

En el Mapa 1 se representa la distribución territorial del DRWP, las zonas con mayor exposición a la presión eólica es el norte de Guanajuato y el sudeste de Hidalgo. Se debe a que son zonas montañosas donde se concentran las precipitaciones y el viento se manifiesta con mayor fuerza. Al este de Hidalgo, colindando con Veracruz se aprecia que las isolíneas están muy próximas, esta causado por su cercanía al mar y la acción de los ciclones Atlánticos.

En el estado de San Luis Potosí la distribución de las isolíneas es considerablemente uniforme, sin ser curvas de nivel muy pronunciadas. En la zona este del conjunto de estados analizados es donde mayor exposición existe, es debido a la proximidad a la Sierra Madre Oriental, donde las lluvias y vientos son más importantes.

En todo el mapa se incluyen flechas que indican la dirección del viento por zonas, se observa que no existe una dirección predominante como podría ocurrir en el Valle del Ebro (España). Esto es a causa de los diversos factores que existen en la región analizada, valles con distinta orientación, el efecto de los ciclones Atlánticos y la influencia de masas de aire frío provenientes del norte.

En cuanto al mapa de distribución del daDRI o lluvia batiente (Mapa 2). Se aprecia que las curvas de nivel son mucho menos pronunciadas que en el mapa DRWP, se debe a que la zona interior de México es muy seca. La presencia de montañas impide el paso de las masas de nubes, en consecuencia, las precipitaciones se concentran en los estados costeros y provoca un clima seco en la región central de México. Las zonas con mayor exposición a la lluvia batiente coinciden con las mas expuestas al DRWP, aunque no se puede concluir que las variables estén directamente relacionadas.

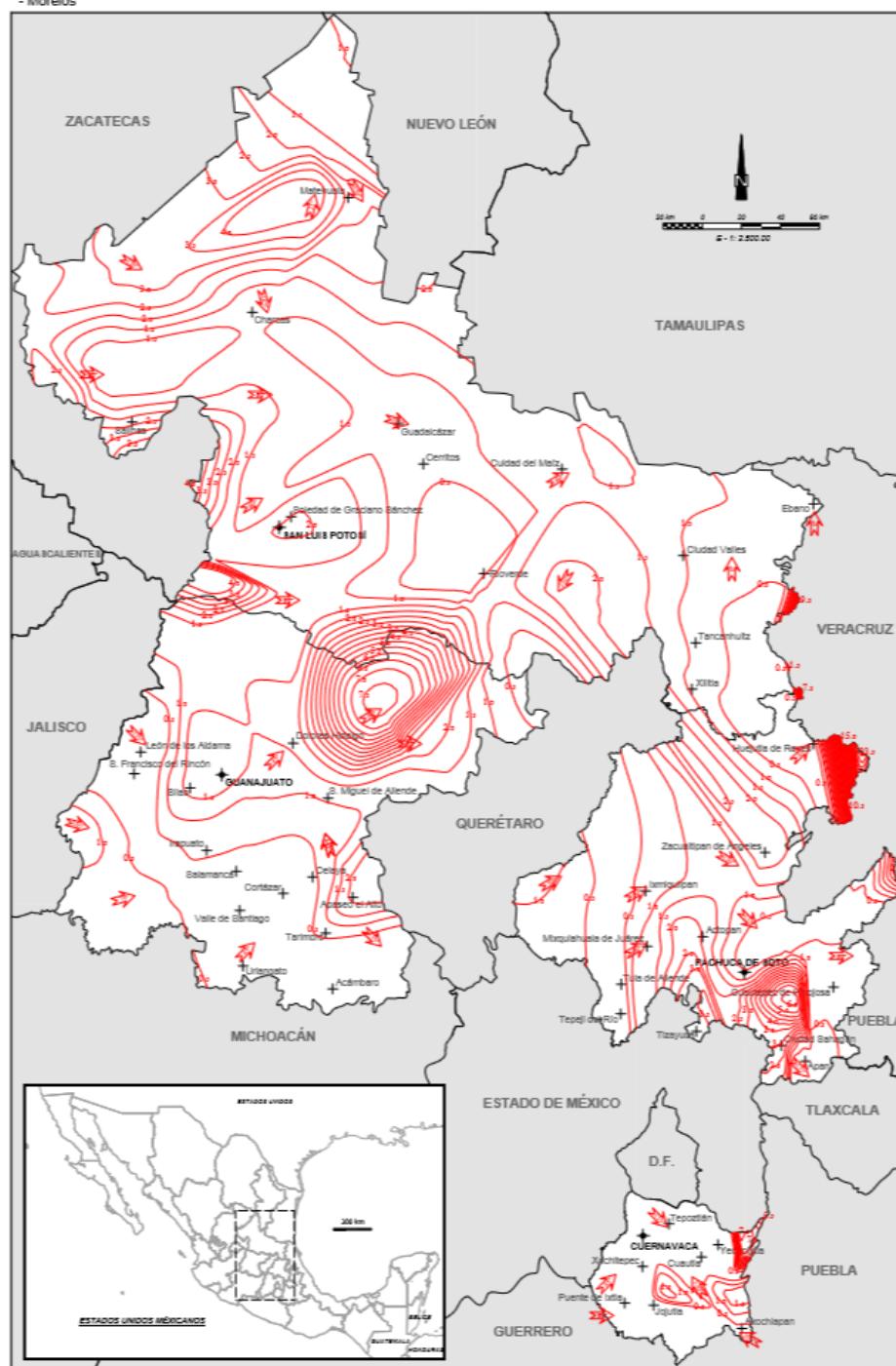
**EXPOSICIÓN DIRECCIONAL¹ A LA PRESIÓN EÓLICA SIMULTÁNEA A LA PRECIPITACIÓN.
DRIVING RAIN WIND PRESSURE² (Pa).**

¹ Los indicadores direccionalles muestran la orientación de fachada más expuesta a la solicitud.

² Curvas de nivel con escalas de 0,5 Pa

ESTADOS REPRESENTADOS (se muestran las principales concentraciones urbanas):

- S. Luis Potosí
- Guanajuato
- Hidalgo
- Morelos



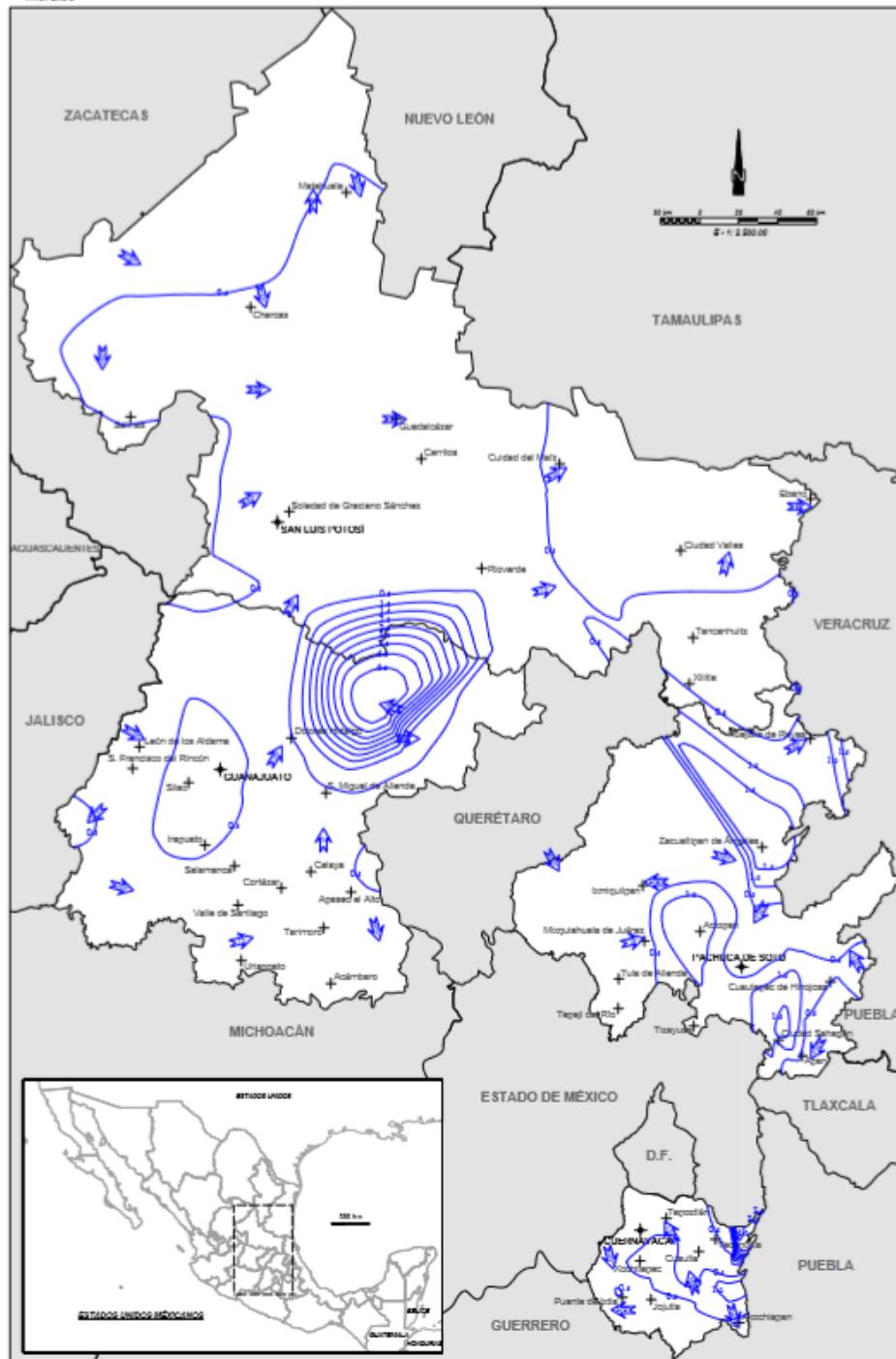
Mapa 1: Exposición al DRWP.

**EXPOSICIÓN DIRECCIONAL A LA LLUVIA BATIENTE.
DRIVING RAIN INDEX² (m²/s).**

¹ Los indicadores direccionalles muestran la orientación de fachada más expuesta a la solicitud. ² Curvas de nivel con escalas de 0,5 m²/s

ESTADOS REPRESENTADOS (se muestran las principales concentraciones urbanas):

- S. Luis Potosí
 - Guanajuato
 - Hidalgo
 - Morelos



Mapa 2: Exposición al daDRI

5. DISCUSIÓN O ANÁLISIS DE RESULTADOS:

En esta sección se analizan y comparan los resultados obtenidos a partir de los datos estudiados, las comparaciones se realizan mediante correlaciones.

5.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS CLIMÁTICOS:

Para la realización del estudio, lo primero era la descarga y recopilación de los datos climáticos de las regiones que se deseaban estudiar. El mayor problema es la mala calidad de los datos, el hecho de que haya meses con registros erróneos dificulta un análisis óptimo de la exposición a la lluvia batiente.

El criterio para la selección de estaciones se ha ido cambiando a medida que se iban analizando estaciones, desde el 10% de ausencia de datos que se planteó al principio hasta el 25% del final. La mayoría de las estaciones no supera el 15%, son muy pocas las que presentan porcentajes superiores, se incluyen estaciones con niveles mayores de 20% por cubrir zonas con muy baja densidad de estaciones.

Con una mejor disposición de datos climáticos se podría lograr un estudio más exhaustivo y de mayor calidad, pero para los objetivos planteados, se considera que el nivel de análisis es suficiente.

5.2 CORRELACIONES ENTRE LOS DISTINTOS RESULTADOS:

La realización de esta correlación tiene como objetivo determinar si a partir de unos registros con una determinada frecuencia (diarios), se pueden relacionar con registros de otra frecuencia (anuales o mensuales). Es decir, emplear los valores daDRI como variable predictora para obtener el maDRI o aaDRI (17). Estas correlaciones se realizan con el coeficiente de correlación lineal de Pearson.

La fiabilidad de los registros diarios es mayor que la fiabilidad de registros mensuales o anuales. Se debe a que registra con mayor precisión los momentos en los que se produce lluvia y viento simultáneamente. Cuando los registros son mensuales, existe error, porque se promedian los registros de viento, existiendo o no precipitaciones simultáneas, ocurriendo lo mismo con registros anuales.

A continuación, se presentan las correlaciones realizadas para los valores de daDRI, maDRI, aaDRI, dDRWP, mDRWP y aDRWP para el conjunto de los 4 estados.

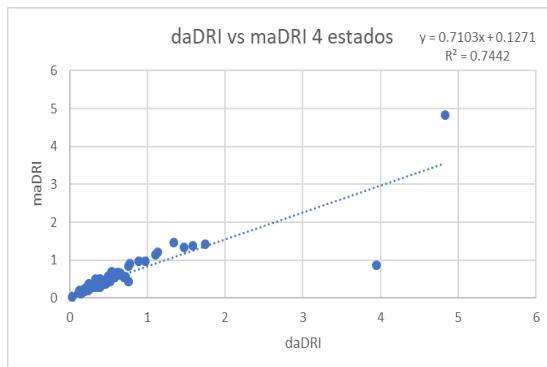


Fig.14. daDRI vs maDRI.

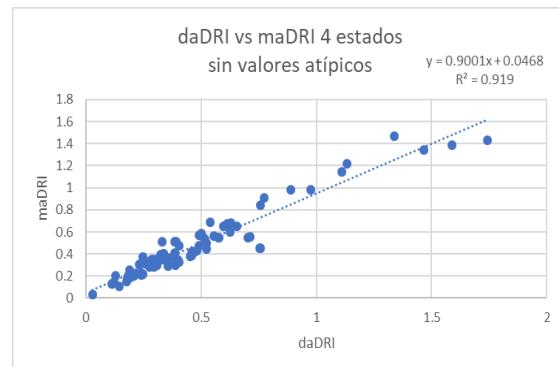


Fig.15. daDRI vs maDRI sin valores atípicos.

Se aprecia en la Fig. 14 que existen dos valores que se encuentran muy alejados de la línea de tendencia, esto hace que el coeficiente de relación R^2 disminuya considerablemente. En la gráfica de la Fig. 15 se han eliminado los valores atípicos, el coeficiente R^2 ha aumentado sustancialmente. Del análisis de estos resultados se puede concluir que son variables dependientes.

En el caso del análisis del daDRI vs aaDRI (Fig. 16), el coeficiente de correlación R^2 es aún mayor (0,9648), de hecho, se acerca a una correlación perfecta.

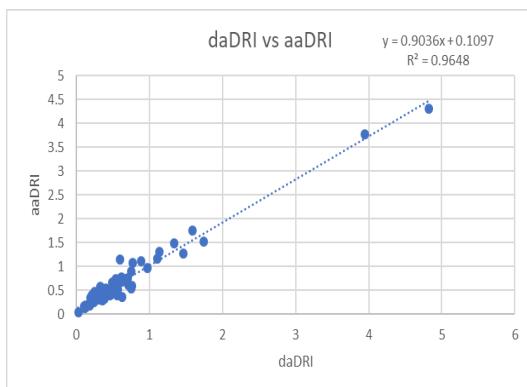


Fig.16. daDRI vs aaDRI.

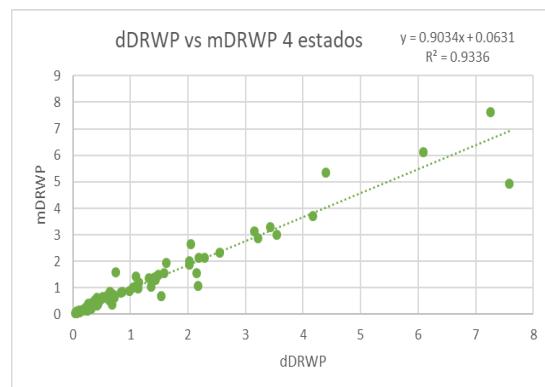


Fig.17. dDRWP vs mDRWP.

Como sucede con las variables DRI, la correlación entre las variables DRWP también es muy elevada. En la Fig. 17 se observa que la dispersión sobre la línea de tendencia es reducida.

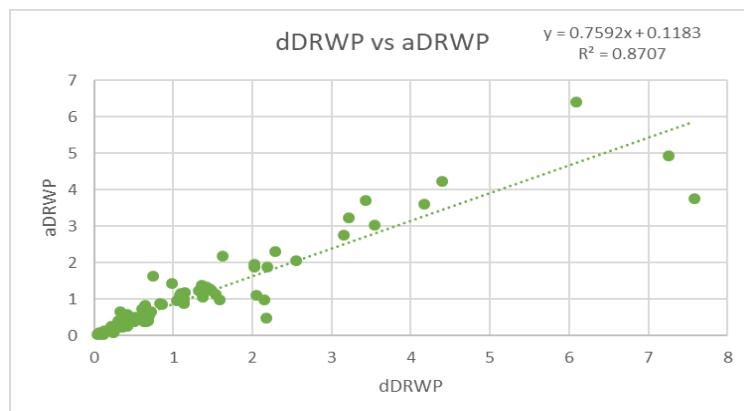


Fig.18. dDRWP vs aDRWP.

Para el contraste entre dDRWP vs aDRWP ocurre como en los casos anteriores, existe algún valor atípico que se aleja de la línea de tendencia, pero la mayoría se encuentran muy cercanos a ella. Esto propicia que las variables sean dependientes (Fig. 18).

A continuación, se relacionan daDRI y dDRWP, estas variables se emplean para la medición de distintos parámetros (Fig. 19). Existe una correlación moderada, pero a partir de estos resultados nos se puede concluir que sean variables dependientes, es más prudente considerarlas como variables independientes.

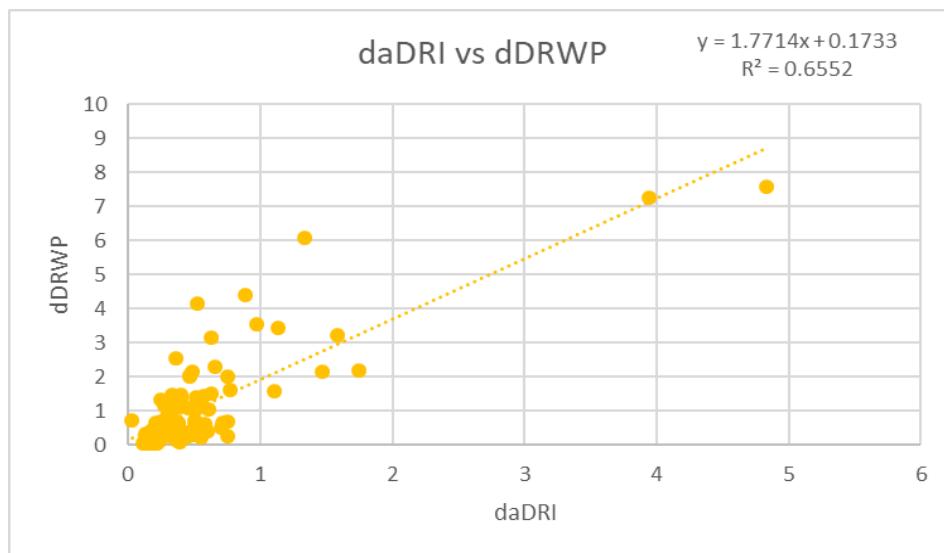


Fig.19. daDRI vs dDRWP.

En el caso de la correlación daDRI vs Pluviometría (Fig. 20), la correlación es muy débil, por tanto, son variables independientes. Si existiera un coeficiente de correlación elevado, permitiría realizar aproximaciones del daDRI a partir de la pluviometría diaria, y la realización de este estudio no tendría sentido. Es frecuente encontrar estaciones que recogen datos diarios pluviométricos, velocidad del viento y dirección de este en un gran número de ubicaciones, pero no se analizan los efectos que provoca la combinación de ambos fenómenos climatológicos.

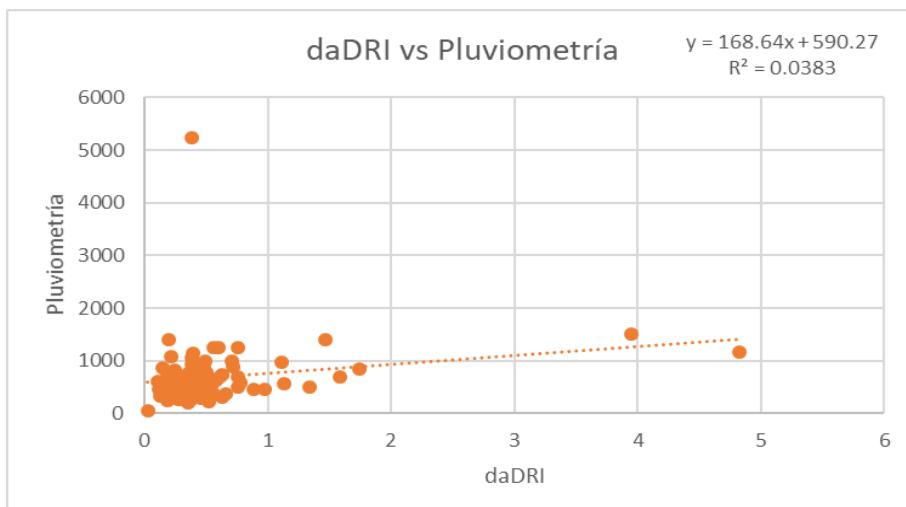


Fig.20. daDRI vs Pluviometría.

Para las correlaciones entre (daDRI y máximo daDRI direccional) y (dDRWP y máximo dDRWP direccional) es razonable esperar una correlación elevada, como así sucede (Fig. 21) y (Fig. 22). Son variables dependientes.

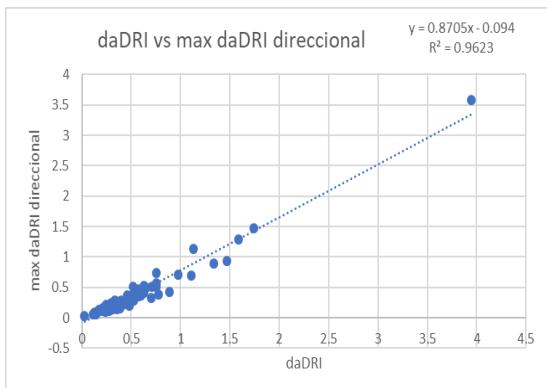


Fig.21. daDRI vs dDRWP.

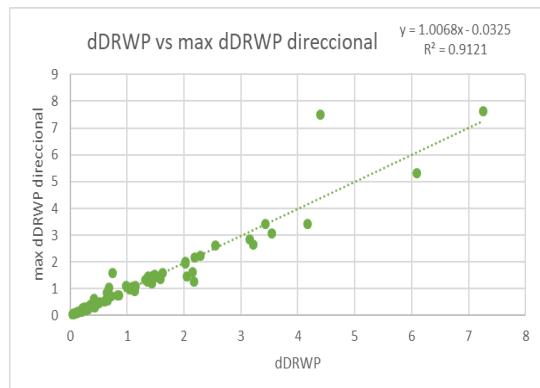


Fig.22. daDRI vs dDRWP.

La correlación entre dDRWP y presión eólica (Fig. 23), como daDRI vs Pluviometría (Fig. 20) resulta de gran interés para este estudio. En este caso si que existe una correlación moderada, podría hacerse una estimación poco precisa del dDRWP a partir de la presión eólica.

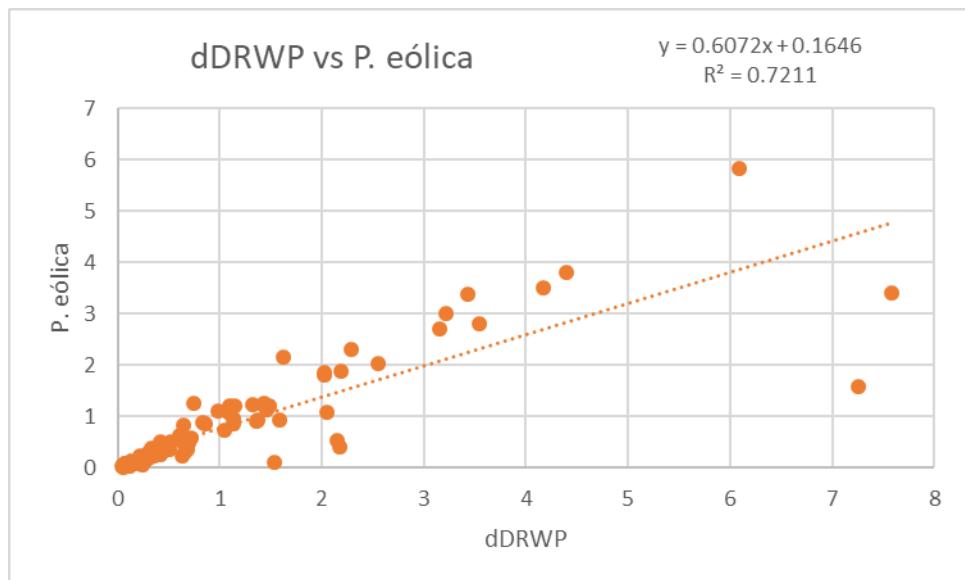


Fig.23. daDRI vs dDRWP.

5.3 CÁLCULO DE RIWP:

Los valores del daDRI y dDRWP obtenidos para las distintas estaciones se emplean para determinar el Índice de Riesgo a Penetración de Agua en fachadas o Risk Index of Water Penetration (RIWP). Este índice caracteriza el efecto combinado de ambos parámetros en relación con el resto de estaciones, para el cálculo de este, es necesario normalizar los valores de daDRI y dDRWP para cada estación como se muestra en las siguientes ecuaciones (18).

$$daDRI_{norm} = \frac{daDRI_i - daDRI_{menor}}{daDRI_{mayor} - daDRI_{menor}} \quad [15]$$

$$dDRWP_{norm} = \frac{dDRWP_i - dDRWP_{menor}}{dDRWP_{mayor} - dDRWP_{menor}} \quad [16]$$

Finalmente, estos valores normalizados (comprendidos entre 0 y 1) se combinan en un único índice (RIWP) utilizando la ecuación 17. Se asume que ambos parámetros tienen igual influencia en el proceso de penetración de agua en fachadas, pero se puede ponderar esta influencia y otorgarle más importancia al factor que se considere predominante (18).

$$RIWP_j = \sqrt{daDRI_{normj}^2 + dDRWP_{normj}^2} \quad [17]$$

Esta caracterización permite comparar los distintos grados de exposición entre los 4 estados analizados. El uso de un único índice se puede emplear para diseñar cerramientos que garanticen la estanqueidad para cada determinado rango de riesgo a la penetración del agua (18).

A continuación, se presenta una tabla resumen (Tabla 6) con los valores calculados para cada estación, organizada por estados.

Nombre	daDRI	dDRWP	Estado	daDRI norm.	dDRWP norm.	RIWP
Acatlán	0.613	1.048	Hidalgo	0.12190	0.13292	0.18035
Acaxoxhitlan	0.502	0.629	Hidalgo	0.09877	0.07728	0.12541
Afajayucán	0.128	0.324	Hidalgo	0.02084	0.03678	0.04227
Almoloya	0.337	0.434	Hidalgo	0.06439	0.05139	0.08238
Apán	0.337	0.436	Hidalgo	0.06439	0.05165	0.08255
Atotonilco H. Vaquerías	0.338	0.426	Hidalgo	0.06460	0.05033	0.08189
Cinta Larga	0.391	1.135	Hidalgo	0.07564	0.14447	0.16307
Cuauhtepc de Hinijosa	0.507	0.715	Hidalgo	0.09981	0.08870	0.13353
DDR-Huejutla	0.557	0.244	Hidalgo	0.11023	0.02616	0.11329
Demacú	1.468	2.156	Hidalgo	0.30006	0.28004	0.41044
Huasca de	0.232	0.28	Hidalgo	0.04251	0.03094	0.05258

Ocampo						
Ixmiquilpán	0.249	0.683	Hidalgo	0.04605	0.08445	0.09619
Pachuca	0.287	0.436	Hidalgo	0.05397	0.05165	0.07470
Parajes	0.39	0.094	Hidalgo	0.07543	0.00624	0.07569
San Bartolo	0.386	0.312	Hidalgo	0.07460	0.03519	0.08248
Singuilucán	1.339	6.092	Hidalgo	0.27318	0.80268	0.84790
Tecoautla	0.332	0.982	Hidalgo	0.06335	0.12415	0.13938
Tepetates	1.587	3.216	Hidalgo	0.32486	0.42079	0.53160
Tlanchinol	0.247	1.354	Hidalgo	0.04563	0.17355	0.17945
Tlatepexe	0.977	3.538	Hidalgo	0.19775	0.46355	0.50397
Tultengo	1.133	3.428	Hidalgo	0.23026	0.44894	0.50455
Zacualtipán	1.743	2.189	Hidalgo	0.35737	0.28442	0.45674
Zapotlán	0.756	2.03	Hidalgo	0.15170	0.26331	0.30388
Agroeduca	0.193	0.111	Guanajuato	0.03438	0.00850	0.03542
Campo Alegre	0.46	0.384	Guanajuato	0.09002	0.04475	0.10053
D.R.011	0.577	0.607	Guanajuato	0.11440	0.07436	0.13644
El Barrial	0.24	0.163	Guanajuato	0.04418	0.01540	0.04678
El Cardonal	0.404	1.465	Guanajuato	0.07835	0.18829	0.20394
El Fuerte	0.294	0.384	Guanajuato	0.05543	0.04475	0.07124
El Galomo	0.516	1.426	Guanajuato	0.10169	0.18311	0.20945
El jardín	4.827	7.578	Guanajuato	1.00000	1.00000	1.41421
El Vallado	0.524	1.098	Guanajuato	0.10335	0.13956	0.17366
Fundación	0.324	0.516	Guanajuato	0.06168	0.06228	0.08765
Huatzindeo	0.246	0.416	Guanajuato	0.04543	0.04900	0.06682
La Estancia	0.112	0.053	Guanajuato	0.01750	0.00080	0.01752
La Gavilana	0.21	0.648	Guanajuato	0.03792	0.07980	0.08836
La Hacienda	0.774	1.626	Guanajuato	0.15545	0.20967	0.26101
La Mina	0.54	1.322	Guanajuato	0.10669	0.16930	0.20011
Las Estacas	0.19	0.26	Guanajuato	0.03376	0.02828	0.04404
Los Arquitos	0.654	2.285	Guanajuato	0.13044	0.29717	0.32454
Los Tecolotes	0.49	2.175	Guanajuato	0.09627	0.28257	0.29851
Providencia	0.386	0.475	Guanajuato	0.07460	0.05683	0.09378
Purísima del Chamacuero	0.384	0.643	Guanajuato	0.07418	0.07914	0.10847
Puroagüita	0.256	0.217	Guanajuato	0.04751	0.02257	0.05260
San Francisco	0.397	1.366	Guanajuato	0.07689	0.17514	0.19128
San Lorenzo	0.239	0.334	Guanajuato	0.04397	0.03811	0.05818
San Vicente	0.31	0.326	Guanajuato	0.05876	0.03705	0.06947
Victoria de Cortazar	0.121	0.118	Guanajuato	0.01938	0.00943	0.02155
Amacuzac	0.241	0.13	Morelos	0.04438	0.01102	0.04573
Axochiapán	0.405	0.359	Morelos	0.07856	0.04143	0.08881
Ayala	0.389	0.222	Morelos	0.07522	0.02324	0.07873

Coatetelco	0.454	0.26	Morelos	0.08877	0.02828	0.09317
El Calvario	0.491	0.294	Morelos	0.09648	0.03280	0.10190
El hospital	0.358	0.147	Morelos	0.06876	0.01328	0.07003
Emiliano Zapata	0.754	0.253	Morelos	0.15128	0.02735	0.15373
Huazulco	0.277	0.27	Morelos	0.05189	0.02961	0.05974
INIFAP	0.356	0.202	Morelos	0.06835	0.02058	0.07138
Jonacatepec	1.109	1.59	Morelos	0.22526	0.20489	0.30450
Ocuituco	0.598	0.416	Morelos	0.11877	0.04900	0.12848
Puente de Ixtla 1	0.483	0.316	Morelos	0.09481	0.03572	0.10132
Tehuixtla	0.176	0.047	Morelos	0.03084	0.00000	0.03084
Telpancingo	0.704	0.501	Morelos	0.14086	0.06028	0.15322
Tepoztlán	0.215	0.069	Morelos	0.03897	0.00292	0.03908
Tetela del Monte	0.198	0.072	Morelos	0.03542	0.00332	0.03558
Tetela del Volcán	3.948	7.255	Morelos	0.81684	0.95711	1.25829
Tlalquitenango	0.144	0.053	Morelos	0.02417	0.00080	0.02418
Tlaltizapán	0.626	1.533	Morelos	0.12461	0.19732	0.23337
Tlayacapán	0.384	0.125	Morelos	0.07418	0.01036	0.07490
Banderillas	0.63	3.153	San Luís Potosí	0.12544	0.41243	0.43108
Benito Juarez	0.278	1.146	San Luís Potosí	0.05209	0.14593	0.15495
CD. Del Maiz	0.574	1.435	San Luís Potosí	0.11377	0.18430	0.21659
Charcas	0.458	1.081	San Luís Potosí	0.08960	0.13730	0.16395
El Huizache	0.297	0.837	San Luís Potosí	0.05605	0.10490	0.11894
El Naranjal	0.307	0.86	San Luís Potosí	0.05814	0.10795	0.12261
El Polvorín	0.335	1.483	San Luís Potosí	0.06397	0.19068	0.20112
El Vergel	0.358	2.554	San Luís Potosí	0.06876	0.33289	0.33992
INIFAP Ébano	0.714	0.654	San Luís Potosí	0.14295	0.08060	0.16410
INIFAP San Luis	0.47	2.03	San Luís Potosí	0.09210	0.26331	0.27896
La Dulce	0.028	0.743	San Luís Potosí	0.00000	0.09242	0.09242
La Lugarda	0.889	4.399	San Luís Potosí	0.17941	0.57788	0.60509
Los Quintos	0.522	4.164	San Luís Potosí	0.10294	0.54667	0.55628
Palo Alto	0.182	0.447	San Luís Potosí	0.03209	0.05311	0.06206
Potrero San Isidro	0.181	0.226	San Luís Potosí	0.03188	0.02377	0.03977
Rayón	0.463	2.045	San Luís Potosí	0.09064	0.26530	0.28036
San Ignacio	0.305	1.132	San Luís Potosí	0.05772	0.14407	0.15520
Tampacoy	0.757	0.691	San Luís Potosí	0.15191	0.08551	0.17432
Tancojol	0.389	0.42	San Luís Potosí	0.07522	0.04953	0.09007

Tabla 6. Resumen RIWP.

A partir de los valores del RIWP para cada estación, se realiza un gráfico que represente las 30 estaciones con mayor índice de riesgo y el estado al que pertenecen. (Fig. 24.). No se aprecia ningún estado que predomine en la gráfica de riesgo relativo,

Hidalgo se podría considerar como el estado con mayor riesgo, pero no tiene una significancia importante.

Hay dos estaciones que presentan un riesgo relativo notablemente superior al resto, estas son Tetela del Volcán (Morelos) y El jardín (Guanajuato). Estas estaciones se encuentran en las zonas mencionadas en el *apartado 4.2*, son regiones donde las curvas de nivel son más pronunciadas, donde el daDRI y DRWP registran sus máximos, de ahí que el RIWP sea el más elevado para estos emplazamientos.



Fig. 24. RIWP por estados.

6. CONCLUSIONES:

6.1 CARÁCTER PERSONAL:

Tras concluir el estudio, se puede destacar que el resultado a nivel personal es positivo. Me encuentro orgulloso de como he gestionado el tiempo, debido a que soy una persona bastante desorganizada. Excepto algunos periodos que los he tenido que dedicar a realizar otras tareas como exámenes o trabajos de asignaturas, considero que he sido constante. También me ha ayudado a aprender a gestionar bibliografías y a redactar mejor, antes de realizar la memoria nunca había tenido en cuenta como ha de hacerse correctamente una bibliografía.

Ciento es que ha habido momentos que el trabajo resultaba un poco monótono y exasperante, eliminar datos manualmente de un documento Excel con más de 4000 filas puede ser duro. Pero poco a poco conseguía avanzar y una vez que está hecho produce satisfacción.

El tema puede parecer poco atractivo cuando desconoces todo acerca de ello, pero me ha servido para aprender e interesarme acerca de la importancia de caracterizar correctamente las condiciones a las que puede estar sometido un cerramiento y cuál es la solución constructiva más adecuada. Igualmente he conocido más sobre México y

me han resultado curiosos más aspectos del país y no únicamente de su climatología. Por ejemplo, ahora conozco el carácter montañoso del país, antes completamente desconocido para mí.

6.2: CARÁCTER TÉCNICO:

En el planteamiento del estudio y durante la realización de este, se presentaban distintos problemas y objetivos a abordar, se puede concluir que se han cumplido las expectativas y el trabajo realizado ha sido satisfactorio.

El principal problema era la descarga y recopilación de datos, gracias a la automatización del proceso se ahorran muchas horas de trabajo monótono y tedioso. Durante la recopilación de datos, hizo falta cambiar el código en Python a causa de actualizaciones tanto en la página del Gobierno de México como en los drivers del propio programa de descarga.

Posteriormente se han analizado todos los datos recopilados, para ello se desarrolló un modelo en Excel mediante el cual permitía un análisis eficiente y de calidad. Con estos datos se han realizado los mapas de Exposición a la penetración de agua atmosférica en los 4 estados analizados (Guanajuato, Hidalgo, Morelos y San Luis Potosí). Con ayuda de estos mapas se espera que en un futuro se puedan tomar las medidas necesarias en cuanto al aislamiento frente a la humedad en los cerramientos de las edificaciones

El análisis sobre el RIWP también resulta de gran interés, la implementación de los resultados obtenidos en el Código de la Edificación de Vivienda del Gobierno de México también permite una mejor caracterización de las necesidades de aislamiento en fachadas, consiguiendo que se apliquen soluciones constructivas más eficientes.

Gracias a la disponibilidad de datos climáticos se realizó un estudio estadístico sobre valores de retorno para la precipitación y la velocidad del viento. Puede ayudar a prevenir posibles daños materiales en un día con lluvias y vientos extremos.

Como uno de los objetivos, se fijó establecer correlaciones entre variables diarias, mensuales y anuales. En algunas zonas no existen registros diarios, únicamente mensuales y anuales. Se ha conseguido unas correlaciones con una significancia aceptable, permitiendo la extrapolación de resultados.

Uno de los grandes problemas del estudio ha sido la mala calidad de los datos y la no disponibilidad de registros en varias estaciones. Aunque se hayan analizado una gran cantidad de datos, aproximadamente un 50% se han desecharado por diversas razones, pocos años analizados, años con 50 días con registros, estaciones completamente inservibles. Con unos registros correctamente realizados se conseguiría un análisis exhaustivo y de mucha más fiabilidad, por tanto, es necesario que el Gobierno mexicano invierta en mejorar su red de toma de datos climáticos y mejore la disponibilidad de acceder a ellos.

En conclusión, el resultado a nivel técnico es satisfactorio, los resultados son de calidad y presentan coherencia. Me hubiera gustado un análisis donde no se omitieran datos, pero el objeto del estudio se ha cumplido notablemente.

7. BIBLIOGRAFÍA:

1. Pérez-Bella JM, Domínguez-Hernández J, Rodríguez-Soria B, Del Coz-Díaz JJ, Cano-Suén E. Revisión y mejora de la caracterización del grado de impermeabilidad requerido por el CTE DB-HS1 para fachadas de edificación. Inf la Construcción [Internet]. 2015;67(537):e059.
2. Broto C. Enciclopedia Broto de patologías en la edificación. Control. 2006;1389.
3. Blocken B, Carmeliet J. A review of wind-driven rain research in building science. J Wind Eng Ind Aerodyn. 2004;92(13):1079–130.
4. CONAVI. Código de Edificación de Vivienda. 2010; Available from: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/85460/Codigo_de_Edificacion_de_Vivienda.pdf
5. Mexico: Estados [Internet]. [cited 2018 Jul 31]. Available from: <https://online.seterra.com/es/vgp/3078>
6. Delgado de Cantú GM. México : estructuras política, económica y social [Internet]. Pearson Educación; 2003 [cited 2018 Jul 31].
7. Orografía de México [Internet]. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI; [cited 2018 Jul 31]. Available from: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/relieve/continental/>
8. GUMBEL EJ. STATISTICS OF EXTREMES. 2004.
9. INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México en Cifras [Internet]. [cited 2018 Jul 31]. Available from: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/>
10. Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal INAFED. Clima de Guanajuato: mapa, temperatura y lluvias [Internet]. [cited 2018 Jul 31].
11. Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal INAFED. Clima de Hidalgo: mapa, temperatura y lluvias [Internet]. [cited 2018 Jul 31].
12. Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal INAFED. Clima de Morelos: mapa, temperatura y lluvias [Internet]. [cited 2018 Jul 31].
13. Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal INAFED. Clima de San Luis Potosí: mapa, temperatura y lluvias [Internet]. [cited 2018 Jul 31].

14. Pérez-Bella JM, Domínguez-Hernández J, Cano-Suñén E, Del Coz-Díaz JJ. Implementation of the progress in moisture exposure analysis on façades to the Spanish building technical code | Aplicación al código técnico de la edificación de avances en el estudio de la exposición a la humedad de fachadas. Dyna. 2014;89(4):1–9.
15. Se T. Método de Gumbel. :1–3.
16. Smith RL. Statistics of Extremes, with Applications in Environment, Insurance, and Finance. Extrem Values Financ Telecommun Environ. 2004;(March):1–78.
17. Martínez-Vara de Rey C-C. Coeficiente De Correlación Lineal De Pearson. Univ Sevilla. 2002;1(1):1–20.
18. Pérez-bella JM, Domínguez-hernández J, Cano-suñén E, Coz-díaz JJ, Martín-rodríguez Á. Journal of Wind Engineering Procedure for a detailed territorial assessment of wind-driven rain and driving-rain wind pressure and its implementation to three Spanish regions. Jnl Wind Eng Ind Aerodyn [Internet]. 2014;128:76–89.

8. ANEXOS:

ANEXO 1: FICHAS DE ESTACIONES.