

Trabajo Fin de Grado

*Estrategias de aislamiento térmico en la arquitectura:
Origen, presente y futuro*
*Thermal insulation strategies in architecture:
Origin, present and future*

Autor

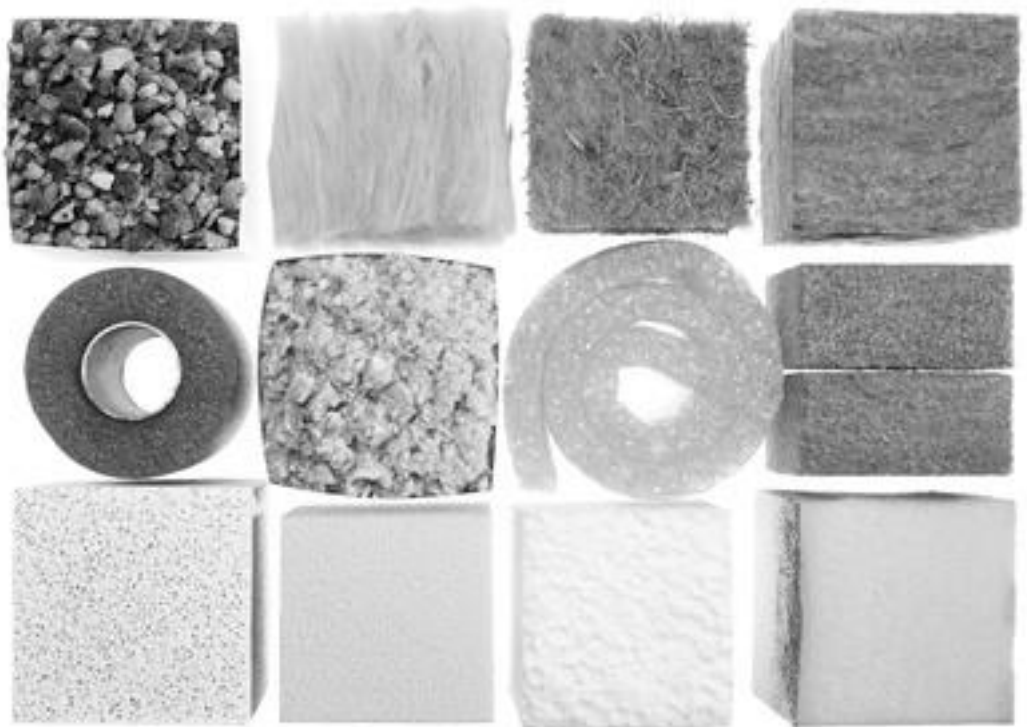
Fernando Guillén Fraj

Director/es

Belinda López Mesa

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Año 2020

ESTRATEGIAS DE
AISLAMIENTO TÉRMICO
EN LA ARQUITECTURA:
Origen, Presente y Futuro



Fernando Guillén Fraj

Directora: Belinda López

EINA, 2020

This essay seeks to analyze the evolution of a constructive element, which is currently essential for architecture, such as thermal insulation. For this, an exhaustive analysis is carried out in order to obtain answers to the reasons behind the appearance of this element, studying its evolution and use during history. Likewise, we will examine the regulations developed to regulate the use of thermal insulation, both in its manufacture as in its implementation. This analysis will give us the necessary information to resolve the problem proposed, which is none other than exploring the thermal enclosure of the future. In this analysis the attention is focused on providing architectural solutions to the current thermal comfort needs of buildings in a sustainable and environmentally friendly way, proposing a novel material, such as our Feltwood case study, to be introduced into this new architecture.

Este trabajo busca analizar la evolución de un elemento constructivo, que en la actualidad es indispensable para la arquitectura, como es el aislamiento térmico. Por ello, se realiza un exhaustivo análisis, con el objetivo de obtener respuestas a los motivos que hay detrás de la aparición de este elemento, estudiando su evolución y empleo durante la historia. Asimismo, examinaremos la normativa desarrollada a lo largo de la historia para la regulación del uso del aislamiento térmico, tanto en su fabricación como en su puesta en obra. Esto nos aportará la información necesaria para resolver el problema planteado, que no es otro que explorar el cerramiento térmico del futuro. Centrándose en dar soluciones arquitectónicas ante las actuales necesidades de confort térmico de los edificios de una forma sostenible y respetuosa con el medio ambiente, proponiendo un novedoso material, como es el planteado en el caso de estudio de Feltwood, de forma que se pueda introducir en la nueva arquitectura.

Agradecimientos: a la tutora, Belinda López; al igual que a todos los miembros de Feltwood que han sido partícipes del desarrollo de este trabajo.

08	1. INTRODUCCIÓN
	1.1. Motivación
	1.2. Objetivos
	1.3. Metodología
	1.4. Origen de los aislamientos térmicos
	1.5. Primera normativa; NBE-CT-79
42	2. AISLAMIENTOS ACTUALES
	2.1. Construcción moderna
	2.2. CTE-2006
	2.3. CTE-2013
	2.4. Clasificación y tipología de aislamientos
74	3. FUTURO DEL AISLAMIENTO
	3.1. Objetivo: edificios consumo casi nulo
	3.2. Normativa actual: CTE 2019
	3.3. Detalles constructivos
104	4. ESTUDIO NECESIDADES DEL MATERIAL
	4.1. Estudio normativo:
	4.1.1. Análisis del ciclo de vida
	4.1.2. Eco-etiquetas a cumplir por el material.
	4.1.3. Normas UNE.
	4.2. Estudio técnico:
	4.2.1. Conductividad térmica
	4.2.2 Resistencia a la difusión del vapor de agua
	4.2.3. Resistencia al fuego
	4.2.4. Resistencia a fuerza de compresión y tracción
	4.2.5. Resistencia al agua
	4.2.6. Formato de aplicación
132	5. CASO DE ESTUDIO. FELTWOOD
	5.1. ¿Qué es Feltwood?
	5.2. Estudio técnico
	5.3. Industrialización
	5.4. Aplicación en la arquitectura
154	6. ÍNDICE DE FIGURAS
160	7. BIBLIOGRAFIA

1. Introducción

1.1. Motivación

"El arte de la arquitectura reside en la creación de espacios, no en el diseño de espacios."

H. P. Berlage,

Principios y evolución de la arquitectura (1908)

El arquitecto tiene la labor de crear espacios para ser habitados por el hombre, de diferentes formas dependiendo de su uso y tipología. Es decir, el objetivo es proporcionar un lugar confortable en el cual desarrollar una actividad determinada.

Para ser un espacio habitable, debe mantener unas condiciones de confort óptimo para el ser humano, principalmente aportando un bienestar térmico a los diferentes espacios. Por ello, observamos las diferentes soluciones que se han desarrollado a lo largo de la historia, con el propósito de encontrar las numerosas vías con las cuales se ha conseguido el confort. Estas soluciones están muy ligadas a las técnicas constructivas de cada época, acompañadas en todo momento, por el desarrollo de la tecnología.

Esta búsqueda del bienestar constructivo genera una inquietud personal, basada en conocer cómo construiremos en un futuro próximo, con qué tecnología y qué materiales. Es decir, qué soluciones constructivas se utilizarán para dar respuesta a las nuevas demandas, tanto al confort térmico de los espacios como a las de la sociedad. Las cuales se dirigen hacia una arquitectura eco-eficiente.

Podríamos concluir esta motivación en la búsqueda de respuestas para las siguientes preguntas:

¿Qué originó el desarrollo masivo de las ciudades?

¿Cómo se consigue el confort en estas máquinas de habitar?

¿Cómo lograr aunar confort interior y sostenibilidad?

1.2. Objetivo

El objetivo principal es profundizar en los sistemas de aislamiento térmico, analizando su evolución a lo largo de la historia. Obteniendo de esa forma, los conocimientos óptimos para un posterior conocimiento crítico que permita el desarrollo de este trabajo.

El fin último es el de obtener unas bases que nos permitan establecer las necesidades de la arquitectura del futuro, marcando un horizonte claro, que no es otro que el camino hacia el cual se dirige la sociedad actual, la sostenibilidad del planeta. Este horizonte es un pilar imprescindible para el trabajo, ya que como se ha comentado en la motivación, la arquitectura tiene la función de generar un espacio confortable. Sin embargo, de qué nos sirve tener un espacio confortable si en el exterior tenemos un mundo hostil, semejante a un desierto de hormigón, que se conforma como paisaje habitual en las grandes ciudades actuales.

Dicho lo cual, el objetivo del trabajo se centra en estudiar lo realizado para llegar al punto actual, identificar los problemas y obtener las soluciones para el futuro, de forma que las soluciones constructivas tengan el objetivo de conseguir ese doble confort, interior y exterior. Se persigue por ello en este trabajo el prescindir, en la medida de lo posible, de materiales nocivos para el medio ambiente en la construcción de los edificios. Centraremos el trabajo en unos materiales concretos como son los aislantes térmicos. Uniendo así, el bienestar térmico aportado por los elementos aislantes y la procedencia de estos, persiguiendo esa sostenibilidad casi total de la edificación. Esto nos llevará a encontrar un material desarrollado por Feltwood, estableciendo una colaboración con dicha empresa con el objetivo de aportar soluciones a aspectos aún no desarrollados por la empresa, con el objetivo principal de aportar la información necesaria a la empresa para poder llevar el material a la edificación. Realizando un análisis del material, que nos permita identificar las oportunidades que nos puede brindar, llegando a realizar el desarrollo técnico que debe estar detrás del material para que este llegue a ser colocado en una obra.

Dicho esto, resumimos los objetivos en la búsqueda de respuestas para las siguientes preguntas:

¿Qué normativa regula el confort térmico?

¿Qué valores establece esta normativa?

¿Qué materiales utilizaremos para crear confort térmico en el futuro?

¿Qué necesita cumplir el material de Feltwood?

1.3. Metodología

La redacción de este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se basa en un estudio histórico sobre los elementos de aislamientos térmicos, obteniendo de esa forma, una perspectiva crítica de su evolución y un horizonte hacia el cual avance este elemento constructivo, y la arquitectura en general.

Este estudio se basa en un análisis y posterior clasificación de las diferentes soluciones constructivas que se han implantado en la arquitectura desde la aparición de este elemento constructivo hasta la actualidad. Para ello, se aportarán documentos gráficos y detalles constructivos que nos ayudarán a entender la evolución de este. A la vez que se plantea un caso de estudio, el cual nos servirá para comprender, de una forma práctica, las aplicaciones llevadas a cabo durante la historia.




Este proceso nos aportará un conocimiento que nos ayude a encontrar las características del elemento y a cómo realizar la aplicación constructiva de los materiales en un futuro a corto y medio plazo. Teniendo como horizonte los objetivos marcados por las directivas europeas, cuyo objetivo es conseguir edificios de consumo casi nulo, para rebajar las emisiones de efecto invernadero.

Una vez realizado este análisis y determinando cómo deberá ser el aislamiento del futuro, planteamos traspasarlo a la práctica a través de la colaboración con la empresa Feltwood. Esta compañía centra su trabajo en el desarrollo de materiales compuestos por residuos agrícolas, incluyendo dentro de su gama de materiales un aislante térmico. Este elemento, en fase de ensayo, nos permitirá obtener un caso de estudio que encaja dentro de las características establecidas en este trabajo, para los materiales del futuro. Permitiendo así traspasar el aspecto teórico del trabajo con el objetivo de aportar un grano de arena a conseguir mejorar el planeta del futuro, ayudando a llevar un material tan importante para el futuro desde el estado de ensayos actual, hasta el uso en la arquitectura.



Figura 1.1.
Asentamiento de cueva en Jerusalén
Fuente: <https://definicion.de/>

Figura 1.2.
Aparejos *opus* romanos
Fuente: <https://arteyculturaroma2016.wordpress.com/>

		
Opus incertum	Opus testaceum	Opus reticulatum

1.4. Origen de los aislamientos térmicos

“El hombre siempre ha usado los materiales que la naturaleza le ponía directamente en sus manos para construirse un entorno habitable, aspirando en muchas ocasiones incluso a su permanencia. Como toda obra humana, surgieron sus construcciones impregnadas de su espíritu y los aspectos que lo representaban comenzaron a hacerse evidentes como arte: los estilos, los módulos, la ornamentación, los capiteles y chapiteles...”

Alejandro de la Sota

El ser humano busca protegerse de las temperaturas extremas, tanto en frío como en calor, desde su origen. De esta necesidad de buscar un lugar de protección, el hombre comienza a habitar las resguardadas cuevas (Figura 1.1.). Posteriormente, se comienza a levantar edificaciones más complejas con el mismo objetivo. De la práctica de crear edificios apareció la necesidad de que surgiera la arquitectura, como “El arte de proyectar y crear edificios”¹. Podemos decir que el momento en el que el ser humano aprendió a construir espacios de protección, surgió la arquitectura con el objetivo de convertir estos espacios en lugares habitables y agradables. Es decir, aportar las condiciones de bienestar completo a un espacio.

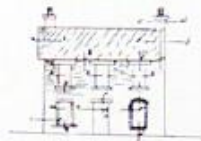
Tras analizar cuál ha sido la solución adoptada en cada época para conseguir el confort deseado, podemos concluir que las primeras decisiones aportadas fueron gracias a la civilización egipcia que apostó por aumentar el grosor de la única hoja por la cual se compone la envolvente, mientras que los romanos avanzaron en este aspecto. Este avance fue encaminado a seguir aumentando la inercia térmica de la envolvente, a través del diseño de una envolvente compuesta por tres hojas que forman una única envolvente monolítica (Figura 1.2.). Ambos sistemas tenían entre sus objetivos, proteger el espacio interior de los factores climatológicos, consiguiéndolo a través del aumento de la masa. Creando unos muros con un mayor volumen se logra incorporar más resistencia a la transmisión de la energía térmica.

Del estudio de estas soluciones obtenemos la conclusión de que un importante objetivo era incorporar resistencia térmica a los elementos arquitectónicos en contacto con el ambiente exterior. Hasta

¹ Española, R. A. (s.f.). Diccionario de la lengua española. Obtenido de <https://dle.rae.es/>

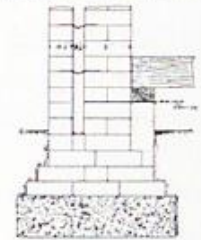
Enquiry Department.

HOLLOW WALL CONSTRUCTION.
To the Editor of THE BUILDERS' JOURNAL.
SIR,—Can you give sketches showing the method of construction on each of the following sections here. I would also be pleased to

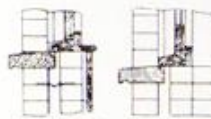


have any information about hollow wall construction. Yours,
WICK.

The accompanying sections will be found suitable for a small detached villa in an exposed situation, for free substantial property a spin stone wall might be considered sufficient for the ground story, although this is not advised. It is usual to build these hollow walls with a spin skin outside as there is then less resistance to short masonry.



and when wet it dries quicker, also the thicker portion being inside to carry the constructive timber, necessarily shortens the spin and economises material. The hollow space between the two walls should not exceed six, and is more frequently eight. The two portions are kept entirely separate below the ground line and the upper ceiling except at the openings of door and window openings; these are formed and the space closed, as shown in Figs 3 and 7.



By using slabs all the hidden portion of these latter bricks should be covered with tar or melted asphaltum below laying to prevent the transmission of moisture to the inner wall. Starting about four inches from the ground, and at every third course thereafter, rows of

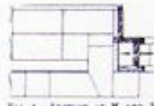


FIG. 4.—SECTION AT H AND K.



FIG. 5.—SECTION AT H.

wrought or cast galvanised iron ties, spaced about 18 in. apart, should be built in the brickwork, as shown in the sketches, to tie the work together; they should not be placed vertically over each other, but set and come facing. These ties are made of various shapes, but those having a good dip in the middle are best. There are also purpose made



FIG. 6.—SECTION AT S.

bricks in the market, but in cases of unusual settlement these are very liable to break. It is not advisable to take the hollow below the ground line, as water will accumulate therein, but where this must be done to protect a basement the inner wall should be covered with asphaltum up to the damp course, the



FIG. 7.—SECTION AT U.

top of the hollow should be closed at once, the ceiling line, and immediately above, a damp course must be inserted, as shown in Fig. 6. Over all doors and window heads a strip of lead should be built in the outer wall and turned up to form a gutta, as shown in Fig. 4, this should be long enough

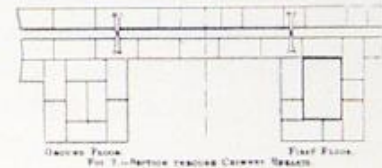


FIG. 8.—SECTION SHOWING CHIMNEY BREAST.

to overhang each end about six. During the building of the wall, pieces of board laid on the ties will prevent mortar, &c., falling into the space. Fig. 1 is a vertical section of the foot of the wall; Fig. 2, a vertical section through ground floor window. The stone will meet and quite bridge the space. Both ends are grooved, and a strip of lead, bent and bedded in cement, prevents the ingress of water. Fig. 3, a vertical section of first floor.

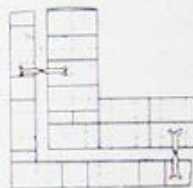


FIG. 9.—SECTION AT O P.

Figs. 4 and 5, horizontal sections through the corner (dotted lines show corner above and below); Fig. 6, vertical section through head of doorway, showing stone (ital and lead gutters); Fig. 7, a horizontal section through the chimney breast, the left half on the ground floor, the right half on the first floor; Fig. 8, a section through the same, showing top of the hollow wall; Fig. 9, section of

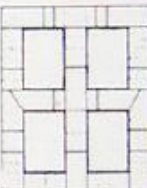


FIG. 10.—SECTION AT C D.

corner of wall at ground floor; Fig. 10, section of chimney above roof. Sections at gables and parapet are not necessary, as these will be built in the ordinary manner, but with the damp course taken all round at the same level.

It has been virtually decided to provide the Royal Courts of Justice with lifts at an early date for the accommodation of those having business at the office and chambers situated on the upper floors of the building. It is understood that about four lifts will be erected for the purpose, of which two will be situated in the east block, and one each in the western and main blocks.

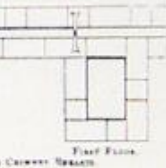


FIG. 11.—SECTION SHOWING CHIMNEY BREAST.

Figura 1.3.

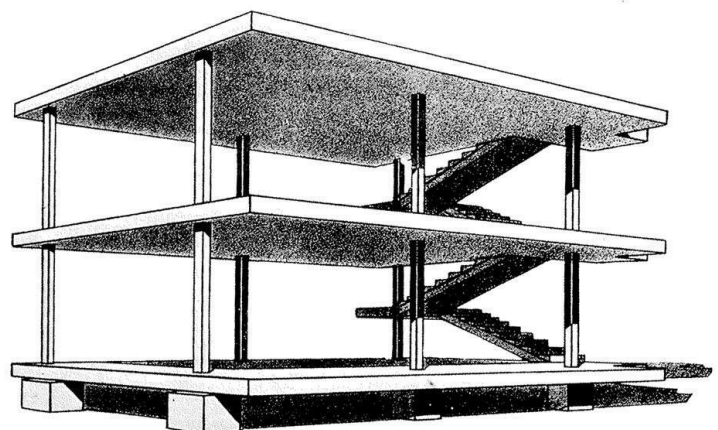
Detalles constructivos del Builder Journal

Fuente: Tectónica nº 2 Envolventes (II)

Figura 1.4.

Casa Dom-ino

Fuente: <https://upcommons.upc.edu/>



ahora la forma que hemos visto de realizarlo ha sido a través de aumentar el grosor de la envolvente. Dicho lo cual, con la llegada de la revolución industrial y el desarrollo de la técnica, aparecieron nuevos materiales, cuya única función residía en aportar esta resistencia térmica.

Gracias a los modernos avances industriales, la construcción busca nuevas soluciones más prácticas y económicas que otorguen unos resultados similares. Así, la primera solución que se adoptó para aportar mayor resistencia térmica a los muros fue la incorporación de una cámara de aire en el interior del mismo. Es decir, los muros ya no eran un único elemento sólido como se concebía desde los comienzos de la edificación, sino que se convirtió en la composición de dos elementos sólidos separados por una cámara de aire. Siendo esta cámara de aire la encargada de aportarle resistencia térmica al conjunto sin aumentar más masa de lo necesario y acelerar el proceso de la construcción. Este tipo de soluciones son conocidos como muros contruidos por capas o *cavity wall* (Figura 1.3.) y su empleo se data por primera vez en el año 1898 en el edificio Builder Journal².

Llegados a este punto, el siguiente paso parece estar claro: llenar esta cámara de aire con un material cuya principal característica fuera la elevada resistencia térmica. Este tipo de materiales pasarían a denominarse aislamientos térmicos. Transcurrieron unos años hasta que en 1914 Alemania se posicionó como la pionera en el uso de aislamiento térmico en edificios. Fue en este año en el cual se comenzó a desarrollar esta técnica paralelamente a un acontecimiento histórico que cambió el transcurso de la arquitectura y de la historia en general, la primera guerra mundial.

El sistema de envolvente de dos hojas con una cámara de aire en la parte interior, se desarrolló gracias a la desvinculación del sistema estructural de la envolvente. Es decir, los muros pasan de ser los elementos de transmisión de las cargas al terreno, a simplemente unos elementos arquitectónicos que establecen un límite. Este límite es la separación entre interior y exterior, generando un espacio cerrado. Dicho esto, los elementos perimetrales tienen la única función de generar un espacio y aportarle las características imprescindibles para que se convierta en un espacio habitable.

Un gran ejemplo de la separación entre estructura y envolvente la podemos ver en la casa experimental que realiza Le Corbusier, en 1914, la casa *Dom-ino* (Figura 1.4.). Precisamente, Le Corbusier, pretende que esta casa se convierta en un manifiesto de la construcción del futuro. Donde no existirán muros estructurales, sino que la estructura se concentrará en los pilares independientes. Desvinculando así la fachada y particiones interiores de la estructura, aportando una gran libertad de diseño a los mismos. De esta forma es posible establecer numerosas combinaciones de envolvente, dando lugar a la incorporación de los nuevos materiales aislantes.

² Quintáns, C. (1995). Cerramientos Pesados. Tectónica nº2 Envolventes (II), 12-27.



Figura 1.5.

Escuela de la Bauhaus

Fuente: <https://plataformaarquitectura.cl/>

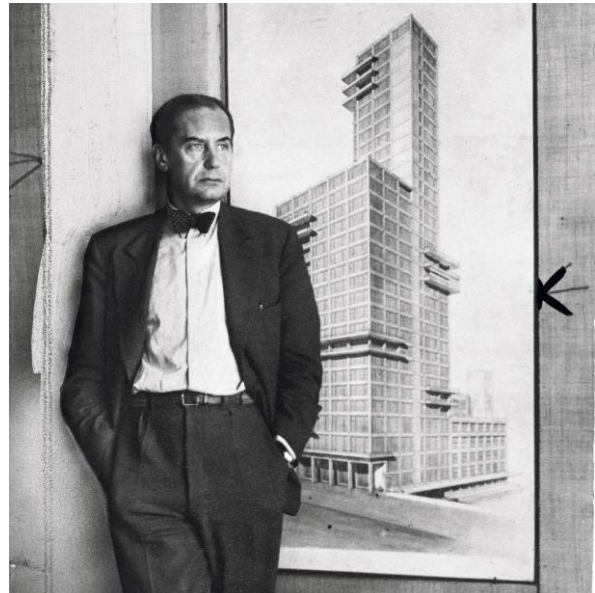


Figura 1.6.

Walter Gropius

Fuente: <https://plataformaarquitectura.cl/>

Tras finalizar la primera guerra mundial, se busca realizar un proceso de recuperación de la actividad desarrollada antes de la guerra. En este contexto surgió la primera escuela de diseño arquitectónico, la Bauhaus (Figura 1.5.). Para entender la importancia que esta escuela ha tenido en el desarrollo de la arquitectura y su relación con la construcción, nos vamos a introducir en el trabajo realizado por la Bauhaus en un momento de desarrollo técnico clave.

Para ello, primero debemos contextualizar el momento histórico en el cual se sitúa, ya que como hemos mencionado anteriormente, la evolución de la técnica tras la revolución industrial se vio paralizada tras la primera guerra mundial. Después de la guerra se reactivó casi todo el sistema productivo. Y fue en este proceso de reactivación cuando nace la Bauhaus, con la voluntad de unir diseño y técnica, y forma y construcción.

“El objetivo último de toda actividad artística visual es la construcción: Arquitectos, pintores y escultores deben volver a aprender a conocer y comprender la forma de múltiples facetas de la construcción en su totalidad, así como sus partes. Sólo entonces por su propia voluntad podrán llenar sus obras con el espíritu arquitectónico que han perdido en el arte de salón. Vamos a establecer un nuevo gremio de artesanos sin la presunción de las diferencias de clase construyendo un muro de arrogancia entre artesanos y artistas. Juntos vamos a pedir, diseñar y crear construcción del futuro, que comprende todo en una forma: arquitectura, escultura y pintura”

Walter Gropius

Manifestó Bauhaus (1919)

Desde su propio nombre la escuela nos desvela el pensamiento que se desarrolla en ella. Bau-haus se compone de la unión de dos palabras alemanas, **Bau** que significa construcción y **Haus**, casa u hogar³. Resulta difícil entender que con este nombre y siendo su fundador arquitecto, Walter Gropius (Figura 1.6.), no se comenzara impartiendo estudios de arquitectura. Sin embargo, pronto se incluyeron estos estudios y se planteó la realización de un caso práctico, en el cual se unieran las diferentes técnicas que se desarrollarían en la escuela. El resultado fue la realización de una serie de proyectos en los que se conseguía unir las diferentes ramas del diseño a la hora de construir la vivienda.

Estos proyectos se denominan “casas modelo” o “casa experimental” (Figura 1.7.), en las cuales se recogían las propuestas recogidas en el manifiesto generado por la escuela. De esta forma establecen las bases sobre las que se debían asentar la nueva arquitectura de postguerra.

³ Alcalá, N. (s.f.). La primera escuela de diseño del siglo XX. Obtenido de <http://www.cultier.es/bauhaus-la-primera-escuela-de-diseno-del-siglo-xx/>

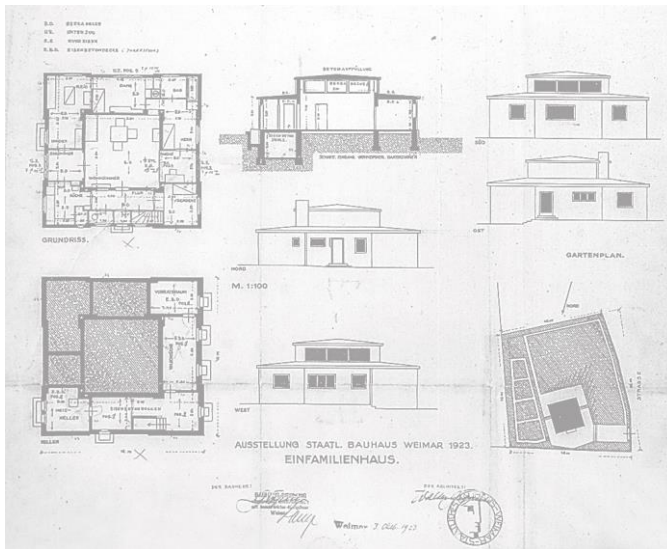


Figura 1.7.

Casa experimental

Fuente: *Walter Gropius en la Weißenhofsiedlung.*

Dos prototipos de viviendas industrializadas,

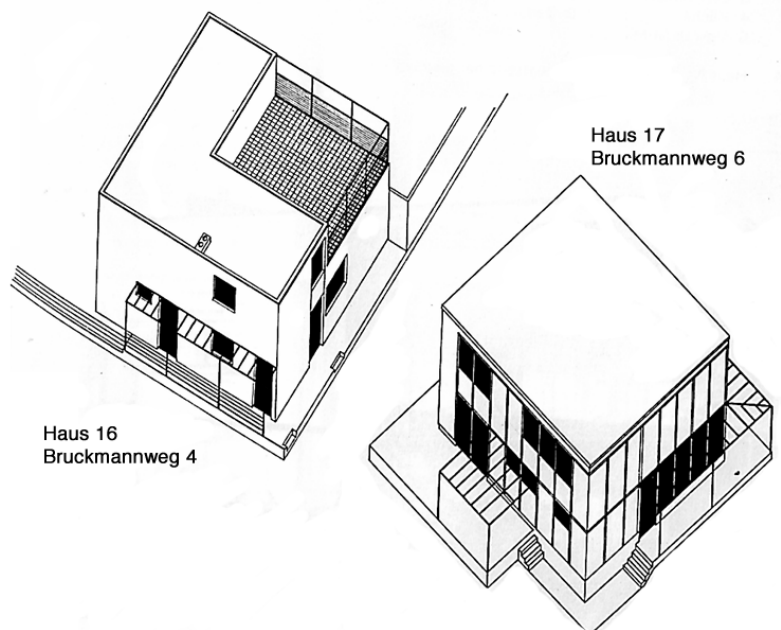


Figura 1.8.

Casas 16 y 17 en Weissenhof

Fuente: <https://www.woonen.nl/>

Las reglas establecidas por la Bauhaus concluyen en: formas racionales, cuadradas o rectangulares, sin artificios; pensadas para construirse con escasos medios y empleando materiales novedosos.

Esto provoca el planteamiento de unos equipamientos tecnológicos muy avanzados para la época: incorporaban calefacción central, lavandería... y mobiliario diseñado por los propios miembros de la escuela.

¿Qué hace tan importante la aparición de la Bauhaus?

Tal y como hemos desarrollado anteriormente, podemos decir que esta escuela es tan importante en la historia de la arquitectura debido a su carácter novedoso, la cual se basa en aunar diseño y construcción, diseño y tecnología, diseño y confort. Este avance se dirigía a una dirección clara, la de generar edificios estandarizados, prefabricados, fáciles de construir y rápidos.

Dentro de estos aspectos novedosos nos interesa uno especialmente, el desarrollo de las técnicas y materiales constructivos. Ya que durante este periodo se avanzó considerablemente en la búsqueda del bienestar; se desarrollaron sistemas de calefacción, lavandería, e incluso la incorporación de materiales de aislamiento térmico. En este aspecto cabe destacar a Walter Gropius, con el diseño de la casa 16 y 17 dentro de la exposición Weissenhof (Figura 1.8.). Estas viviendas se pueden considerar la primera obra de arquitectura en incorporar el material que nos ocupa en este trabajo. En esta edificación se incorporan elementos muy novedosos para la época; un punto de gran interés que nos lleva a realizar un análisis concreto de este proyecto para llegar a entender cuál fue el origen de este material.

Mientras que en la vivienda 16 (Figura 1.9.) se construye con fábrica de bloque hueco de hormigón aligerado, las particiones interiores y los forjados se realizan con el método Feifel Zick-Zack⁴; el cual consiste en un entramado de tablas dispuestas en zigzag. Por su gran inercia y poco peso, este sistema posibilita la construcción rápida y sencilla de paredes portantes y forjados, así como tabiquería interior.

Por otro lado, la estructura en la vivienda 17 (Figura 1.10.) se resuelve con un esqueleto de perfiles metálicos (Figura 1.11.), aprovechando la forma cúbica de toda la estructura, se disponen perimetralmente a excepción de un único pilar ubicado en una posición central interior.

Es conveniente señalar que ninguno de los dos prototipos de Gropius se plantea como una construcción prefabricada, sino que trataba de conseguir la industrialización de la construcción. Para llevar a

⁴ Caballero, M. (2014). Walter Gropius en la Wiebenhofsiedlung. Dos prototipos de viviendas industrializadas. 59-74.

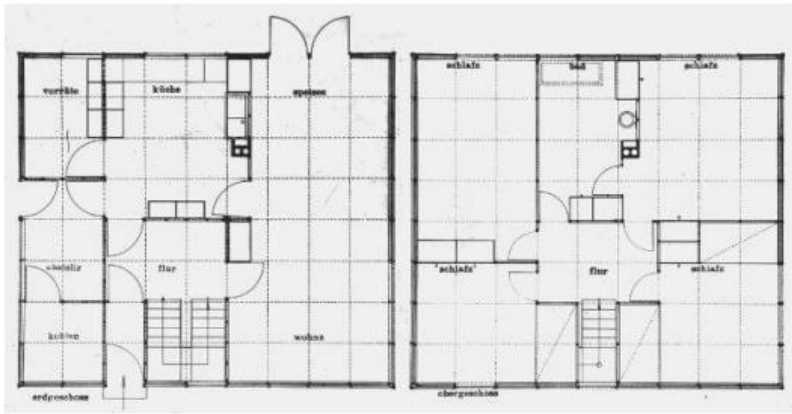


Figura 1.9.
Planta modulada Casa 16
Fuente: <https://upcommons.upc.edu/>

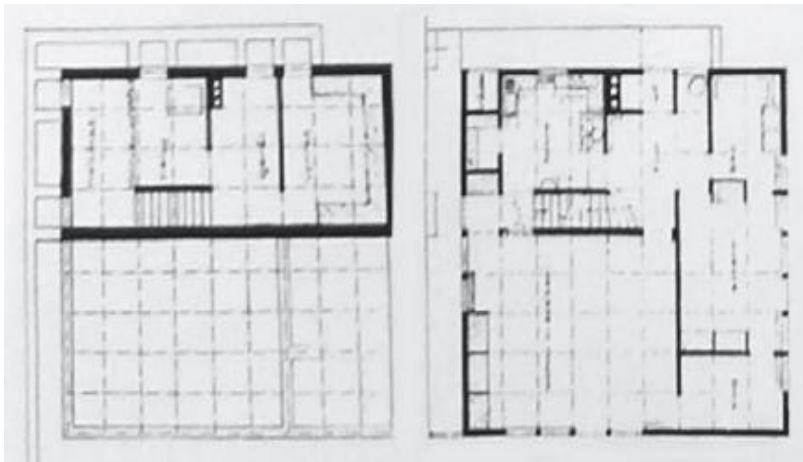


Figura 1.10.
Planta modulada Casa 17
Fuente: <https://arteyculturaroma2016.wordpress.com/>



Figura 1.11.
Foto construcción Casa 17
Fuente: Tectónica nº 2 Envoltentes (II)

cabo este proceso busca modular las dimensiones de todos los elementos constructivos, con el objetivo de facilitar el proceso de ensamblaje. Lo traslada a una arquitectura basada en la construcción en seco, en la cual se reduce considerablemente el proceso a realizar in-situ, reservando gran parte del proceso a las fábricas en las cuales se producen los materiales. Esta nueva concepción de la construcción permite que la vivienda se construyera en tan solo tres meses y 10 días.

La fachada está formada por un panel exterior de fibrocemento y un panel interior, de 6 milímetros de espesor, de una composición formada por la mezcla de amianto, papel triturado, cemento y otros productos químicos, entre los cuales se dispone una capa de aislamiento térmico y acústico de corcho. Sin embargo, esta tecnología no estaba desarrollada todavía de una forma adecuada y surgieron varios problemas que ayudaron a la mejora de los sistemas constructivos. En este caso aparecieron principalmente problemas de evaporación, sin permitir que este saliera al exterior. Esto provocaba que, al utilizarse la calefacción, el aire del interior se condensara y dificultara habitar ese espacio. Por lo que podríamos decir que la solución adoptada para hacer más confortable el espacio interior consiguió el efecto contrario en este caso.

En los falsos techos de ambas viviendas se emplearon paneles fabricados con fibras de bagazo, residuo leñoso procedente del procesamiento de la caña de azúcar, con gran capacidad como aislante térmico y acústico. Dicha solución fue un acierto por parte del proyectista y la retomaron en otras obras.

¿Cómo se trasladó a la arquitectura española?

Una vez incorporada la solución constructiva de crear una barrera aislante a la arquitectura moderna, necesitaba un trabajo exhaustivo de investigación y evolución. En su inicio, como ya hemos visto anteriormente, se desarrolló un sistema compuesto por dos hojas de ladrillo separadas mediante una cámara de aire en la que se incorpora el material aislante. Esta solución tuvo gran éxito en las ciudades en las que vivimos actualmente, y se mantuvo evolucionando tan solo las capas interiores de la fachada. Estos elementos variaron en la búsqueda de optimizar las secciones y los espesores de los materiales, persiguiendo el equilibrio entre el espesor y la resistencia térmica óptima. Retrocediendo en cierta manera a la arquitectura primitiva, ya que se alejaba de esos grandes muros desarrollados durante la arquitectura Romana y egipcia, en la que buscaban una gran inercia térmica. Encaminando la investigación en confiar todo el esfuerzo aislante a una lámina del menor grosor posible y que nos aporte un mayor aislamiento.

De este modo comenzó la gran búsqueda de una temperatura adecuada para considerarse confortable térmicamente. Esta investigación finalizó con datos relevantes para el diseño de los edificios, concluyendo esta temperatura de 22 °C en invierno y 25 °C en verano.

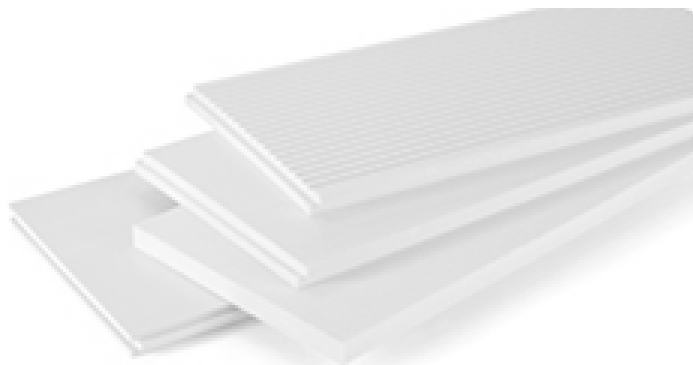


Figura 1.12.

Detalle espuma plástica

Fuente: <http://www.danosa.fr/>

Estas temperaturas pueden ser conseguidas con máquinas que hagan posible la obtención de estas temperaturas, pero esto no hace que el espacio sea confortable. Esto es debido a que las paredes de estos locales siempre estarán frías lo que no permitirá obtener el confort deseado de los espacios, provocando una excesiva pérdida de radiación del cuerpo humano, lo que provoca sensaciones desagradables para el ser humano.

El establecimiento de estos valores no supuso la adaptación inmediata para conseguir las temperaturas deseadas, debido a que durante gran parte del siglo XX la tecnología no estaba lo suficientemente desarrollada como para conseguirlo.

A pesar de todo, se implementó la colocación de aislamiento de espuma de plástico (Figura 1.12.) y materiales alveolares en el interior del espacio resultante entre la hoja de ladrillo interior y exterior, al igual que el material que se colocaba sobre los forjados. Este tipo de soluciones no se acercaban a lo ideal, causando abundantes puentes térmicos, surgiendo numerosos problemas de infiltraciones de agua y humedad.

Sin embargo, podemos llegar a la conclusión de que el problema no era el material, sino el empleo del mismo. Es decir, el sistema constructivo, sumando la mano de obra aún no especializada que cometía errores en su ejecución.

Estas cuestiones se mejoraron en el último tercio del siglo XX, extendiéndose la idea de que nuestros edificios debían estar bien aislados y que a mayor aislamiento menor gasto energético. La revolución energética vino acompañada por la aparición de la primera norma que regulaba el diseño y construcción de los edificios, incluyendo por primera vez un apartado que regula el uso de materiales aislantes con el objetivo de llegar al confort deseado.

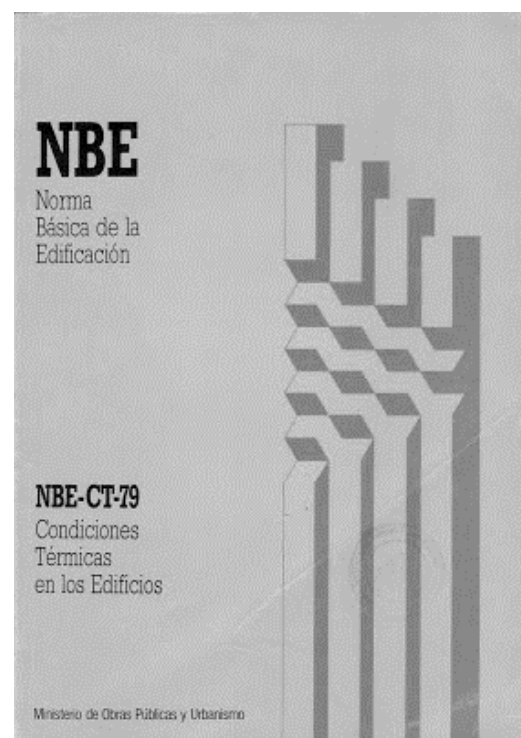


Figura 1.13.

NBE-CT-79

Fuente: <https://arquinar.blogspot.com/>

1.5. Primera normativa: NBE-CT-79

“La norma CT-79 al limitar las pérdidas térmicas a través de la fachada, obligó en la práctica a introducir en la cámara unos materiales específicamente aislantes que hasta aquel momento habían tenido una difusión escasa.”

Ignacio Paricio

Era necesario establecer una serie de normativas que guiaran el diseño y construcción de los edificios, para ello se dispuso la herramienta necesaria a través del Real Decreto 1650 publicado el 10 de junio del año 1977. En este Real Decreto se establecieron las Normas Básicas de la Edificación con el objetivo de determinar las reglas necesarias y de obligado cumplimiento para la correcta ejecución de los edificios. Este Real Decreto dio lugar a que posteriormente aparecieran otras normativas, con el fin de completar la regulación de la edificación de los edificios. Especialmente nos interesa la N.B.E.-C.T.-79 (Figura 1.13.) sobre «Condiciones Térmicas en los Edificios». Este reglamento tenía como objetivo establecer las exigencias en cuanto al aislamiento y resistencia térmica.

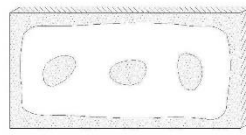
Es decir, la normativa estableció la obligación de incluir material aislante en la envolvente, ya que, aunque este material ya se había utilizado por primera vez en 1927, su uso no se había extendido debido a diversos motivos. Sin embargo, lo sorprendente es que en más de 40 años no se había popularizado su uso y, la llegada de la normativa provocó que su empleo se convirtiera en algo habitual en las nuevas construcciones.

Tras la aplicación de la normativa, se resolvió el detalle constructivo de la forma más sencilla posible, lo cual llevó a colocar este material junto a la hoja exterior. Aunque esta solución provocó diversas dificultades, la principal es el relacionado con las condiciones higrotérmicas. Tras años ejecutando la misma solución, llegaron los años 90 y con ello un cambio de sistema, situándose ahora el material aislante adosado a la fábrica de ladrillo interior, permitiendo así retomar el uso de una cámara de aire con el objetivo de realizar una ventilación, permitiendo así evacuar las posibles condensaciones de su interior.

Sin embargo, esta normativa llegó tarde, ya que durante los años anteriores se construyeron numerosos edificios, y todos ellos con ausencia de aislamiento térmico. Edificios que aún hoy siguen siendo utilizados y habitados. Cuestión por la que actualmente se esté optando por la rehabilitación de las

- 01 Muro base
- 02 Mortero adhesivo A-96
- 03 Aislamiento EPS SILVERTECH 31 - 60 mm de espesor (Fassa Bortolo)
- 04 Mortero adhesivo A-96 (2)
- 05 Imprímación FX 526 + revestimiento acrílico tipo RTA 549 (Fassa Bortolo)
- 07 Malla de fibra de vidrio, reforzada y micronizada tipo Fassanet
- 08 Fijación mecánica según Base Fx (Fassa Bortolo) DITE 07/0280.

- ▶ Plantas 0 a 3: Se colocarán al menos 6 tacos/m².
- ▶ Plantas 3 a 9: Se colocarán al menos 8 tacos/m².
- ▶ Plantas 9 a pelo de cubierta: Se colocarán al menos 10 tacos/m².



Aplicación de adhesivo con método "bandas y puntos"

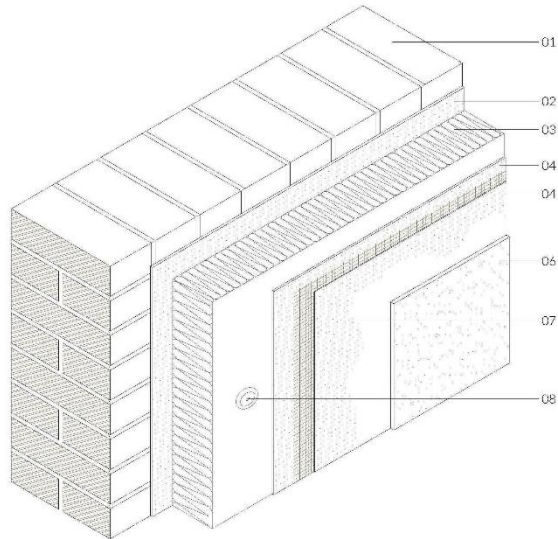


Figura 1.14.

Incorporación de aislamiento con sistema tipo "sate" para rehabilitación de fachada

Fuente: <https://www.acuatroarquitectos.com/rehabilitacion-de-fachadas-evaluacion-de-sistemas/>

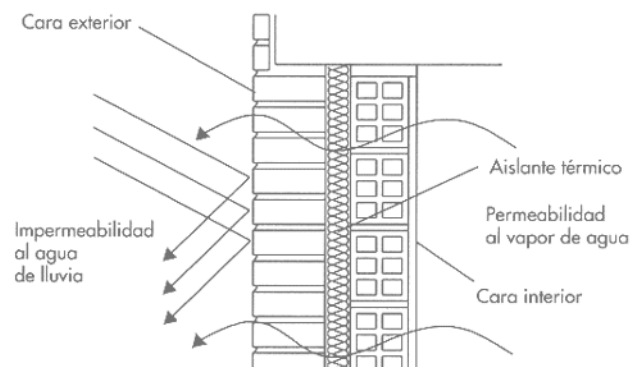


Figura 1.15.

Detalle permeabilidad del muro

Fuente: <https://www.elconstructorcivil.com/>

fachadas (Figura 1.14.), un tema que deberemos afrontar en los apartados siguientes.

Esta regla debía de ser aplicada en todos los edificios de nueva planta realizados a partir de la entrada en vigor de la misma. Sin embargo, como siempre hay ciertas excepciones, en este caso se establecieron dos:

- Edificaciones de nueva planta que por su uso deben de permanecer abiertas.
- En todos los edificios que no sean de viviendas, en los cuales el proyectista podrá adoptar, bajo su responsabilidad medidas distintas a la Norma. Siempre y cuando estén debidamente justificadas.

En resumen, podemos decir que fue obligatorio aplicar la norma en todos los edificios de viviendas, y en el resto de edificios podían existir diversas excepciones.

Esta nueva norma tiene un carácter prescriptivo, estableciendo procedimientos aceptados o una serie de guías técnicas que se debían de seguir a la hora de diseñar o construir un edificio. Es decir, se daban las pautas de edificación sin espacio para aplicar nuevas soluciones constructivas. Dicho lo cual, podemos decir que para cumplir la Norma los edificios tenían que cumplir 4 condiciones por separado, que a su vez son complementarios entre sí.

En primer lugar, se debía cumplir un coeficiente KG que hace referencia a la transmitancia global del edificio. Es decir, a la cantidad de calor que se va a transmitir a través del conjunto de los cerramientos del edificio. Haciendo mención este coeficiente únicamente a las pérdidas de calor en invierno y limitando las mismas, sin tener en cuenta la situación en verano.

Por otro lado, se exige un coeficiente K, que también alude a la transmitancia térmica, determinando un valor para cada uno de los cerramientos que componen el edificio y están en contacto con el ambiente exterior.

Un aspecto más a tener en cuenta a la hora de cumplir la Norma es el comportamiento higrotérmico de los cerramientos. Para comprender a qué hace referencia este apartado, definiremos primero la comodidad higrotérmica, la cual podemos asemejar con el confort térmico, por lo que se considera que existe comodidad higrotérmica cuando no es necesario que se active un mecanismo termorregulador del cuerpo humano en una actividad sedentaria y con una ropa ligera. Dicho lo cual, el comportamiento higrotérmico de los cerramientos es la capacidad que tienen los cerramientos de proporcionar un confort térmico al espacio interior.

Por último, el reglamento introduce el concepto de permeabilidad de aire de los cerramientos (Figura 1.15.), entendiendo permeable como la capacidad de poder ser penetrado o traspasado por el agua u

Tabla 1

Tipo de energía para calefacción	Factor de forma f (m ⁻¹)	Zona climática según Mapa 1 (art. 13.º)				
		A	B	C	D	E
Caso I Combustibles sólidos, líquidos o gaseosos	≤ 0,25	2,10 (2,45)	1,61 (1,85)	1,40 (1,61)	1,26 (1,47)	1,19 (1,40)
	≥ 1,00	1,20 (1,40)	0,92 (1,08)	0,80 (0,92)	0,72 (0,84)	0,68 (0,80)
Caso II Edificios sin calefacción o calefactados con energía eléctrica directa por efecto Joule	≤ 0,25	2,10 (2,45)	1,40 (1,61)	1,05 (1,19)	0,91 (1,05)	0,77 (0,91)
	≥ 1,00	1,20 (1,40)	0,80 (0,92)	0,60 (0,68)	0,52 (0,60)	0,45 (0,52)

Valor límite máximo de Ka en kcal/h m² °C (W/m² °C).

Figura 1.16.

Tabla 1.

Fuente: NBE-CT-79

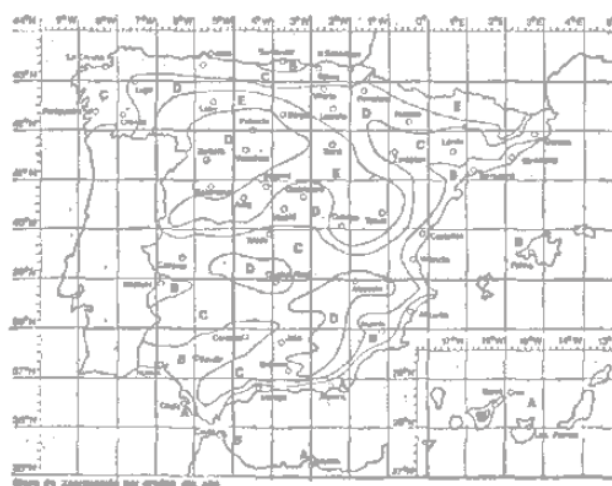


Figura 1.17.

Mapa 1.

Fuente: NBE-CT-79

Tabla 1 bis

Tipo de energía para calefacción	Zona climática según Mapa 1 (art. 13.º)				
	A	B	C	D	E
Caso I Combustibles sólidos, líquidos o gaseosos	0,30 (0,35)	0,23 (0,27)	0,20 (0,23)	0,18 (0,21)	0,17 (0,20)
Caso II Edificios sin calefacción o calefactados con energía eléctrica directa por efecto Joule	0,30 (0,35)	0,20 (0,23)	0,15 (0,17)	0,13 (0,15)	0,11 (0,13)

Coefficiente a en kcal/h m² °C (W/m² °C)

Figura 1.18.

Tabla 1 bis.

Fuente: NBE-CT-79

otro fluido⁵. Podemos decir que con este apartado se pretendía limitar la cantidad de aire que podría atravesar los cerramientos de un edificio, principalmente en los huecos.

Para poder determinar el valor KG que se aplica a cada edificio se debía considerar el factor de forma del edificio, la zona climática (Figura 1.17.) en la que se encuentra y el tipo de combustible utilizado en los sistemas de climatización. Todos estos datos se introducían en la tabla 1 de la Norma (Figura 1.16.). Una vez introducidos, se obtiene el valor de KG en Kcal/hm²°C (W/m²°C). Este dato equivale a la demanda de energía que tendrá el edificio.

Los valores que nos aporta esta tabla determinan KG para un factor de forma mayor de 1 o menor que 0.25, si queremos obtener KG para factores de forma distintos a este, debemos de aplicar la siguiente fórmula:

$$KG = a(3 + \frac{1}{f})$$

Siendo f el factor de forma y a un coeficiente obtenido de la tabla 1 bis (Figura 1.18.). Mientras que el factor de forma se obtiene de relacionar la superficie de envolvente con el volumen envuelto.

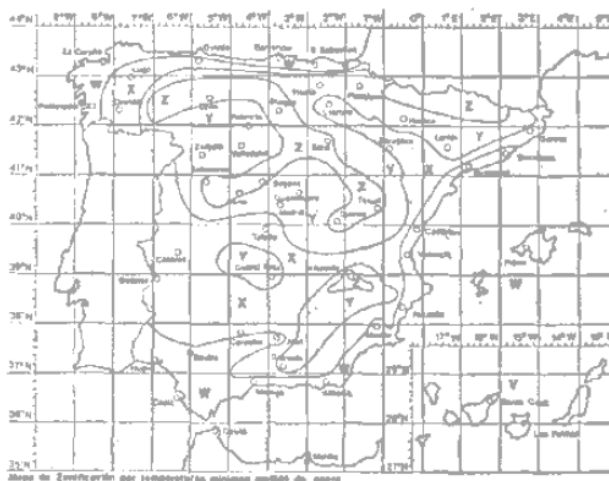
$$Factor\ de\ forma = \frac{Superficie}{Volumen}$$

El coeficiente K limita los valores de transmitancia térmica máximos que pueden tener los cerramientos. Este valor viene determinado por la tabla en la cual se establece la conductividad de los materiales (Figura 1.20.), en la cual se dividen los cerramientos en dos apartados.

- Cerramientos exteriores: considerados todos los cerramientos que están en contacto con el ambiente exterior.
- Cerramientos con locales no calefactados: todos aquellos elementos que sirvan de límite entre un espacio calefactado y otro sin instalaciones térmicas.

A la hora de conseguir este coeficiente se realiza mediante un método más sencillo que el utilizado para calcular el coeficiente KG, ya que este está determinado tan solo por el tipo de cerramiento y la zona climática (Figura 1.19.) en la cual se sitúa el edificio. Con el objetivo de ayudar a localizar la zona a la que pertenece la localidad en la cual se sitúa el edificio, para ello la normativa establece una tabla con las principales localidades de cada provincia y la zona climática a la que pertenece (Figura 1.20.). Estos valores son introducidos en una tabla aportada por la norma (Figura 1.21.) a través de la cual obtenemos los datos del coeficiente K, en función de la zona climática y el tipo de cerramiento.

⁵ Española, R. A. (s.f.). Diccionario de la lengua española. Obtenido de <https://dle.rae.es/>



Fuente: NBE-CT-79

[illegible]

Fuente: NBE-CT-79

Los valores obtenidos a través de la tabla están mostrados en Kcal/hm²°C (W/m²°C). Para comprobar si se cumple este coeficiente se debe de obtener el valor K del conjunto del cerramiento, para ello la norma establece unos valores base para los materiales más utilizados en la arquitectura.

Podemos ver especificadas las condiciones higrotérmicas en los artículos correspondientes entre el 6° y el 16°. En estos artículos se determinan las diferentes condiciones que deben cumplir los edificios para obtener un confort térmico adecuado.

Para ello la primera condición que se impone es que los cerramientos estén contruidos adecuadamente, de forma que no aparezcan humedades. No se establece ninguna limitación, sino que es responsabilidad del proyectista asegurar que esto no suceda.

Por otra parte, el comportamiento térmico de los cerramientos no es igual en condiciones térmicas diferentes, es decir, este comportamiento depende de las condiciones ambientales y de temperatura tanto del exterior como del interior. Por ello se deberá tener en cuenta las temperaturas de uso de los locales, la superficie interior de los cerramientos y su humedad relativa.

La temperatura interior viene determinada por la normativa la cual determina esta temperatura dependiendo del uso que se vaya a desarrollar en el interior. Esta misma temperatura fija la temperatura superficial de los cerramientos, ya que estos no pueden tener una diferencia de temperatura mayor a 4°C respecto a la temperatura medida en el centro de la estancia.

De la misma forma se limita un valor para la humedad relativa del ambiente interior, el cual será del 75% para el conjunto de los espacios y de hasta un 85% para las zonas húmedas como baños y cocinas. Teniendo que cumplir estas condiciones para los casos más desfavorables.

Como ya hemos nombrado anteriormente, esta norma solo hace referencia a los aspectos más desfavorables referidos al invierno. Esto provoca que, en las condiciones ambientales exteriores, solo se tenga en cuenta la temperatura mínima media del mes de enero, la temperatura del terreno y la humedad del terreno. Realizando el estudio de Grados/día con base 15-15 se establecen cinco zonas climáticas diferentes, obteniendo la distribución observada en el mapa 1. Confeccionado este Mapa con una estimación de grados/días anuales de 15°C durante 15 días. De la misma forma se realiza otra clasificación adaptándose a las temperaturas mínimas medias del mes de enero en al cual se determina la zona climática a la que pertenece a través de este dato climático, obteniendo de esta forma el Mapa 2. Para facilitar la aplicación de estas divisiones se ofrece un listado de las principales localidades de cada comunidad, identificando en que zona climática se encuentra.

La humedad relativa exterior viene relacionada con las temperaturas dadas en el artículo 13°, al igual que se establece un límite a la humedad relativa exterior, el cual nunca se debe de considerar superiores al 95%.

Tabla 2

Tipo de cerramiento		Zona climática según Mapa 2 (art. 11.º)			
		Y y W	X	Y	Z
Cerramientos exteriores	Cubiertas	1,20 (1,40)	1,63 (1,20)	0,77 (0,90)	0,60 (0,70)
	Fachadas ligeras (< 200 kg/m²)	1,03 (1,20)	1,03 (1,20)	1,03 (1,20)	1,03 (1,20)
	Fachadas pesadas (> 200 kg/m²)	1,55 (1,80)	1,38 (1,60)	1,20 (1,40)	1,20 (1,40)
	Forjados sobre espacio abierto	0,86 (1,00)	0,77 (0,90)	0,89 (0,80)	0,60 (0,70)
Cerramientos con locales no calefactados	Paredes, Suelos o techos	1,72 (2,00)	1,55 (1,90)	1,38 (1,50)	1,38 (1,90)
	— (—)	— (—)	1,20 (1,40)	1,03 (1,20)	1,03 (1,20)

Valores máximos de K en kcal/m² °C (W/m² °C)

Figura 1.21.

Tabla 2.

Fuente: NBE-CT-79

Material	Densidad aparente kg/m³	Conductividad térmica λ kcal/hm °C (W/m °C)	Material	Densidad aparente kg/m³	Conductividad térmica λ kcal/hm °C (W/m °C)
— Hormigón en masa con grava normal:			— Lana mineral:		
• con áridos ligeros	1800	0,63 (0,73)	• Tipo I	30-50	0,036 (0,042)
• con áridos ordinarios, sin vibrar	2000	1,00 (1,16)	• Tipo II	51-70	0,034 (0,040)
• con áridos ordinarios, vibrado	2400	1,40 (1,63)	• Tipo III	71-90	0,033 (0,038)
— Hormigón en masa con arcilla expandida	500	0,10 (0,12)	• Tipo IV	91-120	0,033 (0,038)
Hormigón en masa con arcilla expandida	1500	0,47 (0,55)	• Tipo V	121-150	0,033 (0,038)
Fábrica de bloques de hormigón huecos juntas (1)			— Perla expandida	130	0,040 (0,047)
— Con ladrillos silicoaluminosos macizo	1800	0,68 (0,79)	— Poliestireno expandido UNE 53.310:		
— Con ladrillos silicoaluminosos perforado	2500	0,48 (0,56)	• Tipo I	10	0,049 (0,057)
— Con bloques huecos de hormigón	1000	0,38 (0,44)	• Tipo II	12	0,039 (0,044)
Con bloques huecos de hormigón	1200	0,42 (0,49)	• Tipo III	15	0,032 (0,037)
Con bloques huecos de hormigón	1400	0,48 (0,56)	• Tipo IV	20	0,029 (0,034)
— Con bloques hormigón celular curado vapor	800	0,30 (0,35)	• Tipo V	25	0,026 (0,031)
Con bloques hormigón celular curado vapor	800	0,35 (0,41)	— Poliuretano extrusionado	33	0,026 (0,031)
Con bloques hormigón celular curado aire	1000	0,40 (0,47)	— Poliuretano reticulado	30	0,033 (0,038)
Con bloques hormigón celular curado aire	800	0,38 (0,44)	— Poliolefinas, espuma de	35	0,022 (0,026)
Con bloques hormigón celular curado aire	1000	0,46 (0,56)	— Poliuretano conformado, espuma de		
Con bloques hormigón celular curado aire	1200	0,80 (0,70)	• Tipo I	32	0,020 (0,023)
Placas o paneles			• Tipo II	35	0,020 (0,023)
— Carbon-yeso	900	0,16 (0,18)	• Tipo III	40	0,020 (0,023)
— Hormigón con fibra de madera	450	0,07 (0,08)	• Tipo IV	80	0,034 (0,040)
— Placas de escayola	800	0,26 (0,30)	— Urea formal, espuma de	10-12	0,029 (0,034)
LADRILLOS Y PLACUETAS			— Urea formal, espuma de	12-14	0,030 (0,035)
— Fábrica de ladrillo macizo	1800	0,75 (0,87)	(1) Los densímetros se refieren al bloque, no a la fábrica.		
Fábrica de ladrillo perforado	1600	0,65 (0,76)	(2) Véase lista de resistencias térmicas.		
Fábrica de ladrillo hueco	1200	0,42 (0,49)			
— Placuetas	2000	0,50 (1,03)			
VIDRIO (2)					
— Vidrio plano para acristala	2500	0,82 (0,95)			
METALES					
— Fundición y acero	7850	50 (58)			
— Cobre	8900	3,90 (3,94)			
— Bronce	8500	55 (64)			
— Aluminio	2700	175 (204)			
MADERA					
— Maderas frondosas	800	0,18 (0,21)			
— Maderas de coníferas	600	0,12 (0,14)			
— Contrachapado	600	0,12 (0,14)			
— Tablero aglomerado de partículas	650	0,07 (0,08)			
PLÁSTICOS Y REVESTIMIENTOS DE SUELOS					
— Linóleo	1200	0,16 (0,19)			
— Moquetas, alfombras	1600	0,04 (0,05)			
MATERIALES BITUMINOSOS					
— Asfalto	2100	0,60 (0,70)			
— Betún	1050	0,15 (0,17)			
— Láminas bituminosas	1100	0,16 (0,19)			
MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS					
— Arcilla expandida	300	0,073 (0,085)			
— Arcilla expandida	450	0,098 (0,114)			
— Aglomerado de corcho UNE 6.690	110	0,034 (0,039)			
— Espuma elastomérica	60	0,029 (0,034)			
— Fibra de vidrio:					
• Tipo I	10-18	0,038 (0,044)			
• Tipo II	19-30	0,052 (0,037)			
• Tipo III	31-45	0,029 (0,034)			
• Tipo IV	46-65	0,029 (0,033)			
• Tipo V	66-90	0,028 (0,038)			
• Tipo VI	91	0,031 (0,089)			

Figura 1.22.

Listado de los principales municipios de cada provincia, señalando las zonas climáticas donde se ubican.

Fuente: NBE-CT-79

Estos datos, pueden llegar a ser modificados, siempre y cuando se tenga constancia de la existencia de un microclima del cual se tenga datos de al menos 10 años, siendo así justificables en el proyecto.

Respecto a la elección de los materiales, el reglamento establece unos valores medios entorno a los cuales se deben de encontrar el material seleccionado, con el objetivo de dar una guía que facilite el trabajo de elección de los materiales. Dentro de estos valores podemos encontrar los valores de: conductividad térmica de los materiales y permeabilidad al vapor de agua. Estas dos características vienen determinadas en dos anexos diferenciados.

Respecto a la conductividad térmica, en el apartado 2.7 del anexo 2, se aporta una tabla (Figura 1.22.) en la cual se establecen valores para algunos de los materiales más utilizados en las diferentes soluciones constructivas. Entre ellas cabe destacar el apartado correspondiente a los materiales aislantes.

De la misma forma en el apartado 2.8 se dan valores de resistencias térmicas para elementos constructivos. Es decir, para diferentes soluciones constructivas. Estos valores se aportan dentro del Anexo 2, ya que son estrictamente necesarios para poder calcular el coeficiente K de los cerramientos.

Respecto a la permeabilidad al vapor de agua, en el apartado 4.10 se aporta los datos de resistencias y resistencia al vapor de agua de una serie de materiales (Figura 1.23.), valor inverso a la permeabilidad. Estos datos se incluyen en el Anexo 4, ya que son necesarios para establecer el cumplimiento de las limitaciones de las condiciones higrotérmicas que hacen referencias a las condensaciones en cerramientos.

Se determina la permeabilidad de aire, dependiendo de la zona climática en la que se encuentre, determinando dos tipos de carpinterías. Determinada en el punto 1.29 del Anexo 1 de la norma (Figura 1.24.). En dicho apartado define que la permeabilidad al aire, es la propiedad de un elemento a dejar pasar el aire cuando este se encuentra sometido a una diferencia de presión. Estableciendo una clasificación según un gráfico logarítmico, en el cual se compara la permeabilidad referida a superficie total del hueco practicable y la diferencia de presión.

Estableciendo que las zonas A y B deberán de tener unas carpinterías Clase A-1 y las zonas C, D y E unas carpinterías Clase A-2.

En conclusión, podemos decir que a la hora de aplicar esta normativa en unos edificios de nueva planta se debía de cumplir cuatro cuestiones básicas:

- La transmisión global de calor a través del conjunto del cerramiento, definida por su coeficiente KG. Este valor podemos decir que limitaba el consumo de energía que debía de consumir el edificio para tener unas condiciones de confort térmico en invierno. Lo cual dependía del factor de

Tabla 4.2 Resistividades al vapor de agua

Material	Resistividad al vapor μ (1)	
	MM a/g m	mmHg m ² dia/g cm
Aire en reposo (cámaras)	5,5	0,004
Aire en movimiento (cámaras ventiladas)	0	0
Fábrica de ladrillo macizo	55	0,048
Fábrica de ladrillo perforado	36	0,031
Fábrica de ladrillo hueco	30	0,026
Fábrica de piedra natural	150-450	0,13-0,39
Enlucados y revocos	100	0,087
Enlucados de yeso	60	0,052
Placas de amianto-cemento	1,6-3,5	0,001-0,003
Hormigón con áridos normales o ligeros	30-100	0,026-0,086
Hormigón aireado con espumantes	20	0,017
Hormigón celular curado al vapor	77	0,06
Madera	45-75	0,039-0,065
Tablero aglomerado de partículas	15-80	0,013-0,052
Contrachapado de madera	1500-5000	1,30-5,20
Hormigón con fibra de madera	15-40	0,013-0,035
Cartón-yeso, en placas	45-60	0,039-0,052
ASLANTES TÉRMICOS		
Aglomerado de gorchó UNE 56.904	92	0,08
Espuma elastomérica	48000	41,6
Fibra de vidrio (2)	9	0,007
Lana mineral: Tipos I y II	9,6	0,008
Tipos III, IV y V	10,5	0,009
Perla expandida	0	0
Poliestireno expandido UNE 53.310:		
Tipo I	138	0,12
Tipo II	161	0,14
Tipo III	173	0,15
Tipo IV	207	0,18
Tipo V	253	0,22
Poliestireno extrusionado	523-1047	0,45-0,90
Poliuretano reticulado	9600	8,33
Polisocianurato, espuma de	77	0,06
Poliuretano aplicado <i>in situ</i> , espuma de:		
Tipo I	96	0,083
Tipo II	127	0,111
Tipo III	161	0,142
Tipo IV	184	0,166
Poliuretano aplicado <i>in situ</i> , espuma de:		
Tipo I	76	0,065
Tipo II	82	0,071
Urea formaldehído, espuma de	20-30	0,017-0,026

(1) Es el inverso de la permeabilidad al vapor de.

(2) Cualquier tipo sin incluir protecciones adicionales que puedan constituir barrera de vapor.

Tabla 4.2 Resistencias al vapor de agua

Materiales en forma de lámina (1)	Resistencia al vapor (2)	
	MM a/g	mmHg m ² dia/g
Hoja de aluminio de 8 micras	4000	347
Lamina de polietileno de 0,05 mm	103	9
Lamina de polietileno de 0,10 mm	230	20
Lamina de poliéster de 25 micras	24	2,08
Papel Kraft con oxestato	9,7	0,84
Papel Kraft	0,43	0,037
Pintura al camello	7,5-40	0,65-3,48
Papel vinílico de revestimiento	5-10	0,43-0,86

(1) Pueden considerarse como barreras de vapor aquellos materiales laminados cuya resistencia al vapor está comprendida entre 50 y 230 MM a/g (0,86 y 20 mmHg m² dia/g).

(2) Es el inverso de la permeancia al vapor.

Figura 1.23.

Tabla 4.2.

Fuente: NBE-CT-79

forma, el combustible utilizado y el emplazamiento en el que se encuentra. Para poder justificar el cumplimiento de este coeficiente se aportaba una ficha que cumplimentándola aportaba los datos necesarios para visualizar su cumplimiento o no.

La transmisión de calor a través de cada uno de los elementos que forman el cerramiento, definida por sus coeficientes K. Este valor limita la transmitancia térmica de las diferentes soluciones constructivas de los diferentes cerramientos. Haciendo cumplir de esta forma una doble restricción, por una parte, debe de cumplir una transmisión común al conjunto del edificio y por otra una transmisión particular de cada cerramiento.

- El comportamiento higrotérmico de los cerramientos. Marcando unas condiciones mínimas con respecto a la temperatura y condensación interior del espacio habitable.
- La permeabilidad al aire de los cerramientos. Limitando la entrada de aire a través de los huecos.

Con el objetivo de realizar un estudio en el cual poder comparar la situación antes de la entrada en vigor de la norma y después de la norma, realizamos los cálculos necesarios para comprobar si cumple las condiciones impuestas por la misma.

Debido a que vamos a trabajar con un caso ficticio y no tenemos el factor de forma ni el combustible a utilizar, no se podrá calcular el coeficiente KG. Por ello calcularemos simplemente la limitación establecida por el coeficiente K. Estimamos dos soluciones distintas, situadas ambas en la ciudad de Zaragoza correspondiente a la zona climática X.

1. Solución sin aislamiento: Compuesta por ladrillo perforado cara vista, cámara de aire de 4 cm y ladrillo hueco.
2. Solución con aislamiento: Compuesta por ladrillo perforado cara vista, cámara de aire de 2cm aislamiento de lana de roca de 2 cm y ladrillo hueco.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA
	KCAL/HM2°C	W/M2°C
LADRILLO PERFORADO	0.65	0.76
CAMARA DE AIRE	0.19	0.16
LADRILLO HUECO DOBLE	0.42	0.49
LANA DE ROCA	0.033	0.038

Tabla 1. Conductividad térmica de los materiales.

Fuente: Elaboración propia.

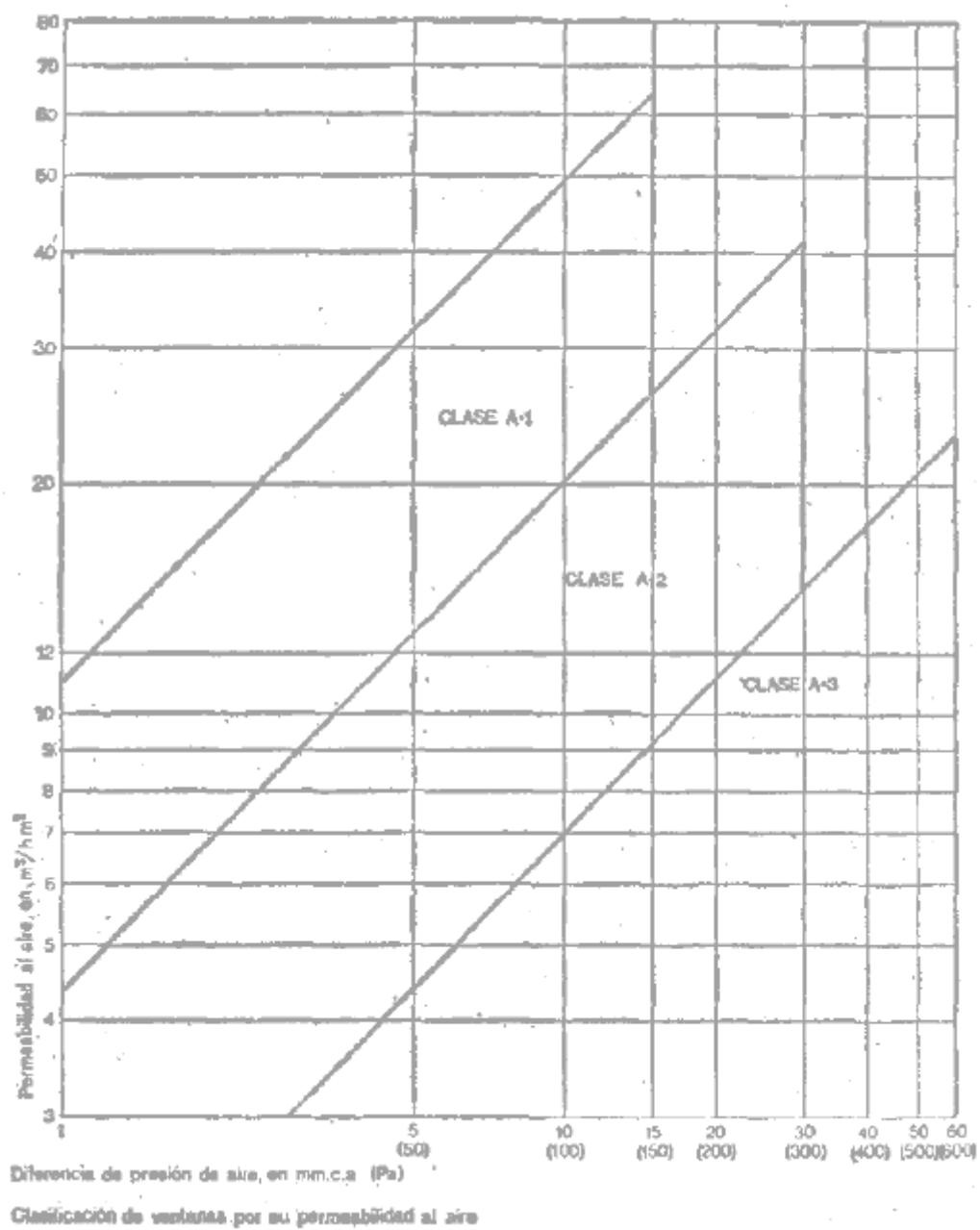


Figura 1.24.

Clasificación de ventanas por su permeabilidad al aire.

Fuente: NBE-CT-79

Considerando que estas soluciones construyen una fachada pesada (>200 kg/m²), la cual estando en la zona climática X, obtenemos unos valores máximos de K=1.38 (1.60) Kcal/hm²°C (W/m²°C).

Determinando la posición y sentido del flujo de calor, siendo un cerramiento vertical o con pendiente sobre la horizontal > 60° y flujo horizontal y el cerramiento separando un espacio calefactado con un espacio exterior.

Para obtener el valor del coeficiente K, es necesario aplicar la siguiente formula.

$$\frac{1}{K} = \sum \frac{L}{\lambda} + \left(\frac{1}{hc} + \frac{1}{Hi} \right)$$

	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2
<i>1/Hi</i>	0.13	0.13
<i>1/Hc</i>	0.07	0.07
<i>1/Hi+1/Hc</i>	0.20	0.20
<i>L/Λ LADRILLO PERFORADO</i>	0.115/0.65=0.177	0.115/0.65=0.177
<i>L/Λ CÁMARA DE AIRE</i>	0.04/0.21=0.190	0.04/0.21=0.190
<i>LADRILLO HUECO</i>	0.04/0.42=0.095	0.04/0.42=0.095
<i>L/Λ LANA DE ROCA</i>	No hay	0.02/0.033=0.606
<i>RESULTADO 1/K</i>	0.662	1.340
<i>K (KCAL/HM²°C)</i>	1.51	0.74
<i>VALOR DE LA NORMA</i>	1.38	1.38
<i>CUMPLIMIENTO DE LA NORMA</i>	No	SI

Tabla 2. Comprobación cumplimiento de la norma por las soluciones propuestas.

Fuente: Elaboración propia.

Este ejemplo nos permite entender como afecto la normativa a la arquitectura, modificando de esta forma la forma de construir de los nuevos edificios, lo que conlleva una mejora en la calidad del espacio interior de los nuevos edificios. Mejorando de esta forma el confort térmico de los espacios interiores de los nuevos edificios. Observando el ejemplo podemos detectar que para poder cumplir con las demandas de la nueva normativa se debe de incorporar 2 cm de material aislante, como puede ser la lana de roca.

Este resultado corresponde a un cálculo aproximado, ya que para realizarlo hemos tenido en cuenta unos valores bastante favorables. De forma que el resultado de este cálculo nos da el valor mínimo de aislamiento térmico, teniendo que ser generalmente superior. Si al cálculo realizamos le añadimos un estudio de las construcciones realizadas cumpliendo esta norma, podemos decir que por regla general el espesor de aislamiento térmico utilizado era de 4 cm.

2. Aislamientos actuales

2.1. Construcción moderna

Tras la aplicación de la primera norma que establecía una obligación de utilizar un material aislante dentro de la construcción de los nuevos edificios, se desarrollaron nuevas formas de construir, con una tendencia clara de aprovechar de forma óptima las propiedades de resistencia térmica de los materiales aislantes, tendiendo a reducir de una forma muy considerable los espesores de los cerramientos.

Estas nuevas formas de construir estaban condicionadas por otra serie de factores. Si nos situamos en el contexto histórico de la España de 1979, nos encontramos con una situación de transición tras unas duras décadas de dictadura. Esto obligó a realizar un proceso de cambio, modernización e industrialización de la economía y de la sociedad. Este cambio, produjo una mudanza, de los pequeños pueblos de la España interior a las ciudades más desarrolladas, generándose así una gran demanda de vivienda en un espacio de tiempo muy corto. Esta evolución ya había comenzado años antes de la aparición de la Norma, y en parte es el motivador principal de dicha norma, ya que de alguna forma se debía de controlar las edificaciones dando respuesta a esa gran demanda. Esto es debido a que cuando se produce gran demanda el objetivo es responder a ello, para ello se intenta acortar los periodos de construcción lo que hace que se deje de lado la calidad. Por lo que norma supuso un cambio muy notable en la forma de construir. Ya que por primera vez en España se ponía límite a los métodos de edificación en los cuales se incluyen la obligación de introducir un material nuevo como es el aislamiento térmico. Esto llevó a la necesidad de evolucionar la construcción llegando al punto en el que nos encontramos en la actualidad.

Si centramos en el contexto histórico de Europa, no nos encontramos una situación muy diferente. Ya que en 1945 finalizó la Segunda Guerra mundial. Tras la guerra, Europa estaba destruida, por lo que debía realizarse un intenso trabajo en la reconstrucción de los edificios. Sin embargo, esta reconstrucción no se realizaría de la misma forma en la que se había construido a lo largo de los años. Esto es debido a que durante la Segunda Guerra mundial se había conseguido desarrollar la industria en unos términos y en un tiempo record. Cuestión de la que se aprovechó el conjunto de la sociedad y

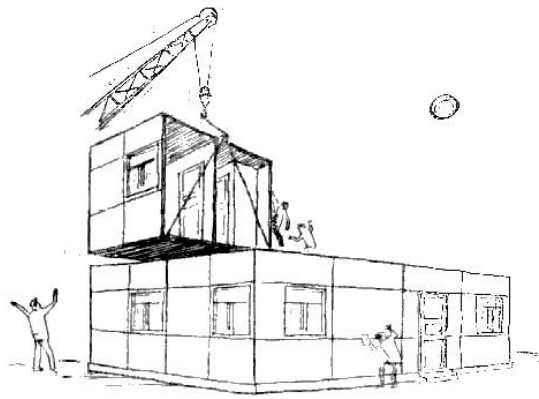


Figura 2.1.

Construcción prefabricada mediante módulos espaciales

Fuente: La evolución de la industria de la construcción.

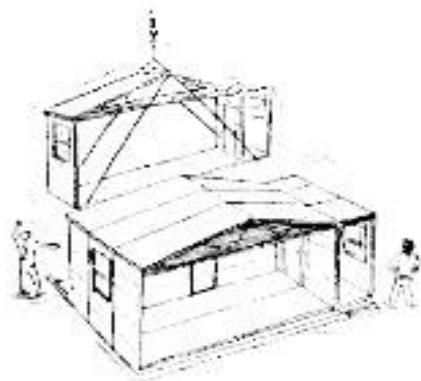


Figura 2.2.

Construcción prefabricada mediante rebanadas

Fuente: La evolución de la industria de la construcción.

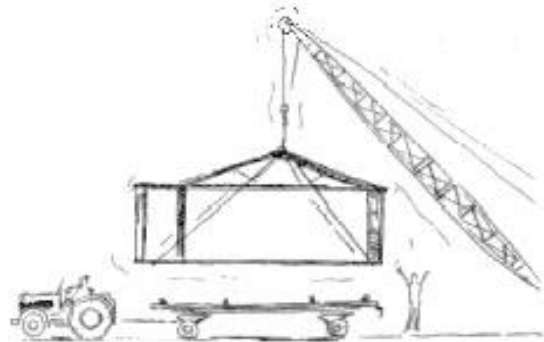


Figura 2.3.

Transporte de módulos rebanada

Fuente: La evolución de la industria de la construcción.

muy especialmente la arquitectura. Esto es debido a que se desarrollaron materiales y técnicas muy novedosas que revolucionaron la forma de construir.

Esta evolución constructiva desarrollada tras la denominada segunda revolución industrial, se centró principalmente en la búsqueda de unas soluciones prefabricadas, o modulares de los edificios modernos. Esta evolución fue analizada en el artículo: La evolución de la industria de la construcción⁶.

Por lo que sintetizando podríamos hablar de la construcción prefabricada, consistiendo en trasladar el proceso de construcción a la industria, quedando únicamente el proceso de ensamblaje en obra. Por otro lado, podemos encontrar la construcción tradicional evolucionada, consistiendo en adaptar la construcción realizada hasta el momento a las nuevas técnicas y materiales.

Sistema prefabricado.

Este sistema procede de las industrias aeronáuticas, de vehículos militares y de material ferroviario, proporcionando viviendas realizadas con materiales muy utilizados por estas industrias. La principal novedad era la forma de diseñar las viviendas, adaptándose a las necesidades de cada familia, encajando diferentes módulos espaciales (Figura 2.1.), es decir fragmentando la vivienda en las diferentes estancias posibles, proporcionando así una gran variedad de combinaciones, simplemente eligiendo los módulos adecuados y uniéndolos de una forma adecuada.

Las ventajas de este tipo de construcciones eran que resultaban fáciles y rápidas de organizar y construir. Dividiéndose en módulos rebanada (Figura 2.2.), en los cuales a través de la unión de varias rebanadas daba lugar a habitaciones o viviendas más o menos espaciales dependiendo de sus combinaciones, limitándose con estas rebanadas la dificultad de su transporte (Figura 2.3.). Estos módulos podrían estar formados por diferentes soluciones constructivas. Las más desarrolladas son: el panel ligero y el panel de hormigón.

El panel ligero surgió por la necesidad de dar salida al exceso de materiales metálicos, que se estaban generando y tras la guerra no tenían demanda para ser utilizados. Estos materiales habían evolucionado mucho en el periodo de Guerras, llegando a una tecnificación muy elevada. Se desarrolló un sistema que podemos asemejar con un mecano (Figura 2.4), es decir, la realización de una estructura ligera y unos paneles sándwich de chapa delgada, de aluminio ondulado. En la parte interna de este

⁶ Nadal, J. (1965). La evolución de la industria de la construcción. Informes de la Construcción Vol. 18, nº178.

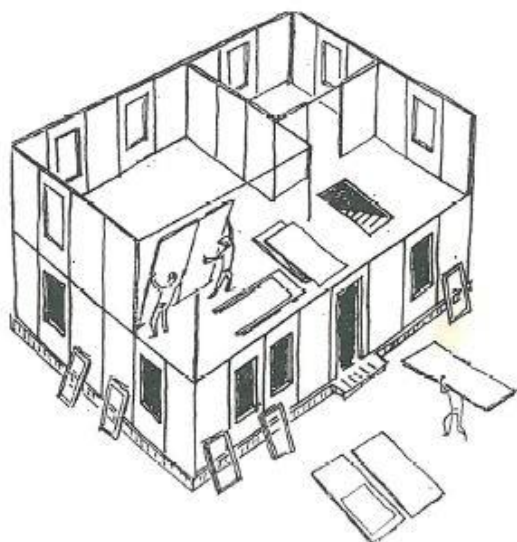


Figura 2.4.

Ensamblaje de paneles prefabricados.

Fuente: La evolución de la industria de la construcción.



Figura 2.5.

Panel ligero, tipo sándwich.

Fuente: Tectónica nº 2 Envolventes (I).



Figura 2.6.

Panel pesado de hormigón prefabricado.

Fuente: Tectónica, Materiales.

sándwich (Figura 2.5.) se encontraba el material aislante, el cual debía de tener una característica determinada, con el objetivo de tener una rigidez que le permitiera generar grandes paneles rígidos, ya que la chapa era tan fina que no permitía otorgarle esta rigidez. Esto permitía generar módulos precisos, económicos y fáciles de transportar y ensamblar. Lo cual le proporcionaron un gran auge en la construcción de postguerra.

Con el auge de los sistemas modulares, surgieron nuevas industrias que transformaron la construcción tradicional de hormigón en una construcción prefabricada, y así surgió el **panel de hormigón** (Figura 2.6.), creando toda una industria de hormigón prefabricado en taller. Este tipo de prefabricados tenían un problema principal, el elevado peso de estas piezas que dificultaba de una forma notable el transporte y montaje de este sistema. Esto obligó a reducir el tamaño de los mismos, realizando dos líneas constructivas, la formada por prefabricado pesado y la formada por prefabricación ligera. El límite entre una y otra ha ido variando conforme se iba avanzando en la capacidad de transporte y elevación de piezas por medio de maquinaria. La ventaja de estos paneles es que no era necesaria una estructura, ya que estos paneles eran resistentes estructuralmente, lo cual ayudó a la hora de elegir el tipo de aislamiento a utilizar, ya que no era necesario que tuvieran una rigidez elevada.

Sistema tradicional evolucionado.

Las soluciones comentadas anteriormente buscaban economizar la mano de obra especializada y dar rapidez a las construcciones, pero esto no se llegó a conseguir, por lo que se decidió evolucionar los sistemas tradicionales con el fin de aprovechar los materiales disponibles, incluyendo el escombros, encaminando la construcción hacia la industrialización de los materiales pétreos.

Buscando por una parte producir elementos de forjado horizontales, cubierta, escaleras, voladizos, bloques sanitarios, carpinterías y otros productos (Figura 2.7.), de una forma industrializada, con el objetivo de economizar la mano de obra y reducir el tiempo de construcción.

Por otra parte, se buscaba la mecanización de las obras, generando nuevos sistemas de organización de operaciones, reduciendo al mínimo los tiempos perdidos. Este sistema fue más exitoso debido a que estas edificaciones eran más similares a las construcciones tradicionales. Esto hacía que la gente la aceptara de una forma óptima, lo que hizo que se desarrollara más, generando nuevos materiales prefabricados que se incorporaban a la construcción. Esto permitió una construcción basada en la unión de pequeñas piezas prefabricadas, otorgando esto mayor libertad proyectual, permitiendo mayor variedad de formas y distribuciones espaciales.

Figura 2.7.
Materiales de sistemas tradicionales.
Fuente: Guías técnicas ANDECE.



En este proceso de industrialización y de optimización de los procesos constructivos se enclava la generación de la NBE-CT-79. Y sobre los cuales deben de incorporarse materiales aislantes que deben de responder a la necesidad de generar una vivienda con unas determinadas condiciones de confort térmico.

Esto llevó al desarrollo los materiales aislantes que se adaptaran a los diferentes tipos de construcción, modificando los formatos y características de los mismos. Con la misión de hacer más fácil la incorporación de estos materiales a los sistemas constructivos, sino que estos se adaptaran a los sistemas ya utilizados anteriormente.

Figura 2.8.
CTE-2006, DB-HE.

Fuente:

<http://www.coatpalencia.org/documentos/CTE.pdf>

Documento Básico **HE**

Ahorro de energía

- HE 1 Limitación de demanda energética
- HE 2 Rendimiento de las instalaciones térmicas
- HE 3 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación
- HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria
- HE 5 Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

Marzo 2006

2.2. CTE-2006

Con el paso de los años la construcción, los materiales y técnicas usados en la edificación evolucionaron, sin embargo, la normativa que regulaba la generación de nuevos edificios no variaba y estaba enclavada en la normativa aprobada en el año 1979. Pero no solo habían evolucionado estos aspectos, también lo hicieron los conocimientos que la sociedad tenía sobre los aspectos positivos que conllevaba la incorporación de aislamiento térmico en los edificios, y cómo esto conllevaba un ahorro en el gasto de energía necesaria para conseguir la temperatura de confort.

Estos avances llevaron a un abaratamiento del precio de construcción que unido a la prosperidad económica favoreció un aumento de demanda de viviendas, lo que conllevó un deseo de construir el mayor número de vivienda con el menor coste posible. Lo que produjo que durante el periodo anterior a la aplicación del CTE del 2006 se construyeran edificios con unas calidades no siempre acordes al nivel de exigencia de la sociedad, generando la necesidad de una nueva norma que actualizara la ya anticuada NBE-CT-79.

“Ante la creciente demanda de calidad por parte de la sociedad, la Ley establece los requisitos básicos que deben satisfacer los edificios de tal forma que la garantía para proteger a los usuarios se asiente no sólo en los requisitos técnicos de lo construido sino también en el establecimiento de un seguro de daños o de caución. Estos requisitos abarcan tanto los aspectos de funcionalidad y de seguridad de los edificios como aquellos referentes a la habitabilidad.”

Ley 38/1999 - LOE

En este contexto aparece el Código Técnico de la Edificación (CTE), el cual recoge y actualiza toda la normativa que hace referencia a la edificación. Esta norma se divide en diferentes Documentos Básicos (DB), clasificándolos según a qué aspecto hacen referencia. En este trabajo nos interesa especialmente el Documento Básico que hace referencia a las condiciones de confort interior y ahorro de energía, recogidos en el DB-HE.

Podemos resumir que las principales novedades que introdujo la nueva norma con respecto al ahorro de energía corresponden a la forma de calcular la transmitancia térmica, lo cual implica un cambio en

los valores límite de cada uno de los cerramientos. Con este cambio en la normativa se introdujo la obligatoriedad de aumentar el espesor de los materiales aislantes. Por lo que si la aplicación de la NBE-CT-79, supuso un gran cambio en el confort interior de los edificios, esta actualización llevó a un cambio similar.

El cambio de norma en 1979 afectó al bienestar interior de los edificios ya que evitaba la sensación de paredes frías, mejorando así el acondicionamiento interior. Sin embargo, la entrada en vigor del CTE supuso un cambio en cuanto ahorro energético, ya que en este momento ya no existía el problema de discomfort térmico debido al efecto paredes frías, por lo que el objetivo en este momento era reducir la cantidad de energía perdida a través de los cerramientos exteriores, consiguiendo así ahorrar energía en el proceso de obtención y mantenimiento las temperaturas de confort.

Esto fue notado por los usuarios de las viviendas, en el ahorro en la factura de energía destinada a elementos de climatización, sin embargo, indirectamente afecta al medio ambiente, cuyo efecto no lo percibimos a simple vista. Este cambio es debido a que al ahorra energía, se reduce la cantidad de material contaminante emitido al medio.

La aprobación de esta nueva norma se realizó mediante el Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, este documento ha sido actualizado en diferentes ocasiones con el objetivo de mejorar la calidad de las construcciones de nueva planta y adaptarse a las nuevas formas de construir y los nuevos pensamientos de la sociedad moderna, orientándose hacia una sostenibilidad de los edificios y un especial cuidado del medio que nos rodea.

Tal y como hemos comentado anteriormente, esta norma recoge en sí misma todos los aspectos que hacen referencia a la construcción, interesándonos especialmente el documento básico referido al ahorro de energía, el cual mediante sus diferentes actualizaciones ha establecido valores cada vez más restrictivos en cuanto al consumo de energía. Por ello, vamos a estudiar de una forma más exhaustiva el documento aprobado en el año 2006, lo que nos permitirá entender más tarde, de una forma más sencilla el proceso de evolución que ha llevado este documento.

Este documento básico se divide en cinco apartados, haciendo referencia cada uno a aspectos muy concretos.

- HE-1: Limitación de demanda energética.
- HE-2: Rendimiento de las instalaciones térmicas.

- HE-3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.
- HE-4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- HE-5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

Viendo en los apartados en los cuales se divide el documento básico podemos decir que el apartado que más afecta al objetivo del trabajo es el DB-HE-1, ya que es el único que tiene el objetivo de establecer unas limitaciones de demanda energética. Dentro de esta limitación es donde podemos encontrar ciertas regulaciones que afectan a los materiales aislantes, ya que cuanto mayor es la limitación mayor material aislante será necesario. Ya que este material hace que los cerramientos aporten más resistencia a la transmisión de calor. Por lo que a partir de este momento nos centraremos en exclusiva en explicar la aplicación del DB-HE-1.

Lo primero que debemos de conocer es a qué edificios afecta esta norma, la cual corresponde a todos los edificios de nueva construcción y reformas de más del 25% de los cerramientos de todos aquellos edificios que superen los 1000 m². De este conjunto se deben de excluir aquellos edificios que deban de permanecer abiertos, edificios y monumentos protegidos oficialmente, edificios que actúan como lugar de culto, construcciones provisionales, edificios industriales y agrícolas y edificios de menos de 50 m².

Una vez conocido a qué edificios se deben aplicar esta norma, debemos de proceder a estudiar cómo se debe de aplicar la norma y las diferencias con la antigua norma. A la hora de demostrar el cumplimiento del CTE, existen dos opciones, la denominada opción simplificada y opción general. Es interesante destacar esta novedad con respecto a la norma anterior, ya que en la NBE-CT-79 existían dos coeficientes a cumplir obligatoriamente, el coeficiente KG y el coeficiente K.

Resumiendo, los métodos establecidos por la NBE-CT-79 y el CTE-HE-1-2006, podemos decir, que en la norma del 79 se establece la comprobación del coeficiente KG y K, al igual que en el CTE-2006 se establece una opción simplificada y una opción general. La comprobación del coeficiente KG, consiste en la comprobación del cumplimiento de los valores de transmitancia térmica del conjunto, mientras que el coeficiente K se comprueba los valores de transmitancia de cada uno de los cerramientos del edificio. Por otro lado, en la nueva norma, si establece la opción general, en la cual se establece un edificio modelo con el cual se debe de comparar el edificio diseñado, estableciendo un régimen de simulación dinámica. De la misma forma en la opción simplificada se comprueba que los valores de transmitancia térmica de todos los elementos de la envolvente térmica del edificio no superen los valores máximos establecidos por la norma.

Tabla D.1.- Zonas climáticas

Provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de gran canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

Figura 2.9.

Tabla D.1.-Zonas climáticas

Fuente: CTE-2006

Tabla 2.1 Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U en W/m² K

Cerramientos y particiones interiores	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, particiones interiores 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	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos ⁽²⁾	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 transmitancias térmicas de vidrios y marcos se compararán por separado.

Figura 2.10.

Tabla 2.1.

Fuente: CTE-2006

Antes de pasar a explicar el método de cálculo, la norma establece una división del territorio al cual afecta, con el objetivo de aportar límites más exactos, adaptándose al clima de cada una de las zonas (Figura 2.9.). Pero esta norma no solo establece diferenciación entre zonas climáticas diferentes, sino que establece diferencias según la carga interna de los espacios interiores, es decir el uso del espacio interior.

Tras conocer las diferentes zonas en las que se divide el territorio, se establecen los valores de transmitancia térmica (Figura 2.10.), para cerramientos y particiones interiores que componen la envolvente térmica. Siendo estos los valores límite de transmitancia, y estableciendo un valor determinado a cada uno de los cerramientos. Con el único objetivo de evitar descompensaciones entre el confort térmico de los diferentes espacios, todos los cerramientos y particiones interiores deberán cumplir además una transmitancia máxima según su zona climática. Por otro lado, como novedad aparte de los valores de la envolvente térmica se establece una transmitancia máxima para los cerramientos que separen un espacio calefactado de otro no calefactado.

Una vez establecidas las transmitancias máximas, la norma continúa regulando las posibles condensaciones que se puedan crear en los espacios habitados. Estas condensaciones pueden llegar a generar moho, disminuir la capacidad aislante o dañar los materiales del cerramiento. Para evitar estos efectos se diferencian dos tipos de condensaciones, condensación superficial y condensaciones intersticiales.

Las condensaciones superficiales son las que se producen en la superficie interior de los cerramientos. Para evitar este tipo de condensaciones debemos prestar especial atención a los elementos constructivos que puedan absorber agua o degradarse al contactar con el agua, teniendo muy en cuenta los puentes térmicos. Ya que en estos puntos se genera una diferencia de temperatura que al unirse con la humedad genera condensaciones, por lo que la norma limita la humedad relativa mensual en dicha superficie al 80%.

Las condensaciones intersticiales hacen referencia a aquellas que se pueden llevar a cabo en el interior de los cerramientos, de forma que pueden llegar a producirse una merma en las prestaciones térmicas o degraden este material reduciendo de esa forma la vida útil del material. La norma limita esta condensación a la cantidad que pueda ser evaporada en un año, es decir no se puede producir más condensación de la que se pueda llegar a evaporar en el mismo periodo de tiempo.

Para el estudio que se está desarrollando nos afecta en mayor medida las condensaciones intersticiales, ya que para solucionar este tipo de problemas en muchas ocasiones es necesario adaptar las soluciones constructivas. Por lo que en climatologías en las que no se pueda asegurar la evaporación

FICHA 1 Cálculo de los parámetros característicos medios

ZONA CLIMÁTICA		Zona de baja carga interna		Zona de alta carga interna	
MUROS ($U_{m,w}$) y ($U_{m,i}$)					
Tipos	A (m^2)	U ($W/m^2 \cdot K$)	A · U (W/K)	Resultados	
Z				$\Sigma A =$	
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$U_{m,w} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$	
M				$\Sigma A =$	
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$U_{m,w} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$	
C				$\Sigma A =$	
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$U_{m,w} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$	
S				$\Sigma A =$	
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$U_{m,w} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$	
SE				$\Sigma A =$	
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$U_{m,w} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$	
SO				$\Sigma A =$	
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$U_{m,w} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$	
SUELOS ($U_{s,w}$)					
Tipos	A (m^2)	U ($W/m^2 \cdot K$)	A · U (W/K)	Resultados	
				$\Sigma A =$	
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$U_{s,w} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$	
CUBIERTAS Y LUCERNARIOS ($U_{c,w}$, $F_{c,w}$)					
Tipos	A (m^2)	U ($W/m^2 \cdot K$)	A · U (W/K)	Resultados	
				$\Sigma A =$	
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$U_{c,w} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$	
Tipos	A (m^2)	F	A · F (m^2)	Resultados	
				$\Sigma A =$	
				$\Sigma A \cdot F =$	
				$F_{c,w} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$	

ZONA CLIMÁTICA		Zona de baja carga interna		Zona de alta carga interna	
----------------	--	----------------------------	--	----------------------------	--

HUECOS ($U_{h,w}$, $F_{h,w}$)					
Tipos	A (m^2)	U ($W/m^2 \cdot K$)	A · U (W/K)	Resultados	
Z				$\Sigma A =$	
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$U_{h,w} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$	
Tipos	A (m^2)	U	F	A · U	A · F (m^2)
M				$\Sigma A =$	
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$\Sigma A \cdot F =$	
C				$U_{h,w} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$	
				$F_{h,w} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$	
	S				$\Sigma A =$
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$\Sigma A \cdot F =$	
SE				$U_{h,w} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$	
				$F_{h,w} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$	
	SO				$\Sigma A =$
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$\Sigma A \cdot F =$	
S				$U_{h,w} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$	
				$F_{h,w} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$	
	SE				$\Sigma A =$
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$\Sigma A \cdot F =$	
SO				$U_{h,w} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A =$	
				$F_{h,w} = \Sigma A \cdot F / \Sigma A =$	
	S				$\Sigma A =$
				$\Sigma A \cdot U =$	
				$\Sigma A \cdot F =$	

FICHA 2 CONFORMIDAD- Demanda energética

ZONA CLIMÁTICA		Zona de baja carga interna		Zona de alta carga interna	
Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica				$U_{m,w}(\text{proy})^{(1)}$	$U_{m,w}^{(2)}$
Muros de fachada				\leq	
Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno					
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables				\leq	
Suelos					
Cubiertas				\leq	
Vidrios de huecos y lucernarios					
Marcos de huecos y lucernarios				\leq	
Medianerías					
Particiones interiores (edificios de viviendas) ⁽³⁾					$\leq 120/100$
MUROS DE FACHADA					
		$U_{h,w}^{(4)}$	$U_{m,w}^{(4)}$		
N		\leq			
E					
O					
S					
SE					
SO					
CERR. CONTACTO TERRENO		$U_{h,w}^{(4)}$	$U_{m,w}^{(4)}$		
SUELOS		$U_{h,w}^{(4)}$	$U_{m,w}^{(4)}$		
CUBIERTAS		$U_{h,w}^{(4)}$	$U_{m,w}^{(4)}$		
LUCERNARIOS		$F_{c,w}$	$F_{h,w}$		

⁽¹⁾ $U_{m,w}(\text{proy})$ corresponde al mayor valor de la transmitancia de los cerramientos o particiones interiores indicados en proyecto.
⁽²⁾ $U_{m,w}$ corresponde a la transmitancia térmica máxima definida en la tabla 2.1 para cada tipo de cerramiento o partición interior.
⁽³⁾ En edificios de viviendas, $U_{m,w}(\text{proy})$ de particiones interiores que limitan unidades de uso con un sistema de calefacción previsto desde proyecto con las zonas comunes no calefactadas.
⁽⁴⁾ Parámetros característicos medios obtenidos en la ficha 1.
⁽⁵⁾ Valores límite de los parámetros característicos medios definidos en la tabla 2.2.

FICHA 3 CONFORMIDAD-Condensaciones

Tipos	CERRAMIENTOS, PARTICIONES INTERIORES, PUENTES TÉRMICOS								
	C. superficiales	C. intersticiales							
	$t_{s,w} \geq t_{s,w,lim}$	$P_1 \leq P_{lim1}$	Capa 1	Capa 2	Capa 3	Capa 4	Capa 5	Capa 6	Capa 7
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							
	$t_{s,w}$	P_{lim1}							

Figura 2.11.
Fichas justificativas.
Fuente: CTE-2006

de las condensaciones generadas, deberán de buscarse aislamientos que puedan resistir al efecto del agua, al igual que se utilizarán aislamientos con capas de barrera de vapor con el objetivo de que estas condensaciones no afecten a los aislantes ni a los materiales interiores del cerramiento.

Opción simplificada

El objetivo de esta opción es limitar la demanda energética de los edificios, de una manera indirecta estableciendo valores límite de la transmitancia térmica (U) para los diferentes elementos constructivos. De la misma forma se limitan las condensaciones superficiales e intersticiales de los cerramientos, consiguiendo así mejorar el comportamiento de los cerramientos. Añadiendo de la misma forma la limitación la transmisión de calor entre las unidades de uso calefactadas y las zonas comunes no calefactadas.

Esta opción podrá ser aplicada siempre y cuando se cumplan a la vez las siguientes condiciones:

- Que el porcentaje de huecos en cada fachada sea inferior al 60% de su superficie.
- Que el porcentaje de lucernarios sea inferior al 5% de la superficie total de la cubierta.
- Quedan excluidos aquellos edificios cuyos cerramientos estén formados por soluciones constructivas no convencionales, como pueden ser los Muros Trombe, Muros Parietodinamicos, Invernaderos adosados....
- En cerramientos nuevos en obras de rehabilitación.

El proceso a seguir para la correcta aplicación de la opción simplificada es la siguiente:

- Determinar la zona climática a la que pertenece el proyecto.
- Clasificación de los espacios del edificio.
- Definir la envolvente térmica y cerramientos con exigencias térmicas.
- Comprobación de limitaciones a la permeabilidad al aire de las carpinterías.
- Cálculo de los parámetros característicos de los distintos componentes de los cerramientos y particiones interiores.
- Limitación de la demanda energética;
 - o Comprobación de cada una de las transmitancia térmicas de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica, el cual debe de ser inferior al valor máximo establecido en la norma.
 - o Cálculo de la medida de los distintos parámetros característicos para la zona con baja carga interna y la zona de alta carga interna del edificio.

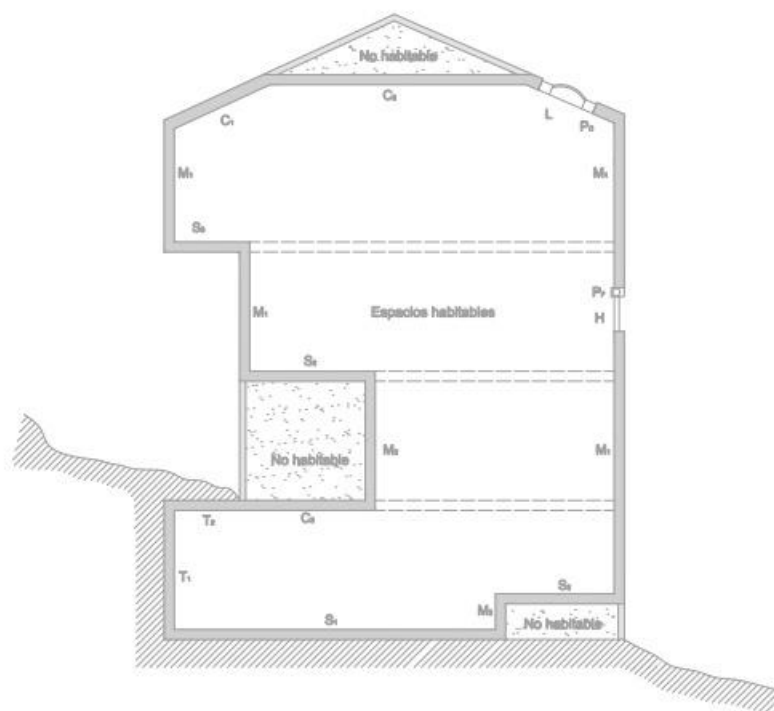


Figura 3.2 Esquema de *envolvente térmica* de un edificio

Figura 2.12.

Esquema de envolvente térmica.

Fuente: CTE-2006

Tabla 3.1 Síntesis del procedimiento de comparación con los valores límite

Cerramientos y particiones interiores	Componentes	Parámetros característicos	Parámetros característicos medios	Comparación con los valores límites
CUBIERTAS	C ₁ En contacto con el aire	U _{C1}	$U_{ce} = \frac{\sum A_{C1} \cdot U_{C1} + \sum A_{C2} \cdot U_{C2} + \sum A_{L} \cdot U_L}{\sum A_{C1} + \sum A_{C2} + \sum A_L}$	U _{ce} ≤ U _{ce,lim}
	C ₂ En contacto con un espacio no habitable	U _{C2}		
	P ₁ Puente térmico (Contorno de lucernario > 0,5 m ²)	U _{PC}		
	L Lucernarios	U _L F _L	$F_{L,lim} = \frac{\sum A_{L1} \cdot F_{L1}}{\sum A_{L1}}$	F _{L,lim} ≤ F _{L,lim}
FACHADAS	M ₁ Muro en contacto con el aire	U _{M1}	$U_{fe} = \frac{\sum A_{M1} \cdot U_{M1} + \sum A_{M2} \cdot U_{M2}}{\sum A_{M1} + \sum A_{M2}}$	U _{fe} ≤ U _{fe,lim}
	M ₂ Muro en contacto con espacios no habitables	U _{M2}		
	P ₁₁ Puente térmico (contorno de huecos > 0,5 m ²)	U _{PF1}		
	P ₁₂ Puente térmico (columna en fachada > 0,5 m ²)	U _{PF2}		
	P ₁₃ Puente térmico (carga de personas > 0,5 m ²)	U _{PF3}	$U_{fe} = \frac{\sum A_{H1} \cdot U_{H1}}{\sum A_{H1}}$	U _{fe} ≤ U _{fe,lim}
	H Huecos	U _H F _H	$F_{H,lim} = \frac{\sum A_{H1} \cdot F_{H1}}{\sum A_{H1}}$	F _{H,lim} ≤ F _{H,lim}
SUELOS	S ₁ Apoyados sobre el terreno	U _{S1}	$U_{se} = \frac{\sum A_{S1} \cdot U_{S1}}{\sum A_{S1}}$	U _{se} ≤ U _{se,lim}
	S ₂ En contacto con espacios no habitables	U _{S2}		
	S ₃ En contacto con el aire exterior	U _{S3}		
CERRAMIENTOS EN CONTACTO CON EL TERRENO	T ₁ Muros en contacto con el terreno	U _{T1}	$U_{te} = \frac{\sum A_{T1} \cdot U_{T1}}{\sum A_{T1}}$	U _{te} ≤ U _{te,lim}
	T ₂ Cubiertas enterradas	U _{T2}		
	T ₃ Suelos a una profundidad mayor de 0,5 m	U _{T3}		

NOTAS: El cálculo se realizará para la zona de baja carga interna y para la zona de alta carga interna de los edificios. La tabla no es exhaustiva en cuanto a los componentes de los cerramientos y particiones interiores.

Figura 2.13.

Síntesis de procedimiento de comparación con los valores límite.

Fuente: CTE-2006

- Comprobación de los parámetros característicos medios de la zona de baja carga interna y la zona de alta carga interna son inferiores a los valores límite de las tablas establecidas por la norma.
- En edificios de viviendas se establece una limitación de la transmitancia térmica de las particiones interiores que separan las unidades de uso con las zonas comunes del edificio.
- Control de las condensaciones intersticiales y superficiales.

Esta opción debe de ser justificada en la memoria del proyecto, aportando fichas justificativas del cálculo de los parámetros característicos medios y formularios de conformidad que son aportados por la propia normativa de la zona habitable de baja carga interna y de alta carga interna del edificio (Figura 2.11.).

Para la comprobación de los parámetros característicos medio, se calcula el valor de los parámetros característicos de los cerramientos y participaciones interiores, calculando los valores de transmitancia térmica que se obtendrán ponderando los parámetros correspondientes a cada cerramiento según su fracción de área en relación con el área total de la categoría a la que pertenece.

Se obtienen así las transmitancias medias de cada uno de los cerramientos diferenciados entre las diferentes orientaciones de los mismos, en el caso de que este en contacto con el aire exterior. Las áreas de los cerramientos se consideran a partir de medidas tomadas desde el interior del edificio. Se comparan a continuación estas transmitancia con los valores límites establecidos por la norma. Para facilitar la identificación de estos valores a calcular para lo que se proporciona un ejemplo de edificio, dividido por los diferentes cerramientos (Figura 2.12.). De la misma forma para facilitar la comprobación se establece una síntesis del procedimiento de comparación con los valores límite, en la cual se muestra la forma de calcular la transmitancia de cada uno de los parámetros y con qué valor establecido por la norma se debe de comparar (Figura 2.13.).

Opción general

El objetivo de esta opción es limitar la demanda energética de los edificios de una forma directa mediante un método de cálculo específico, al igual que calcular el límite de filtraciones de aire y la presencia de condensaciones en la envolvente térmica.

Esta opción es posible aplicarla en cualquier tipo de edificio, salvo para aquellos que presenten soluciones constructivas innovadoras, cuyos modelos no puedan ser introducidos en el programa informático. Si el edificio está dentro de esta excepción, se justificarán en el proyecto las mejoras de ahorro introducidas que deberán de ser obtenida a través de un método de simulación.

El proceso de comprobación conforme a esta opción consiste en comprobar las demandas energéticas de la envolvente térmica, del edificio tanto para un régimen de calefacción como de refrigeración. Existiendo la excepción de poder ignorar el cumplimiento de la demanda más baja, siempre y cuando esta demanda sea inferior al 10% de la otra. Establecer que la humedad relativa media mensual en la superficie interior sea inferior al 80% con el objetivo de controlar las condensaciones superficiales, de la misma forma se controlara la humedad acumulada en cada una de las capas del cerramiento de forma que la condensación acumulada en un mes no sea mayor que el valor admisible para cada material aislante.

Dicho método de cálculo se basará en el cálculo hora a hora, en régimen transitorio, del comportamiento térmico de los edificios, teniendo en cuenta de manera simultánea las solicitudes exteriores e interiores y considerando los efectos de la masa térmica. Para el desarrollo de este método se deberá de introducir en el programa informático todos los datos necesarios, definiendo los siguientes datos o parámetros;

- Situación, forma, dimensiones de los lados, orientación e inclinación de todos los cerramientos.
- Longitud de puentes térmicos.
- Para cada uno de los cerramientos la situación, forma y dimensiones de los huecos.
- Para cada hueco la situación, forma y dimensiones de los obstáculos de fachada.
- Para las persianas y cortinas exteriores no se definirá su geometría, pero sí que se incluirán coeficientes correctores de los parámetros de los huecos.
- Situación, forma y dimensión de las sombras arrojadas sobre los cerramientos exteriores.
- Definición constructiva de cada tipo de cerramiento
- Transmitancia térmica lineal de los puentes térmicos.
- Definición de las características de los huecos y lucernarios.
- Se especificará para cada espacio si es habitable o no habitable.

Esta comparación se realiza preferiblemente a través del programa informático oficial o de referencia el cual realiza de manera automática las comprobaciones de los aspectos antes mencionados, esta herramienta se denomina Limitación de la Demanda Energética, Lider, y tiene incluidas las consideraciones del Documentos Reconocido del CTE, estando disponible para su libre utilización.

En resumen, podemos decir que la opción simplificada consiste en cumplir de forma individualizada las limitaciones energéticas de cada uno de los cerramientos, mientras que, en la opción general, es un

programa informático el cual a través de la introducción de todos los datos necesarios comprueba el cumplimiento o no de la normativa.

De esta forma para comprobar cuál es el cambio en cuanto a las limitaciones que se establecían en la normativa anterior frente a la nueva normativa, procedemos a realizar un cálculo de la solución comprobada en el apartado que hablábamos en la NBE-CT-79, y de otra en la cual aportamos una mejora en el aislamiento térmico.

1. Solución que cumple NBE-CT-79: Compuesta por ladrillo perforado cara vista, cámara de aire de 3cm aislamiento de lana de roca de 2 cm y ladrillo hueco doble.

2. Solución que cumple CTE-2006: Compuesta por ladrillo perforado cara vista, cámara de aire de 3cm aislamiento de lana de roca de 6 cm y ladrillo hueco doble.

Considerando que estas soluciones construyen una fachada, situada en Zaragoza, que pertenece a la zona climática D3, obtenemos unos valores máximos de $U_{\text{lim}}=0.66 \text{ W/m}^2\text{°K}$.

Tomando como referencia los valores de conductividad térmica aportados por el catálogo de elementos constructivos del CTE, en los cuales se dispone una solución similar para la cual se da la siguiente fórmula solo faltando de introducir el valor de resistencia térmica.

$$U = 1/(0.54 + Rat)$$

Teniendo en cuenta que en este mismo catálogo de elementos constructivos se establece una conductividad térmica del aislamiento térmico de $U=0.031 \text{ W/m}^2\text{°K}$. Realizamos los cálculos con estos datos, siendo conscientes que los valores son demasiado bajos, esto junto a que a la opción general es más restrictiva, hace que los valores obtenidos no sean reales, pero sí que nos permite obtener una comparación del cambio que supuso la implantación de la nueva normativa.

Teniendo en cuenta que la resistencia térmica, depende del espesor y la conductividad térmica de la misma, podemos establecer la resistencia térmica del material aislante.

Teniendo en cuenta que los valores utilizados en los cálculos realizados son demasiado bajos, hace que los valores obtenidos no se ajusten estrictamente a la realidad necesaria para los edificios. Sin embargo, nos permite obtener una comparación del cambio que supuso la implantación de la nueva normativa.

	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2
<i>ESPESOR DEL AISLAMIENTO</i>	2cm	4cm
<i>R_{AT}</i>	1.83	0.645
<i>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</i>	0.844	0.54
<i>VALOR DE LA NORMA</i>	0.66	0.66
<i>CUMPLIMIENTO DE LA NORMA</i>	No	SI

Tabla 3. Comprobación cumplimiento de la norma por las soluciones propuestas.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que podemos decir que para cumplir con las demandas de la nueva normativa es suficiente con la aumentar el material aislante en 2 cm, haciendo un conjunto de 4 cm de un material aislante como puede ser la lana de roca.

Documento Básico **HE**

Ahorro de energía

HE 0 Limitación del consumo energético
HE 1 Limitación de la demanda energética
HE 2 Rendimiento de las instalaciones térmicas
HE 3 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación
HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria
HE 5 Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

Figura 2.14.

CTE-2013, DB-HE.

Fuente: BOE, jueves 12 de septiembre de 2013

2.3. CTE-2013

La estructura de la normativa se mantiene, aunque incluyendo novedades, una de las más importantes es que ya no se establecen 5 apartados, sino que se añade un sexto apartado, que conforma el DB-HE-0, en el que se engloba la limitación del consumo energético (Figura 2.14.).

Debido al nuevo pensamiento extendido en la sociedad, se introdujo este nuevo apartado en la norma, ya que la ciudadanía demanda un mayor control del uso de la energía, cambiando las fuentes de energía tradicionales por energías renovables. Dentro de este pensamiento se engloba el consumo de energía necesaria para satisfacer la demanda energética necesaria para conseguir el confort térmico. Este aspecto afecta indirectamente al objeto de este trabajo, ya que para reducir el consumo es necesario que la demanda de energética sea menor, lo que lleva a establecer unos límites más estrictos en la conductividad térmica de los cerramientos.

En cuanto al ámbito de aplicación se amplían las condiciones para los edificios existentes, introduciendo la condición en la que no es posible que una reforma empeore las propiedades existentes.

De la misma forma que en el CTE-2006, la parte de la norma que afecta al trabajo que estamos realizando corresponde con el DB-HE-1, limitación de la demanda energética. Ya que en este apartado la norma establece la limitación regulan la cantidad de aislamiento térmico necesario. En esta parte de la norma, podemos detectar que, si se realiza una renovación de más del 25% de la envolvente, habrá que comprobar el cumplimiento de la demanda conjunta de toda la fachada, tanto de la parte que se renueve, como de la que no. La comprobación del cumplimiento de la norma se realizará a través del edificio de referencia teniendo que ser inferior al mismo. De la misma forma que en la versión anterior se aporta la herramienta unificada LIDER+CALENER (HULC) con el objetivo de comprobar el cumplimiento de la norma.

Este documento ya no establece diferentes formas de comprobar el cumplimiento, de forma que desaparece la comprobación simplificada manual, eliminándose con ello el cálculo de la transmitancia térmica de la envolvente térmica, llevándose a cabo únicamente la siguiente mención a la forma de realizar la comprobación el cumplimiento de las exigencias:

Tabla B.1.- Zonas climáticas de la Península Ibérica

Zonas climáticas Península Ibérica													
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2
Albacete	D3	577									B < 400		B < 300
Alicante/Alicant	B4	7					B < 250				B < 200		B < 200
Almería	A4	0	B < 100				B < 200	B < 400			B < 800		B < 800
Asturias	E1	1054										B < 500	B < 800
Badajoz	C4	168									B < 400		B < 400
Barcelona	C2	1									B < 250		B < 250
Bilbao/Bilbao	C1	214									B < 200		B < 200
Burgos	E1	861										B < 600	B < 600
Cáceres	C4	385									B < 400		B < 400
Cádiz	A3	0	B < 100				B < 450				B < 800	B < 800	B < 800
Castellón/Castelló	B3	18					B < 50				B < 600	B < 800	B < 800
Ciudad Real	B3	0					B < 50				B < 600	B < 800	B < 800
Córdoba	B4	113					B < 100				B < 800		B < 800
Cádiz, San A. Casulla	C1	0									B < 200		B < 200
Cuenca	D2	675									B < 800	B < 1000	B < 1000
Gerona/Girona	D2	143									B < 800	B < 800	B < 800
Granada	C1	214	B < 100				B < 100				B < 800	B < 1000	B < 1000
Huesca/Huesca	D1	208									B < 800	B < 1000	B < 1000
Jaca	A4	50	B < 100				B < 100	B < 300			B < 800	B < 1000	B < 1000
León	E1	546									B < 400	B < 700	B < 700
Lugo	E1	546									B < 400	B < 700	B < 700
Larida/Larida	D3	131									B < 100		B < 100
Lleida	D2	179									B < 200	B < 800	B < 800
Lugo	D1	612									B < 200	B < 700	B < 700
Madrid	D3	589									B < 100	B < 1000	B < 1000
Malaga	A3	0					B < 300				B < 800	B < 1000	B < 1000
Merida	A3	130					B < 300				B < 800	B < 1000	B < 1000
Murcia	B3	25					B < 100				B < 800	B < 1000	B < 1000
Oviedo/Oviedo	D2	637									B < 100	B < 800	B < 800
Palencia	D1	722									B < 50	B < 800	B < 800
Pravia de Melancia	B1	1					B < 200				B < 200		B < 200
Palencia/Pravia	D1	456									B < 100	B < 800	B < 800
Pontevedra	C1	77									B < 100	B < 800	B < 800
Salamanca	D2	720									B < 100	B < 800	B < 800
San Sebastián/Donostia	D1	5									B < 400	B < 800	B < 800
Santander	C1	5									B < 100	B < 800	B < 800
Saragosa	D2	1011									B < 100	B < 800	B < 800
Sevilla	B4	0					B < 200				B < 200		B < 200
Soria	E1	884									B < 100	B < 800	B < 800
Tarazona	B3	2					B < 30				B < 100	B < 800	B < 800
Terrac	D2	995									B < 400	B < 1000	B < 1000
Torres	C4	645									B < 100	B < 800	B < 800
Valencia/Valencia	B3	8					B < 30				B < 100	B < 800	B < 800
Valladolid	D2	704									B < 100	B < 800	B < 800
Vitoria/Gasteiz	D3	112									B < 100	B < 800	B < 800
Zamora	D2	637									B < 100	B < 800	B < 800
Zaragoza	D1	207									B < 200	B < 800	B < 800
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2

Figura 2.15.

Zonas climáticas, CTE-2013.

Fuente: BOE, jueves 12 de septiembre de 2013

Tabla B.2.- Zonas climáticas de las Islas Canarias

Zonas climáticas Canarias						
Capital	Z.C.	Altitud	a0	A2	B2	C2
Príncipe de San Carlos, La	a0	114	B < 100	B < 750	B < 1000	B < 1000
Santa Cruz de Tenerife	a0	0	B < 100	B < 750	B < 1000	B < 1000

Tabla 2.3 Transmisancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica

Parámetro	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Transmisancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno ⁽¹⁾ [W/m ² •K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmisancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m ² •K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmisancia térmica de huecos ⁽²⁾ [W/m ² •K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos ⁽³⁾ [m ³ /h•m ²]	< 50	< 50	< 50	< 27	< 27	< 27

⁽¹⁾ Para elementos en contacto con el terreno, el valor indicado se exige únicamente al primer metro de muro enterrado, o al primer metro del perímetro de suelo apoyado sobre el terreno hasta una profundidad de 0,50m.

⁽²⁾ Se considera el comportamiento conjunto de vidrio y marco. Incluye lucernarios y claraboyas.

⁽³⁾ La permeabilidad de las carpinterías indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa.

Figura 2.16.

Tabla 2.3. Transmisancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica.

Fuente: BOE, jueves 12 de septiembre de 2013

“Los procedimientos de cálculo podrán emplear simulación mediante un modelo térmico del edificio o métodos simplificados equivalentes.”

Lo primero que observamos al estudiar los valores límites que establece esta nueva norma es que se amplían las zonas climáticas en las cuales se divide el territorio español (Figura 2.15.), incluyendo una nueva zona correspondiente a las Islas Canarias. De la misma forma que en la versión anterior, podemos identificar zonas climáticas de invierno, identificadas con letras, y zonas climáticas de verano, correspondientes con los números.

Para finalizar con el objetivo de comparar los cambios implantados sobre las limitaciones de transmisión térmicas se establece la tabla 1.

PARÁMETRO	ALFA	A	B	C	D	E
TRANSMITANCIA TÉRMICA DE MUROS Y ELEMENTOS EN CONTACTO CON EL TERRENO	1.35 No existía	1.25 1.22	1 1.07	0.75 0.95	0.6 0.86	0.55 0.74
TRANSMITANCIA TÉRMICA DE CUBIERTAS Y SUELOS EN CONTACTO CON EL AIRE	1.20 No existía	0.80 0.69	0.65 0.68	0.5 0.65	0.4 0.64	0.35 0.62
TRANSMITANCIA TÉRMICA DE HUECOS	5.70 No existía	5.70 5.70	4.20 5.70	3.10 4.40	2.7 3.50	2.50 3.10

Tabla 4. Comparación de transmitancias térmicas.

Fuente: Elaboración propia.

Pudiendo observar en negro los valores del CTE-2013 y en naranja los valores del CTE-2006, identificando así los valores límite de la transmitancia térmica, los cuales en su mayoría son más restrictivos y en otros lo contrario. Esto se debe a que con la nueva división de zonas climáticas se reestructura los valores de las diferentes zonas de ahí que algunos sean menos restrictivos y la mayoría sean más restrictivos.

Una nueva versión del CTE se aprobó en 2019 y la estudiaremos más adelante.

2.4 Clasificación y tipología.

Tras haber realizado un análisis de la normativa y tener claro que la utilización de materiales aislantes se ha convertido en obligatorio para todas las edificaciones. Por lo que debemos de llevar a cabo un análisis de los diferentes aislamientos térmicos que podemos encontrar en el mercado, comprobando los valores máximos y mínimos de cada uno de ellos, ayudándonos de esta herramienta para elegir el material a usar en cada una de las soluciones.

En primer lugar, podemos clasificar los materiales por el origen de las materias primas, identificando tres familias distintas de características similares.

Según esta clasificación podemos identificar, materiales de origen sintético orgánico, los cuales necesitan un complejo proceso de fabricación, cuestión que encarece el coste final del producto. Son materiales de porosidad cerrada, y con una conductividad baja en comparación con otros materiales.

Por otro lado, podemos identificar materiales de origen inorgánico, como pueden ser aquellos materiales fabricados a través de materia inerte (arena, piedras, vidrios reciclados...). Este tipo de materiales poseen altas resistencias a compresión, con propiedades ignífugas, perfectos para estar en contacto con el ambiente exterior.

Por último, podemos observar el conjunto de materiales de origen natural orgánico, los cuales son fabricados a partir de material vegetal o animal, o materiales reciclados pertenecientes a este origen. Las desventajas de este material se basan en conductividades altas, menor capacidad aislante, pero por lo contrario ofrecen bajos valores de emisiones de CO₂, y de entropía del material. Entendiendo la entropía como: "La magnitud termodinámica que mide la parte de la energía no utilizable para realizar trabajo y que se expresa como el cociente entre el calor cedido por un cuerpo y su temperatura absoluta".⁷

Una vez identificado esta clasificación según el origen de la materia prima, pasamos a aportar los datos necesarios para realizar una comparación óptima, para lo que nos apoyamos en otros trabajos que han realizado este análisis con anterioridad⁸. Los datos que van a ser necesarios para la realización de la comparación van a ser las siguientes: Conductividad térmica, Resistencia a compresión, Precio, Producción de CO₂, Entropía y Reciclabilidad.

⁷ Española, R. A. (s.f.). Diccionario de la lengua española. Obtenido de <https://dle.rae.es/>

⁸ Cano, M. P. (2017). Aislantes Térmicos, Criterios de selección por requisitos energéticos.

Rodríguez, M. V. (2015). Materiales aislantes sostenibles.

Origen sintético orgánico;

<i>Material</i>	Conductividad λ (W/m*k)	Resistencia a compresión (kPa)	Precio (€)	Producción de CO₂ (kgCO ₂ /kg)	Entropía (MJ/kg)	Reciclabilidad	Inflamable	Biodegradable	Formato de comercia- lización
<i>Poliestireno expandido</i>	0.037	300	12.51	18.18	122.85	SI	SI	NO	Panel y gra- nel
<i>Poliestireno extruido</i>	0.032	200	11.62	51.81	125.00	SI	SI	NO	Panel
<i>Poliuretano</i>	0.028	200	17.81	103.32	70.00	SI	SI	NO	Panel y es- puma
<i>Espuma fenólica</i>	0.021	200	8.6	4.95	65.00	NO	SI	NO	Panel
<i>Espuma polietileno</i>	0.035	200	19.12	21.34	144.58	SI	SI	NO	Rollo
<i>Espuma de poliisocianurato</i>	0.022	300	16.00	14.00	125.00	SI	SI	NO	Panel
<i>Polycarbonato celular</i>	0.021	800	29.95	22.00	100.00	NO	NO	NO	Panel

Tabla 5. Materiales aislantes de origen sintético orgánico.

Fuente: Elaboración propia, basado en la recopilación de los datos de otros estudios realizados anteriormente.⁹

⁹ Cano, M. P. (2017). Aislantes Térmicos, Criterios de selección por requisitos energéticos.

Rodríguez, M. V. (2015). Materiales aislantes sostenibles.

Origen inorgánico;

<i>Material</i>	Conductividad λ (W/m*k)	Resistencia a compresión (kPa)	Precio (€)	Producción de CO₂ (kgCO ₂ /kg)	Entropía (MJ/kg)	Reciclabilidad	Inflamable	Biodegradable	Formato de comercia- lización
<i>Lana de vidrio</i>	0.034	16	6.20	10.73	71.03	SI	NO	NO	Panel, Rollo y Granel
<i>Lana de roca</i>	0.036	68	14.84	17.04	32.00	SI	NO	NO	Panel, Rollo y Granel
<i>Vidrio celular</i>	0.048	785	50.00	8.30	75.00	SI	NO	NO	Panel y gra- nel
<i>Arcilla expandida</i>	0.080	700	15.00	2.78	50.00	SI	NO	No	Granel
<i>Arlita</i>	0.080					NO	SI	NO	Granel
<i>Perlita</i>	0.035	1200	55.00	16.10	20.00	SI	NO	NO	Placa o Gra- nel
<i>Hormigón celular</i>	0.090	2900	13.00	0.43	5.60	SI	NO	NO	Bloques y Panel

Tabla 6. Materiales aislantes de origen inorgánico.

Fuente: Elaboración propia, basado en la recopilación de los datos de otros estudios realizados anteriormente.¹⁰

¹⁰ Cano, M. P. (2017). Aislantes Térmicos, Criterios de selección por requisitos energéticos.

Rodríguez, M. V. (2015). Materiales aislantes sostenibles.

Origen natural orgánico;

<i>Material</i>	Conductividad λ (W/m*k)	Resistencia a compresión (kPa)	Precio (€)	Producción de CO₂ (kgCO ₂ /kg)	Entropía (MJ/kg)	Reciclabilidad	Inflamable	Biodegradable	Formato de comercia- lización
<i>Corcho negro</i>	0.040	180	16.25	16.50	45.41	SI	NO	SI	Panel, Rollo y Granel
<i>Corcho natural</i>	0.045	180	40.00	16.50	19.00	SI	No	SI	Panel, Rollo y Granel
<i>Fibra de madera</i>	0.036	290	20.00	1.89	25.00	SI	NO	SI	Placas
<i>Fibra de cáñamo</i>	0.039	147	30.00	5.45	32.25	SI	NO	SI	Panel, Rollo, Proyectado
<i>Fibra de lino</i>	0.039	5	20.00	3.05	49.03	SI	No	SI	Panel, Rollo, Proyectado
<i>Pasta de celulosa</i>	0.038	78	25.70	1.29	5.47	SI	SI	SI	Panel, Rollo, Proyectado
<i>Lana de oveja</i>	0.040	68	20.00	1.55	40.00	NO	SI	SI	Rollo y gra- nel

Tabla 7. Materiales aislantes de origen natural orgánico.

Fuente: Elaboración propia, basado en la recopilación de los datos de otros estudios realizados anteriormente¹¹.

¹¹ Cano, M. P. (2017). Aislantes Térmicos, Criterios de selección por requisitos energéticos.

Rodríguez, M. V. (2015). Materiales aislantes sostenibles.

Realizando un pequeño análisis de la clasificación realizada, en primer lugar, podemos decir que los materiales sintéticos orgánicos en general poseen los mejores valores de conductividad térmica. De la misma forma estos materiales tienen una gran resistencia a compresión, observando que la mayoría de estos valores se encuentran en torno a 200 Kpa. Por lo que son los materiales que más aíslan y resisten a compresión de todos los tipos, sin embargo, por desgracia, la elección del material no depende solamente de estos valores. Por lo que, si nos fijamos en el resto de valores, podemos decir que este tipo de materiales, aunque son los mejores aislantes, también son los materiales que peor se comportan con respecto al medio ambiente. Ya que en el proceso de fabricación se emite una gran cantidad de CO₂, teniendo una gran entropía.

Los materiales de origen orgánico, tienen una conductividad térmica ligeramente superior a los valores de los materiales sintéticos. Observando el resto de aspectos analizados, podemos llegar a la conclusión de que alguno de estos materiales, sobre todo los más utilizados como son la lana de roca y la lana de vidrio, son materiales muy poco resistentes a compresión, lo que limita su utilización para determinados tipos de sistemas constructivos. Con respecto a la eficiencia del material podemos decir que estos materiales son mejores que los anteriores, ya que se aporta una menor cantidad de CO₂ a la atmosfera en el proceso de fabricación, al igual que su gran posibilidad de ser reciclado.

Por último, encontramos los materiales de origen natural, con una conductividad térmica similar a los anteriores, y ligeramente superior a los materiales sintéticos orgánicos. Por lo que no son tan buenos aislantes, pero su origen natural, hace que no sea necesario un proceso de fabricación, sino que tan solo necesitan un proceso de transformación, lo cual implica un menor grado de contaminación. Si a esto le sumamos la posibilidad de ser reciclados se convierten en los materiales más respetuosos con el medio ambiente.

Aunque en este trabajo nos importan especialmente las propiedades aislantes de los materiales y su relación con el medio ambiente, de forma que se busque el mejor material aislante cuyo efecto sobre el medio ambiente sea el menor posible, existen otros aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de elegir el material aislante ideal para cada uno de los sistemas constructivos. Es de gran relevancia la resistencia a compresión del material y el formato de comercialización de cada uno de estos. Consideramos en este sentido los materiales de origen sintético orgánico como los más óptimos, por su baja afección sobre el medio ambiente, y porque se pueden proporcionar en diferentes formatos y generalmente con una alta resistencia a compresión, con valores que oscilan entre 200 y 300 Kpa.

3. Futuro del aislamiento

3.1. Objetivo: edificios de consumo de energía casi nulo.

La sociedad cambia y los objetivos por los que trabaja la arquitectura cambian con ello, adaptándose estos a las nuevas demandas del conjunto de los usuarios. Estos pensamientos se encaminan hacia una sociedad que respeta el medio ambiente, protegiéndolo y evitando expulsar materiales contaminantes al medio. Por lo que la arquitectura se debe de adaptar a estas condiciones. Esto lleva a identificar cuáles son los procesos de la arquitectura que más contaminantes emiten al ambiente. En esta búsqueda se identifica el consumo de energía como el principal foco de emisiones.

Una vez identificado sobre qué aspecto se debe de actuar, se pasa a identificar cuál es la actuación a llevar a cabo, de ahí que nazca la idea de conseguir la construcción de edificios de consumo de energía casi nulo. O lo que es lo mismo, el edificio de emisiones casi nulas.

Una mirada hacia atrás, nos muestra como el ser humano es el único ser vivo que ha sido capaz de poner en riesgo el futuro del planeta, lo cual no nos deja en un buen lugar. Esto es debido a que se han utilizado todos los avances tecnológicos disponibles en cada época sin tener en cuenta las consecuencias que su uso podría llegar a tener. Es decir, se han utilizado ingentes cantidades de combustibles fósiles para desarrollar el trabajo que han hecho avanzar a la sociedad sin parar a pesar en las consecuencias que tenía dicho uso sobre el medio y cómo condicionaba el futuro de nuestro planeta. Lo bueno es que aún estamos a tiempo de volver a introducirnos dentro de la cadena evolutiva, que, aunque sea tarde se sepa adaptar a las circunstancias y dejar a nuestros descendientes un planeta mejor del que nos encontramos nosotros.

Por lo que, revisando el estudio realizado de la historia de la arquitectura, podemos decir que el objetivo es conseguir una arquitectura responsable con el medio, retrocediendo en cuanto al uso de máquinas cuya misión es la de conseguir las temperaturas de confort térmico. Es decir, en la época romana o egipcia no se utilizaba sistemas de calefacción, sino que se aumentó el grosor de los muros para evitar la transmisión de calor a través de estos. Actualmente se está planteando unas soluciones muy similares, en la que se aporte una mayor resistencia térmica con el objetivo de reducir al mínimo la pérdida de energía posible. Ya que si no se pierde energía no es necesario la utilización de máquinas externas al edificio.

En resumen, el objetivo es reducir las pérdidas de energía para así conseguir reducir la cantidad de energía necesaria para obtener la temperatura de bienestar térmico. Para lo cual será necesario la máxima adaptación al entorno y al clima, al igual que un uso de materiales aislante térmicos avanzados técnicamente.

A priori parece que deberían tener la conductividad térmica más baja, con el objetivo de con el menor espesor posible aporten la mayor resistencia a la pérdida de energía térmica. Pero sin embargo esto no es suficiente a la hora de reducir los contaminantes emitidos, ya que se debe tener en cuenta la contaminación emitida durante el proceso de fabricación del material, en el proceso de construcción o fin de vida del edificio. Por lo que ya no se trata solo de buscar un buen aislante térmico, sino que además sea poco contaminante en su fabricación, fácil de montar y reciclable o que no deje residuos tras el fin de su vida útil. Para lo cual se deberá de tener en cuenta el ciclo de vida de los materiales utilizados.

Por lo que es necesario comenzar la búsqueda de las soluciones del futuro, partiendo del estudio realizado hasta el momento de la historia del material y teniendo claro la dirección en la que se encamina el pensamiento de la sociedad del futuro. Para ello debemos de conocer la norma más actualizada en materia de edificación, ya que esta es actualizada según la demanda de la sociedad.

Sin embargo, no solo nos debemos centrar en edificios de nueva planta, ya que como hemos visto durante muchos años se han construido edificios con una baja calidad constructiva. Esto hace que los edificios en los cuales actualmente viven muchas de las personas, no tengan material aislante que facilite el ahorro energético. Por lo que el objetivo de la sociedad no solo se debe centrar en construir edificios de consumo casi nulos, sino que se debe de intentar convertir los edificios ya existentes en construcciones de consumo casi nulo.

Este objetivo se consigue planteando una rehabilitación energética de la fachada, consistiendo en añadir aislamiento térmico a la misma. Teniendo en cuenta las soluciones constructivas con las que se han realizado los edificios, podemos establecer que existen dos soluciones óptimas para rehabilitar energéticamente la fachada. Estas soluciones, pueden consistir en añadir aislamiento térmico en la parte exterior, con soluciones como fachada ventilada o soluciones tipo SATE. Mientras que existe otra solución menos extendida, la cual consiste en inyectar material aislante en la cámara de aire establecida en la mayoría de edificios contruidos desde la implantación de la norma del 79.

3.2. Normativa actual: CTE-2019.

Como ya hemos comentado, la estructura de esta normativa no ha cambiado con respecto a la versión del 2013. El objetivo de esta actualización es adaptarse a las diferentes directivas europeas que se han publicado con respecto a la eficiencia térmica que hacen referencia a los edificios. Concretamente nos interesa la Directiva 2010/31/UE de eficiencia energética de los edificios con el claro objetivo de que todos los nuevos edificios sean de consumo de energía casi nulo a partir del año 2020. Obligando a revisar la normativa anterior con el fin de cumplir con esta norma, la cual se engloba dentro del objetivo 20/20/20:

- Reducir el 20% del consumo de energía con respecto al año 2010.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al menos en un 20% en comparación con los niveles de 1980.
- Incrementar el porcentaje de las fuentes de energía renovables en nuestro consumo final de energía hasta un 20%.

El establecimiento del objetivo de construir edificios de consumo casi nulo hace que el aislamiento térmico de los edificios juegue un papel fundamental. Este objetivo no solo se consigue a través de un aumento del aislamiento térmico, sino que se plantea el aumento de la contribución de energía procedente de fuentes renovables, que junto a la reducción de la demanda alcanzará una reducción de entorno al 40% del consumo de energía.

Con lo que respecta a este trabajo, en el DB-HE se mejora la calidad de las envolventes térmicas de los edificios, fomentando las medidas pasivas conseguidas a través del uso de tecnologías más eficientes y sostenibles, lo que permite conseguir el objetivo de la normativa. Esta norma se establece dentro del objetivo de conseguir una economía baja en carbono para el año 2050, objetivo con los que se ha comprometido España en los acuerdos internacionales en las últimas Cumbres del Clima.

Con la actualización de la norma se ha flexibilizado la descripción de las exigencias, unificando indicadores. Estableciendo en el apartado HE-0 los aspectos más globales de la misma, determinando los consumos totales del edificio y de energía primaria no renovable. De la misma forma se define el concepto antes mencionado de edificio de consumo casi nulo. Con estas medidas lo que se persigue es reducir el cambio climático.

Tabla 3.1.a - HE0						
Valor límite $C_{ap,ren,lim}$ [kW·h/m²·año] para uso residencial privado						
	Zona climática de invierno					
	a	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	20	25	28	32	38	43
Cambios de uso a residencial privado y reformas	40	50	55	65	70	80
En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,25						

Tabla 3.1.b - HE0						
Valor límite $C_{ap,ren,lim}$ [kW·h/m²·año] para uso distinto del residencial privado						
	Zona climática de invierno					
	a	A	B	C	D	E
	$70 + 8 \cdot C_{Fi}$	$55 + 8 \cdot C_{Fi}$	$50 + 8 \cdot C_{Fi}$	$35 + 8 \cdot C_{Fi}$	$20 + 8 \cdot C_{Fi}$	$10 + 8 \cdot C_{Fi}$
C_{Fi} : Carga interna media [W/m²]						
En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores resultantes por 1,40						

Figura 3.1.

Tabla 3.1 Valores límite de consumo de energía primaria no renovable.

Fuente: CTE-DB-HE-1-2019

Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m²K]						
Elemento	Zona climática de invierno					
	a	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_{se} , U_{fs})	0,80	0,70	0,55	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_{te})	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_{ti})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Medianeras o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{di})						
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_{gl})	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%			5,7			
*Los huecos con uso de escaparata en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_{gl} en un 50%.						

Figura 3.2.

Tabla 3.1.1.a-HE1. Valores límite de transmitancia térmica.

Fuente: CTE-DB-HE-1-2019

Esta norma establece el indicador de consumo de energía primaria no renovable (Figura 3.1.), el cual ya existía en la norma anterior, incluyendo el indicador de consumos producidos por los sistemas de ventilación. A este indicador se le añade el indicador de consumo de energía primaria total, en la cual se engloba toda la energía necesaria, es decir la energía primaria no renovable y renovable. Este valor sustituye al indicador de demanda energética.

La definición de la envolvente térmica de los proyectos viene definida en el Anejo C, en la que se establece la posibilidad de integrar zonas para definir y moldear el edificio, utilizar sistemas de referencias en usos residenciales privado, que permiten considerar ciertos equipos tipo para evaluar edificios que no tienen sistemas y la definición de espacios habitables.

Mientras que el apartado HE-1 se centra en aspectos pasivos del diseño y la envolvente térmica, con el objetivo de asegurar unas determinadas condiciones que faciliten un buen comportamiento pasivo del edificio para que sea eficiente incluso sin la participación de los sistemas de climatización.

Se aumentan las exigencias de la transmitancia térmica de la envolvente (Figura 3.2.), y se introduce el concepto de transmitancia térmica global modulada según la compacidad, y evaluable sin necesidad de realizar una simulación. Por otro lado, se establece el indicador de control solar, es decir la capacidad del edificio para evitar o controlar las ganancias solares mediante dispositivos de sombra. La permeabilidad del aire de los huecos o la limitación de condensaciones en la envolvente completarán los indicadores de la envolvente térmica.

De la misma forma que ocurre en la versión del 2013, se eliminan las opciones por las cuales comprobar el cumplimiento de la misma norma. A este respecto establece la simulación del comportamiento del propio edificio a través de un programa informático como modo de comprobación del cumplimiento de la norma. Esta herramienta informática es similar a la aportada en las versiones anteriores, introduciendo las nuevas actualizaciones.

De esta forma no es posible realizar un cálculo de si un determinado cerramiento cumple con las limitaciones de transmitancia térmica, sino que es necesario introducir el conjunto del edificio para poder conocer si estos elementos cumplen o no las limitaciones establecidas. A pesar de esto, en la norma sí que se establecen una serie de valores límites de transmitancia térmica, para cada uno de los cerramientos. Lo cual nos permite realizar una comparación con los valores establecidos en versiones anteriores. Para visualizar esta comparación realizamos la siguiente tabla, en la cual podemos ver de una forma directa los valores de ambas normas;

PARÁMETRO	ALFA	A	B	C	D	E
MUROS Y SUELOS EN CONTACTO CON EL AIRE EXTERIOR	0.80	0.70	0.56	0.49	0.41	0.37
	1.20	0.80	0.65	0.50	0.40	0.35
CUBIERTAS EN CONTACTO CON EL AIRE EXTERIOR	0.55	0.50	0.44	0.40	0.35	0.33
	1.20	0.80	0.65	0.50	0.40	0.35
MUROS, SUELOS Y CUBIERTAS EN CONTACTO CON ESPACIOS NO HABITABLES O CON EL TERRENO	0.90	0.80	0.75	0.70	0.65	0.59
	1.35	1.25	1.00	0.75	0.60	0.55
HUECOS (CONJUNTO DE MARCO, VIDRIO Y CAJOSN DE PERSIANA)	3.20	2.70	2.30	2.10	1.80	1.80
	5.70	5.70	4.20	3.10	2.70	2.50
PUERTAS CON SUPERFICIE SEMITRANSARENTE IGUAL O INFERIOR AL 50%	5.70	5.70	5.70	5.70	5.70	5.70

Tabla 8. Comparación de transmitancias térmicas.

Fuente: Elaboración propia.

Pudiendo observar en negro los valores del CTE-2019 y en naranja los valores del CTE-2013, podemos identificar que los valores límites de la transmitancia, los cuales son bastante más restrictivos en todos los casos. En esta nueva clasificación podemos identificar dos nuevas divisiones, las cuales corresponden a muros y suelos en contacto con el aire exterior y las puertas con superficie semi-transparente igual o inferior al 50%, lo cual hace que permite especificar más los valores de cada uno de los cerramientos.

Sin embargo, viendo los valores, no podemos cuantificar de forma correcta la modificación real que esto conlleva, por lo cual, aunque esta versión no lo recoge, realizaremos un cálculo mediante la opción simplificada aportada en la versión inicial de la norma. Con el objetivo de conocer cuál es el espesor necesario de aislamiento para el cumplimiento de la actual norma.

Para ello establecemos dos soluciones tipo, una solución que ya hemos comprobado que cumple la versión del 2006 y una con el objetivo de cumplir la versión del 2019

1. Solución que cumple CTE-2006: Compuesta por ladrillo perforado cara vista, cámara de aire de 3cm, aislamiento de lana de roca de 4 cm y ladrillo hueco doble.
2. Solución que cumple CTE-2019: Compuesta por ladrillo perforado cara vista, cámara de aire de 3cm, aislamiento de lana de roca de 8 cm y ladrillo hueco doble.

Considerando que estas soluciones construyen una fachada, la cual está situada en Zaragoza, que pertenece a la zona climática D3, obtenemos unos valores máximos de $U_{\text{Mlim}}=0.41 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tomando como referencia los valores de conductividad térmica aportados por el catálogo de elementos constructivos del CTE, en los cuales se dispone una solución similar para la cual se da la siguiente formula solo faltando de introducir el valor de resistencia térmica.

$$U = 1/(0.54 + Rat)$$

Teniendo en cuenta que en este mismo catálogo de elementos constructivos¹² se establece una conductividad térmica del aislamiento térmico de $U=0.031 \text{ W/m}^2\text{K}$. Realizamos los cálculos con estos datos, siendo conscientes que los valores son demasiado bajos, esto junto a que a la opción general es más restrictiva, hace que los valores obtenidos no sean reales, pero sí que nos permite obtener una comparación del cambio que supuso la implantación de la nueva normativa.

De la misma forma tenemos que tener en cuenta que estos valores serían los mínimos para cumplir la transmitancia térmica y que para poder cumplir el conjunto de la normativa debería de cumplirse el consumo de energía primaria no renovable, establecido en el apartado HE-O del CTE, en el cual se hace referencia a la "Limitación del consumo energético".

Teniendo en cuenta que la resistencia térmica, depende del espesor y la conductividad térmica de la misma, podemos establecer la resistencia térmica del material aislante.

$$Rat = \frac{e}{\lambda}$$

¹² Ministerio de transportes movilidad y agenda urbana. (s.f.). Catálogo informático de elementos constructivos (CEC). Madrid.

	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2
<i>ESPESOR DEL AISLAMIENTO</i>	4cm	8cm
<i>R_{AT}</i>	1.29	2.58
<i>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</i>	0.54	0.32
<i>VALOR DE LA NORMA</i>	0.41	0.41
<i>CUMPLIMIENTO DE LA NORMA</i>	No	SI

Tabla 9. Comprobación cumplimiento de la norma por las soluciones propuestas.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que podemos decir que para cumplir con las demandas de la nueva normativa es suficiente con la aumentar el material aislante en 2 cm, haciendo un conjunto de 4 cm de un material aislante como puede ser la lana de roca.

Por lo que podemos decir que, para cumplir con las demandas de la nueva normativa, en cuanto a las transmitancias térmicas, es suficiente con la aumentar el material aislante en 4 cm, haciendo un conjunto de 8 cm de un material aislante como puede ser la lana de roca. Pero como hemos comentado anteriormente, esto no serviría para cumplir la norma, ya que para ello se debería de cumplir el límite de consumo de energía primaria, que resulta más restrictivo.

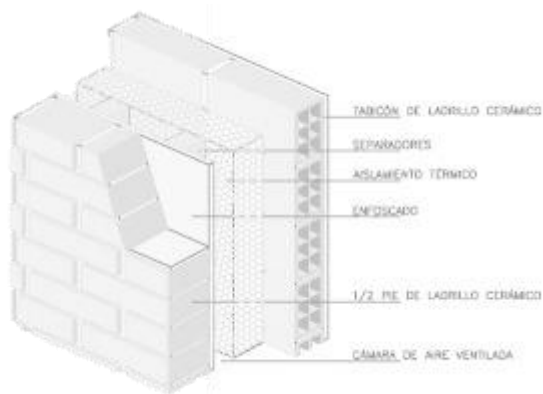


Figura 3.3.

Composición fachada de doble hoja de ladrillo con cámara de aire.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

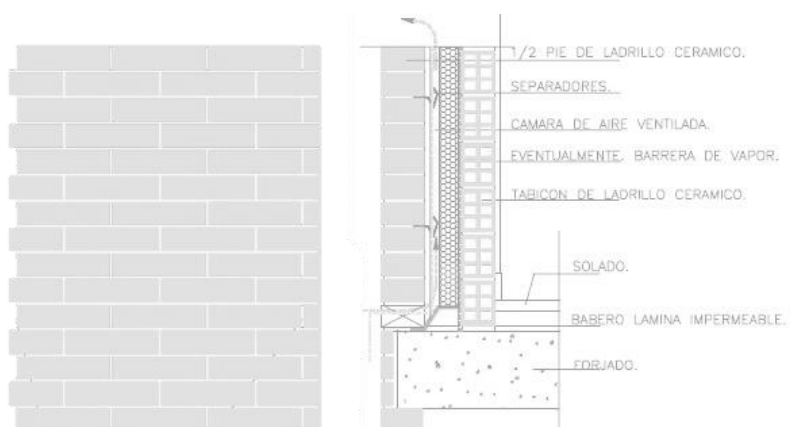


Figura 3.4.

Detalle constructivo fachada de doble hoja de ladrillo con cámara de aire.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

3.3. Detalles constructivos.

A continuación, se quiere llevar a cabo un análisis de las diferentes soluciones constructivas en las cuales es necesario la utilización de materiales de aislamiento térmico. Con el objetivo de intentar facilitar la visualización de las necesidades requeridas en cada una de las soluciones. Para ello vamos a realizar una división en tres grupos: fachadas, cubiertas y suelos.

Fachadas:

Entendemos como fachadas todos aquellos cerramientos verticales que separan el espacio interior del espacio exterior o de otro edificio. Estableciendo una división de las misma según la posición en la cual se encuentra el material aislante.

- **Material aislante colocado entre dos hojas.** La incorporación del material aislante en este tipo de soluciones puede darse de dos formas diferentes: fachada de doble hoja cerámica o trasdosados compuestos por el material aislante más una capa compuesta por un panel de yeso laminado o un enlucido de yeso.

Doble hoja cerámica: podemos decir que esta solución es la más extendida en la arquitectura de nuestro país. Esta hoja está compuesta por una hoja de ladrillo cerámico cara vista de 1/2 pie, enfoscado interiormente. Una cámara de aire de 3 cm, con la función de evacuar el agua de filtración o posibles condensaciones. Tras esta cámara se dispone el aislamiento térmico y una hoja interior formada por un ladrillo hueco doble cerámico, enlucido con yeso en su cara interior. Con el avance de la técnica se ha incorporado una barrera a la difusión de vapor de agua, adosada a la cara caliente del aislamiento térmico (Figura 3.3.).

Esta solución comenzó ejecutándose de la siguiente manera; apoyando medio pie de ladrillo, correspondiente a la hoja exterior, sobre el borde del forjado, quedando volando como máximo, 1/3 de su dimensión, que aproximadamente corresponde a 4 cm (Figura 3.4.). Dejando una serie de llagas (junta vertical) sin rellenar con el objetivo de conseguir una cierta ventilación. Sobre esta hoja se aplica un enfoscado de mortero, en la cara interior, de forma que se genere una superficie plana y homogénea, respetando en todo momento las aberturas de ventilación. Tras esta se sitúa la cámara de aire, para generar esta se utilizan una serie de separadores, generalmente compuestos por tiras de material



Figura 3.5.

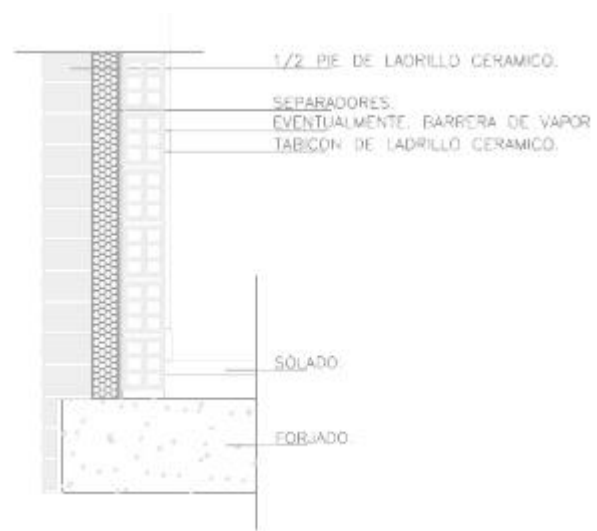
Proceso de construcción.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

Figura 3.6.

Detalle constructivo fachada de doble hoja de ladrillo sin cámara de aire.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

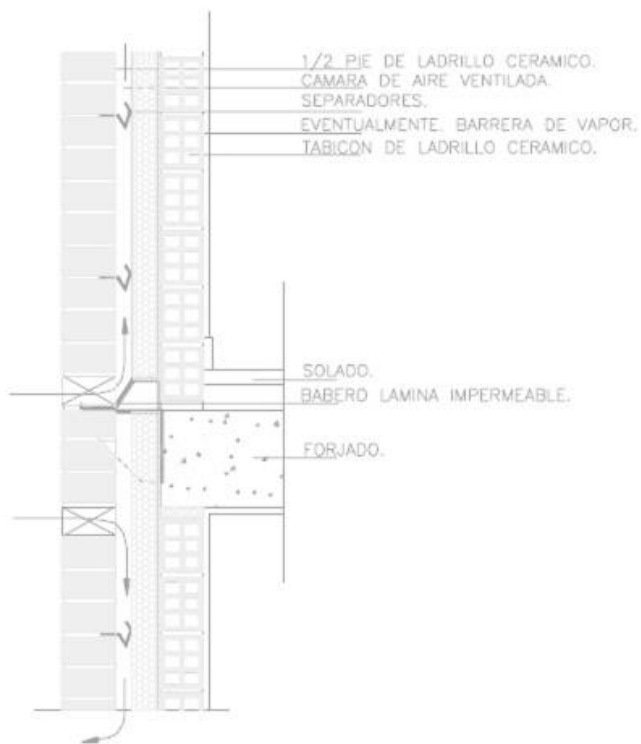


aislante sobrante anclado a la hoja exterior. Es necesario que esta cámara de aire quede limpia de todo tipo de residuo, evitando la caída sobre ella de cascotes o restos de mortero que puedan llegar a impedir el funcionamiento de drenaje y ventilación. Tras ella se coloca el material aislante apoyado sobre los separadores antes mencionados, fijándose al elemento rígido a través del sistema más apropiado para cada tipo de material aislante. Este material aislante debe de ser colocados de forma correcta, con el objetivo de cubrir toda la superficie a aislar, para ello se ha establecido una serie de uniones estandarizadas. Estas uniones pueden ser a media madera, machihembradas o bien mediante dos capas de aislantes contrapeadas entre ellas, estas uniones tienen la finalidad de asegurar unas juntas perfectas. Por último, se levanta la hoja interior, recubriendo esta hoja con un enlucido de yeso, de forma que quede con un adecuado acabado en el interior (Figura 3.5.).

Ventajas; cerramientos con una inercia térmica media, que incluye una cámara sin ventilar o semi-ventilada, que permite la ventilación y extracción del agua que puede llegar a introducirse en el interior de esta cámara. Esta agua puede introducirse a través de filtraciones o bien a través de la condensación del vapor de agua generado en este espacio. Gracias a esta cámara evitamos posibles acumulaciones de agua sobre el forjado, que pueden producir humedad en el interior del edificio e incluso reducir las propiedades del panel aislante.

Inconvenientes: se genera puente térmico a lo largo del forjado, ya que es imposible hacer pasar el material aislante delante del mismo, encontrándose en este punto uno de los mayores problemas. Otro problema es el espesor resultante de la composición de este cerramiento, el cual está cercano a 30 cm. Algunas de estas desventajas son solucionables de una forma sencilla, por ejemplo, el espesor puede resolverse sustituyendo la hoja de ladrillo doble por un ladrillo simple, reduciendo de esa forma el tamaño del cerramiento en aproximadamente 4 cm. Mientras que, para evitar el puente térmico, sería necesario modificar la forma de construir esta solución, al igual que el desarrollo de la tecnología para buscar diferentes alternativas.

Con el objetivo de dar solución a estos inconvenientes se desarrollan diferentes variantes: una de ellas sería la fachada sin cámara de aire (Figura 3.6.), esta opción deja de un lado las ventajas que aporta la cámara de aire. Haciendo que el agua que se pueda filtrar en el interior o que pueda aparecer por la condensación del vapor de agua, pueda llegar a afectar a las condiciones de los materiales que componen la fachada. Se reduce la resistencia térmica, por lo que aumenta el consumo de energía necesario para conseguir la temperatura de confort térmico. En este caso se hacen recomendables aislantes térmicos hidrófugos, como el poliestireno extruido (XPS) o el poliestireno expandido hidrófugo (EPSH).



tivo fachada de doble hoja de ladrillo con
aislamiento por delante del forjado.
aplicaciones de aislamiento en edificación.

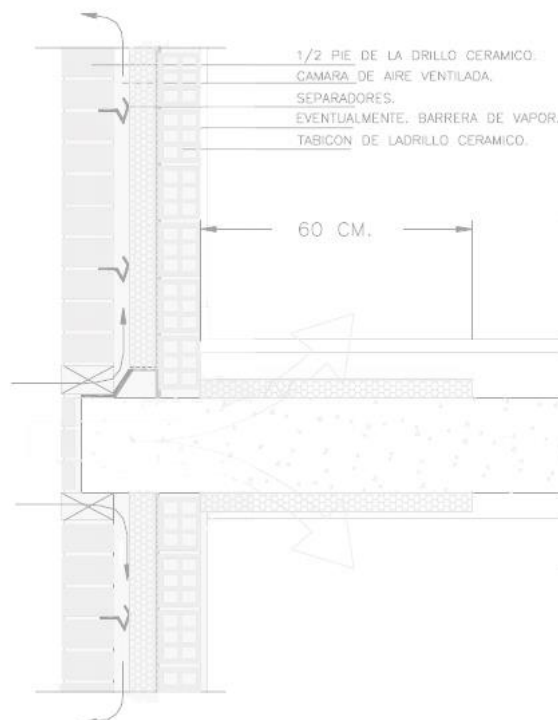


Figura 3.8.
Detalle constructivo fachada de doble hoja
de ladrillo con cámara de aire y aislamiento
sobre el forjado.
Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento

Sin embargo, la variante más utilizada en la arquitectura moderna es la fachada con cámara de aire y rotura de puente térmico en el frente del forjado. Para ello existen dos posibilidades, una en la cual la hoja exterior es soportada por una serie de perfiles metálicos, consiguiendo así la desvinculación de la hoja exterior del forjado, permitiendo pasar el material aislante por delante de este, suprimiendo así el puente térmico (Figura 3.7.). El único inconveniente es que se debe de cambiar el proceso de construcción, realizándose del interior hacia el exterior, impidiendo así poder ejecutar el enfoscado de la hoja exterior que le aportaba estanqueidad al interior de la cámara de aire. De otra forma se establece que puede llegar a evitarse el puente térmico gracias a la colocación de 1m, de material aislante en la parte superior e inferior del forjado, medido desde el borde del forjado (Figura 3.8.).

Cerramiento con trasdosado interior aislante. Tal y como muestra su nombre esta solución está formada por una hoja exterior auto-portante, a la cual se le aplica un enfoscado en la parte interior, sobre el cual se coloca un sistema portante de perfiles de chapa plegada que permiten la formación de una cámara de aire. De la misma forma estos perfiles sirven de elemento resistente sobre los cuales poder colocar atornilladas las placas de yeso laminado. Mientras que el material aislante es colocado adosado a la capa de cartón yeso, normalmente colocado entre la estructura auto portante que sujeta estas placas (Figura 3.9.).

La forma de ejecución de este sistema constructivo es el siguiente: en primer lugar, se ejecuta la hoja exterior de una forma similar a la descrita en el caso anterior. Sobre esta hoja se aplica un enfoscado en la cara interior, intentando no tapar las aberturas colocadas para permitir la ventilación de la cámara de aire. Sobre este enfoscado se colocan los perfiles metálicos que sirven de estructura para el acabado interior. A continuación, se coloca el material aislante, el cual puede ir entre el sistema estructural o adosado a la placa de cartón yeso (Figura 3.10.).

Ventajas: es necesario un menor espesor de cerramiento, por lo cual se aumenta el espacio habitable en el interior, facilita la colocación de las diferentes instalaciones, ya que no es necesario realizar rozas, ya que las instalaciones se colocan después de la estructura, apoyándose en la misma. Por último, posee todas las características ya descritas anteriormente de un cerramiento con cámara de aire.

Inconvenientes: la mano de obrar necesaria para ejecutar este tipo de solución debe de ser más especializada, por lo que significa más dificultad para encontrarla y mayor coste. Al igual que en la solución anterior aparece un problema en el encuentro entre el forjado y el cerramiento, surgiendo un puente térmico, a lo que se puede aplicar la misma solución.

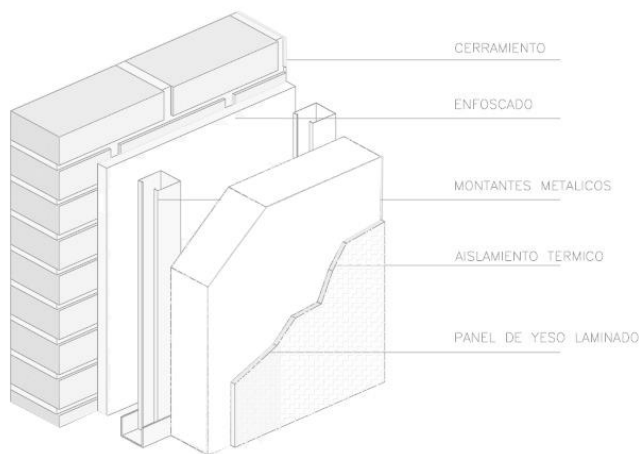


Figura 3.9.

Composición fachada con trasdosado interior aislante.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.



Figura 3. 10.

Proceso de construcción.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

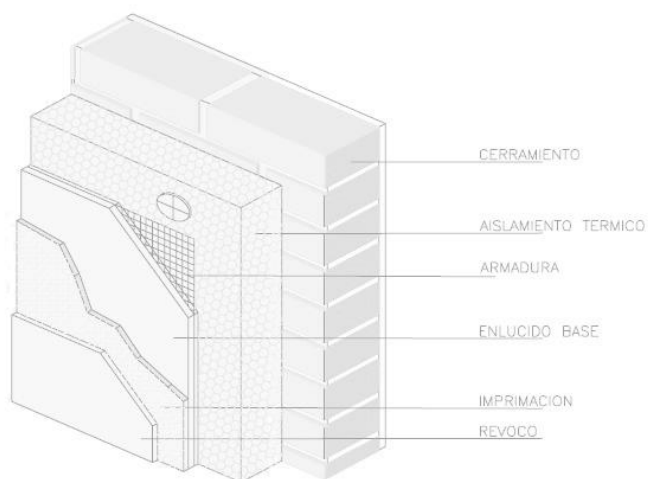


Figura 3.11.

Composición fachada con aislante exterior.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

Al igual que en la solución anterior, con el objetivo de seguir evolucionando el sistema, se plantea la colocación de un material que funcione como elemento de barrera de vapor. Evitando de esta forma la degradación de los paneles de cartón yeso, ya que estos son sensibles a la exposición al agua.

-Material aislante colocado en el exterior: este tipo de solución engloban a todos aquellos sistemas constructivos que estén formados por una hoja resistente colocada en la parte interior, sobre la que se coloca el material aislante en la parte exterior. Al estar colocado en la parte exterior, este material requiere ser protegido. Es aquí donde se introduce las posibles variaciones de esta solución. Pudiendo ser muy variadas, desde un acabado directo sobre el aislamiento hasta el diseño de un sistema de fachada ventilada.

Revestimiento directo: este tipo de soluciones es muy utilizado en la rehabilitación de edificios, en los cuales en la construcción interior no poseían aislamiento térmico, por lo que requieren un gran consumo de energía para conseguir el confort óptimo. De ahí que sea necesario incorporar un material aislante que complemente de esta forma la fachada original. Esa solución resulta eficiente ya que aprovecha al máximo la inercia térmica de la hoja principal.

Esta solución se forma a través de la colocación sobre el cerramiento base, ya determinado anteriormente, un panel de aislamiento térmico fijado a dicho elemento base. Sobre el material aislante se coloca un mortero con armadura de fibra de vidrio, el cual permite que este enfoscado de mortero adquiera unas propiedades resistentes adecuadas y no sufra deterioro a lo largo de su vida útil. Sobre este acabado de mortero se le puede aplicar diferentes capas de pintura, imprimación o revestimiento monocapa, de forma que tenga un aspecto mejor (Figura 3.11.).

Para este tipo de solución se deben de comprobar las características del material aislante, ya que no todos permiten la ejecución de este sistema. Esto es debido a que en esta solución el material debe de tener una cierta resistencia con el fin de poder hacer frente a la fuerza ejercida por el peso del revestimiento exterior. Por otra parte, este revestimiento suele estar expuesto al agua, lo que afecta a números materiales aislantes, produciendo una pérdida de las propiedades térmicas del mismo.

Ventajas en rehabilitación; mejora el aislamiento térmico del edificio, aportándole una protección frente al agua de lluvia, evitando filtraciones. Mejora la estabilidad de la fachada frente a situaciones de dilataciones y contracciones, ya que protege de los cambios de temperatura, esto hace que evite la generación de fisuras.

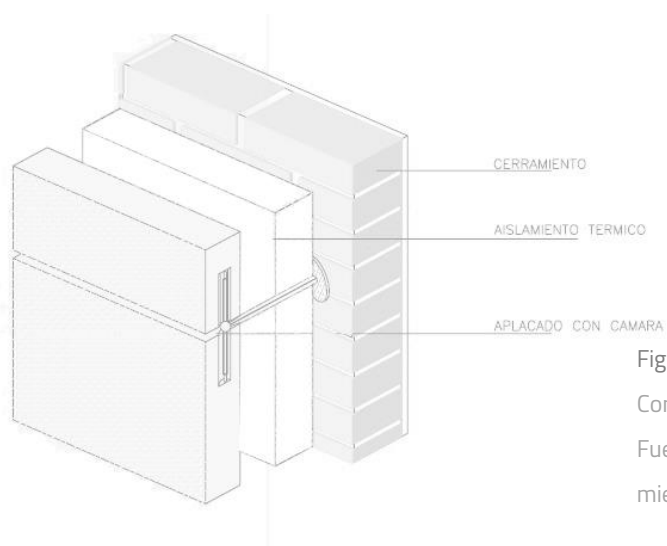


Figura 3.12.

Composición fachada ventilada.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

Figura 3.13.

Panel metálico ondulado sobre material aislante.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.



Inconvenientes: reduce la ventilación del interior del cerramiento, facilitando la generación de condensaciones intersticiales. Se aumenta la deformabilidad del cerramiento, por lo que puede ser dañado al impactar un objeto duro sobre el cerramiento.

Fachada ventilada: podemos considerarla similar a la anterior, con la única variación del tipo de acabado exterior y la posición del mismo (Figura 3.12.). Es decir, encontramos una hoja portante igual que en la solución anterior, sobre su cara exterior se coloca el material aislante. A continuación, comienzan las variaciones, ya que se dispone de una cámara de aire ventilada, a la cual se da lugar gracias a la colocación de una serie de anclajes o subestructura que separan y sujetan el acabado exterior del aislamiento. Este acabo exterior puede ser de muchas maneras diferentes al igual que la estructura que lo sujeta, que dependerá del material colocado como acabado.

Ventajas: la disposición de la cámara de aire ventilada permite la evacuación o evaporación del agua que se encuentra en el interior, ya sean provenientes de filtraciones o condensaciones, de esta manera el material aislante no sufre. El sistema de acabado compuesto de diferentes placas entre las cuales aparecen una serie de juntas, que permiten los movimientos producidos por la dilatación y contracción del mismo.

Inconvenientes: en ambientes húmedos, el efecto de la cámara de aire no es suficiente para evacuar la humedad y hace que esta afecte al material aislante, perdiendo parte de sus propiedades térmicas. De la misma manera, al estar este aislante en contacto con la cámara de aire ventilada, conectada con el exterior es necesario tener en cuenta el grado de inflamabilidad del material.

Por otra parte, hay que prestar especial atención a las condiciones en las cuales se debe de encontrar la cámara de aire, de forma que se garantice una continuidad y limpieza, con el objetivo de conseguir el correcto funcionamiento de esta. Prestando especial atención a los zócalos o zonas bajas de la fachada, macizando o sobredimensionando las mismas.

Con el objetivo de poder solucionar los posibles problemas planteados por esta solución, la técnica ha aportado una serie de variantes a este sistema constructivo; como puede ser la incorporación de unos paneles ondulados de un material metálico (Figura 3.13.), unidos mediante solapamiento en la junta horizontal y sellado en la vertical, con el objetivo de evitar que penetre el agua en el material aislante. Esta solución se utiliza en zonas en la que la humedad ambiental es muy elevada. Estos paneles tienen una forma ondulada con el fin de facilitar la ventilación de dicha cámara, arrastrando con ello la humedad del interior de la cámara.

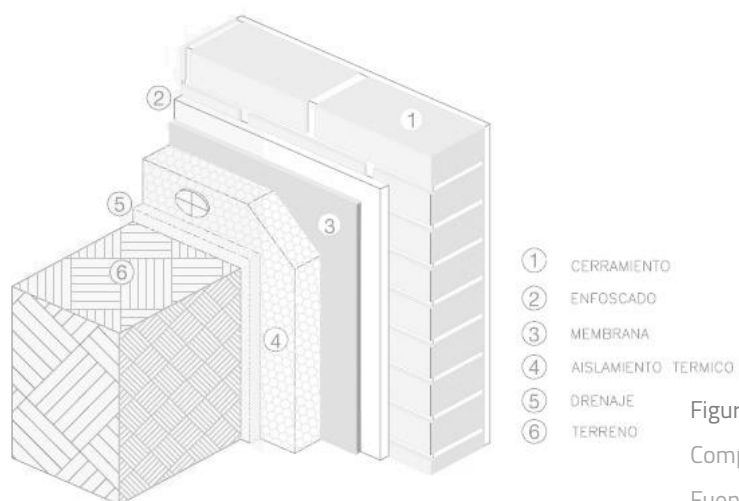


Figura 3.14.

Composición de muros enterrados.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

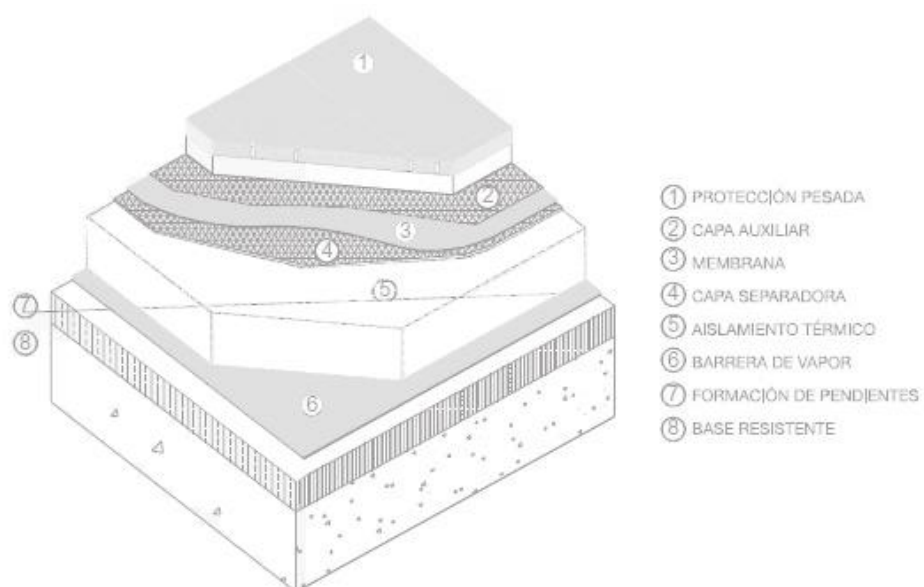


Figura 3.15.

Composición de cubierta plana tradicional.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

Muros enterrados; esta solución responde a la necesidad de aislar los cerramientos que están en contacto con el terreno, por lo cual corresponde a climas muy fríos y con un uso que obliga a aumentar la resistencia térmica de la solución base (Figura 3.14.). Para ello sobre el cerramiento de sótano, se realiza un enfoscado con el objetivo de establecer una superficie regular y continua sobre la que colocar una capa impermeable, que evite filtraciones al espacio interior. Sobre esta capa se coloca los paneles de aislamiento térmico, que dadas las condiciones en las cuales va a trabajar debe de responder a una resistencia al agua. Sobre el aislamiento y con el objetivo de alejar de este la máxima cantidad de agua posible, se establece un sistema de drenaje, que extraiga el agua que se pueda acumular en el terreno colocado a continuación.

Ventajas: la capa impermeable queda protegida por el aislamiento, evitando de esta forma el posible deterioro provocado por el terreno de relleno.

Inconvenientes: al vernos obligados a colocar un aislamiento con características hidrófugas, hace que se encarezca la construcción del cerramiento, frente a una posible solución de aislamiento por el interior. El sistema de anclaje debe de ser el correcto, ya que puede llegar a perforar la lámina impermeabilizante, provocando de esa forma filtraciones en el interior.

Cubiertas:

Las soluciones constructivas utilizadas para resolver las cubiertas vienen determinadas por la necesidad de evacuar el agua de lluvia. Esta evacuación se puede dar de múltiples maneras, pero teniendo en cuenta la inclinación de estos elementos, podemos determinar la solución adoptada para la evacuación de agua. Por lo tanto, podemos identificar de una forma muy clara dos tipos de cubiertas; la cubierta plana y la cubierta inclinada.

- Cubiertas planas; esta tipología corresponde a las situaciones en las que el cerramiento superior del edificio se encuentra en situación horizontal. Dentro de este tipo de cubiertas podemos encontrar otra clasificación, la cual dependerá de la posición en la que se encuentre la lámina impermeabilizante con respecto al material aislante. Pudiendo estar en la parte inferior del aislamiento o en la parte superior del mismo, en el caso que el aislamiento se encuentre bajo la impermeabilización se denomina cubierta plana tradicional. Por lo contrario, si este material se encuentra sobre la impermeabilización se denomina cubierta invertida.

Cubierta plana tradicional; esta solución es la más extendida dentro de las cubiertas planas, generándose mediante la colocación sobre el forjado resistente un material que aporte la pendiente necesaria



Figura 3.16.

Composición de cubierta plana tradicional ajardinada.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

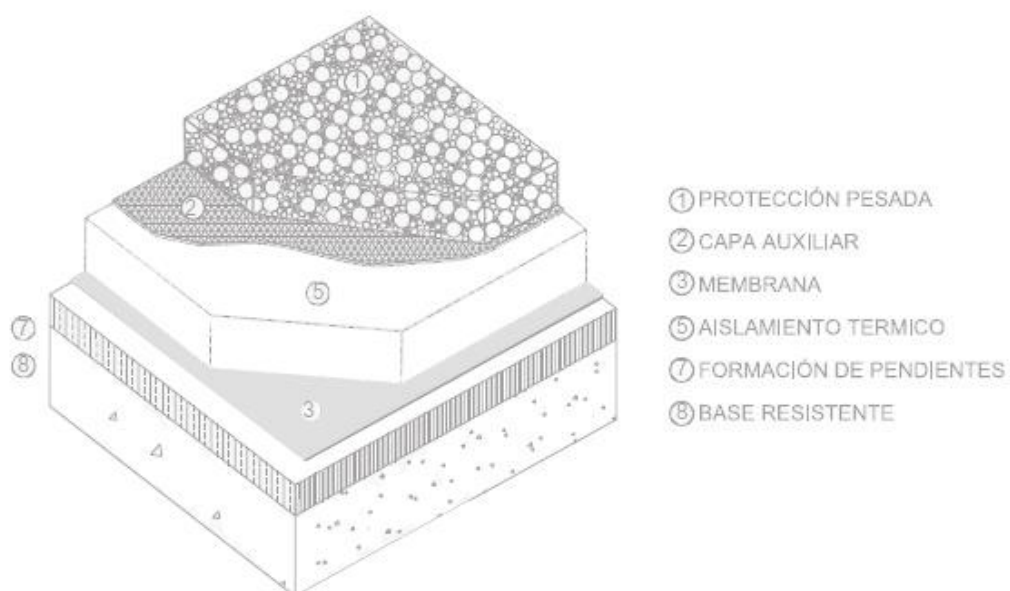


Figura 3.17.

Composición de cubierta plana invertida.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

para la evacuación del agua, normalmente es utilizado un mortero de formación de pendiente. Una vez que está establecida la pendiente, se coloca el aislamiento térmico, simplemente apoyado sobre el elemento rígido. Este material aislante debe de poseer unas características de resistencia a compresión, ya que debe de ser capaz de soportar el peso de las capas superiores. Estas capas son la capa impermeabilizante, sobre la cual se coloca un material geotextil antipunzonante y antiadherente con una función clara, de protección. Esto permite que sobre este sistema ya creado pueda colocarse prácticamente cualquier acabado superior, siempre y cuando tenga una determinada masa (Figura 3.15.).

Ventajas: esta solución resuelve de una manera muy compacta los problemas para los cuales está creada. Todas las capas que componen las soluciones son completamente independientes, permitiendo así evitar los posibles problemas causados por movimientos de dilataciones o contracciones diferenciales, estabilizando de esta forma perfectamente el conjunto.

Inconvenientes: no se establece ningún mecanismo por el cual se puedan eliminar filtraciones o condensaciones producidas en el interior del cerramiento. Este tipo de cubiertas necesitan una especial atención en los puntos singulares ya que pueden llegar a producirse problemas a la hora de ejecutar la obra. Estos inconvenientes llevan a la obligación de sobrepasar la cota de acabado con el material impermeabilizante al menos en una altura de 15 cm, creando así un zócalo de estanqueidad, debiendo estar en todo momento protegida de los agentes externos.

Este tipo de cubiertas pueden llegar a cambiar, simplemente colocando otro acabado superior diferente. Sin embargo, a la hora de elegir este acabado hay que tener en cuenta la masa, ya que si este es demasiado ligero se deberá de optar por una fijación diferente, ya que no podrá ser fijado mediante gravedad. Haciendo necesario que la capa impermeabilizante este unida al resto del sistema, compensando así la acción del viento.

Por otro lado, si el acabado superior se decide que esté compuesto por una capa de tierra, creando así una cubierta ajardinada (Figura 3.16.). Obliga a aumentar las capas de protección de la lámina impermeabilizante, colocando sobre ella un sistema de drenaje y una capa auxiliar filtrante que permita colocar encima la tierra vegetal.

Cubierta plana invertida; como hemos visto en las cubiertas tradicionales, el mayor problema es la capa impermeabilizante y la cantidad de capas protectoras necesarias. Por ello surgió la denominada cubierta invertida, en la cual está el aislamiento se coloca por encima de la capa impermeabilizante, actuando de esa forma como elemento protector (Figura 3.17.).



Figura 3.18.

Ejemplo cubierta inclinada.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

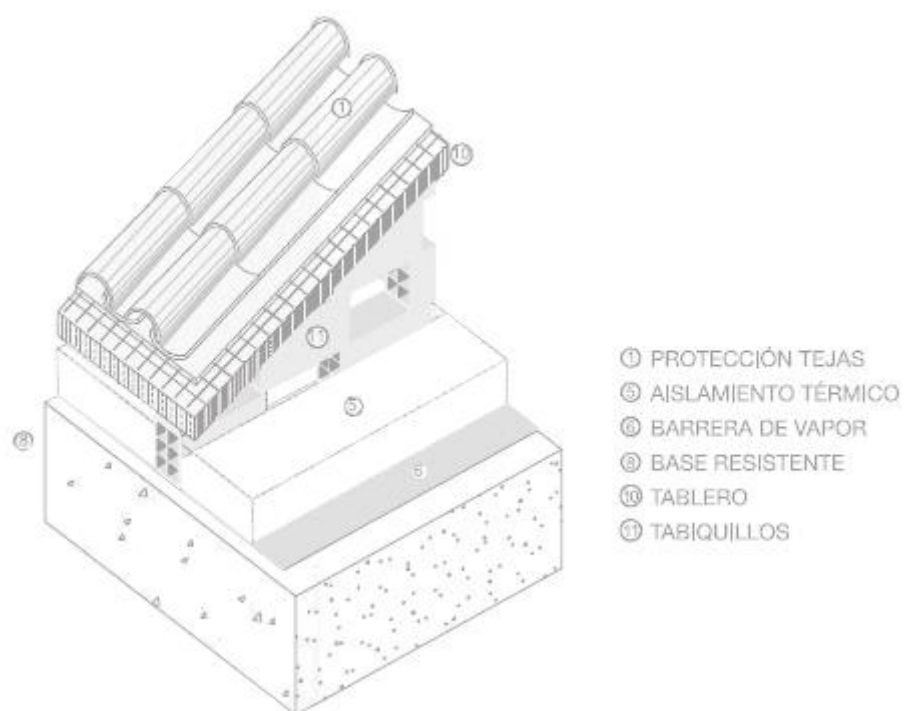


Figura 3.19.

Composición de cubierta inclinada con soporte horizontal.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

Esta posición del material aislante, haría innecesaria la colocación de una lámina de barrera de vapor, ya que la capa impermeabilizante ya actuaría con esa función. En contra nos encontramos la necesidad de unas mayores características del material aislante, ya que este va a estar en contacto con el agua de la lluvia, lo que hace necesario la utilización de un material hidrófugo.

De la misma forma que la cubierta convencional, en esta, las capas pueden estar unidas entre ellas o no, dependiendo de la pesadez que caracterice el acabado superior de la misma.

Ventajas: la situación de la lámina impermeabilizante resulta inmejorable, ya que está protegida por el aislamiento tanto por las sollicitaciones mecánicas como por las térmicas y ambientales. Dependiendo de qué acabado superior se coloque, puede llegar a funcionar como inercia térmica ayudando así a conseguir el confort térmico.

Inconvenientes: este tipo de cubiertas no permiten ser accesibles, salvo para mantenimiento, lo que restringe determinados usos que se podrían llegar a dar en ella. Al igual que en la cubierta singular se debe de prestar especial atención a los puntos singulares y realizar el zócalo de estanqueidad.

Existen ciertas variantes de esta solución en la cual se permite realizar la cubierta accesible, de modo que la capa de acabado se sustituye por un pavimento transitable. Este cambio produce unos ciertos problemas, ya que el agua se puede filtrar a través de las juntas, haciendo recomendable el uso de algún sistema de drenaje complementario.

-Cubiertas inclinadas; son aquellas que cuentan una cierta pendiente facilitando así la evacuación del agua de lluvia al exterior. Estas se pueden clasificar de muchas maneras, pero la más relevante es la que hace referencia a la posición en la cual se coloca el elemento resistente. Ya que este puede ser un soporte horizontal o inclinado (Figura 3.18.).

Cubierta inclinada con soporte horizontal: se denomina así a toda aquella solución de cubierta inclinada en la cual, el elemento estructural se encuentra en posición horizontal (Figura 3.19.), por lo que para conseguir la pendiente necesaria se plantean una serie de tabiques. Estos tabiques trasladan las cargas del elemento inclinado al forjado, dando la inclinación necesaria. Estos tabiques están formados por ladrillos huecos dobles, los cuales no completan la totalidad del elemento arquitectónico, creando tabiques calados. Estos se colocan a una distancia de aproximadamente 1 metro, de forma que se pueda disponer sobre ellos unos paneles cerámicos que compongan el tablero inclinado. Sobre el cual poder disponer las diferentes capas de acabado de la cubierta.

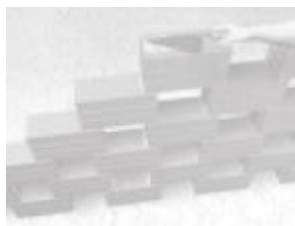


Figura 3.20.

Proceso de construcción.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

Figura 3.21.

Detalle constructivo cubierta plana a la catalana.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.



La primera de las capas que se coloca sobre este tablero es una capa de compresión, con el objetivo de convertir este en un único elemento solidario y uniforme, de forma que sobre él se puedan establecer los elementos de acabado superior, generalmente tejas.

El aislamiento térmico se sitúa apoyado sobre el elemento resistente, entre los diferentes tabiquillos palomeros, de forma que se aisle el espacio interior dejando un espacio de aire entre el interior y el exterior, que actúa como colchón térmico (Figura 3.20.).

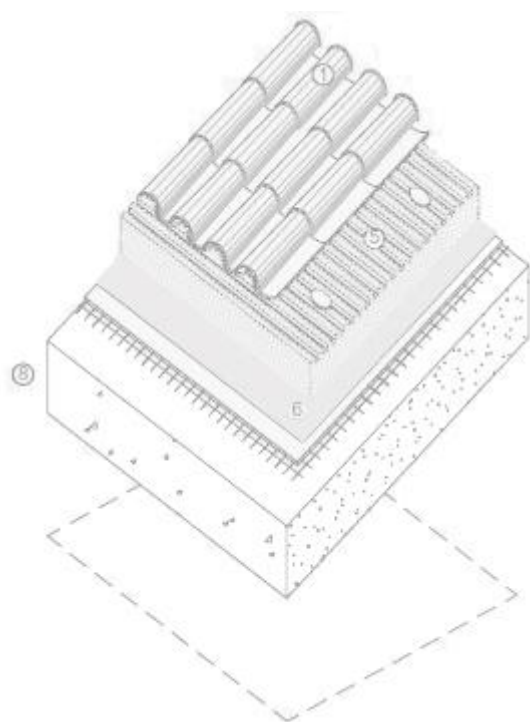
Ventajas: tal y como hemos comentado, el espacio resultante entre el elemento horizontal y el inclinado, proporcionando un espacio que permite la ventilación del mismo, consiguiendo de esa forma la eliminación de pequeñas filtraciones o humedades que se puedan crear. Por otra parte, este tipo de solución permite evacuar el agua con una gran velocidad, evitando así las retenciones de la misma y por lo tanto el riesgo de filtraciones.

Inconvenientes: no es posible el aprovechamiento del espacio bajo cubierta, esto es debido a la escasa altura en determinados puntos y la compartimentación del espacio con los tabiquillos palomeros. Esto también produce una discontinuidad del material aislante, generando un puente térmico que se intenta reducir al mínimo. Como todas las cubiertas pueden resultar difícil de ejecutar determinados puntos singulares, de forma que se mantenga la impermeabilización de la superficie.

Este tipo de cubiertas no necesitan una capa impermeabilizante, como ocurre en la cubierta plana. Esto es debido a que esta se produce a través de la inclinación y el solape de las piezas de acabado, siendo estas variables según el tipo de acabado utilizado. Generalmente este acabado está compuesto por tejas de diferentes tipos y materiales, las cuales se colocan por hiladas, comenzando desde la parte inferior, estos elementos son fijados con mortero cada cinco hiladas.

Para evitar el posible puente térmico generado por la discontinuidad del material aislante, existe la posibilidad de colocar el material aislante de una forma continua sobre el elemento rígido. De esta forma los diferentes tabiques se levantarán sobre el material aislante, para que esto sea posible es necesario que el material aislante sea de alta densidad y resistencia a compresión, con el objetivo de que sea capaz de resistir la fuerza ejercida por los tabiquillos palomeros y el panel inclinado.

Este tipo de cubiertas tiene una variante como sistema de cubierta plana. De esta forma se establece una cubierta con una cámara ventilada, aportando las ventajas que esto conlleva, ya que permite la eliminación de humedades y posibles filtraciones. Este tipo de cubierta se denomina cubierta plana a la catalana (Figura 3.21.).



- ① PROTECCIÓN PESADA TEJAS
- ② AISLAMIENTO TÉRMICO
- ③ BARRERA DE VAPOR (OPCIONAL)
- ④ BASE RESISTENTE
- ⑤ CAPA DE REGULARIZACIÓN (OPCIONAL)

Figura 3.22.

Composición de cubierta inclinada con soporte inclinado.

Fuente: Guía de aplicaciones de aislamiento en edificación.

Otra de las variaciones que se han llegado a introducir sobre la cubierta inicial es la posibilidad de eliminar los tabiquillos que sujetan el panel inclinado, de forma que se soluciona de una forma muy efectiva los problemas de puentes térmicos antes mencionado. Para ello se sustituyen estos por perfiles ligeros de chapa galvanizada plegada en frío.

Cubierta inclinada con soporte resistente inclinado; este tipo de cubierta es el más utilizado, cuando se quiere conseguir que el espacio bajo cubierta sea habitable (Figura 3.22.). Por lo que el forjado resistente se coloca de forma inclinada, sobre la cual se debe de colocar una capa regularizadora, con el objetivo de poder colocar una barrera de vapor que actúa evitando así la filtración de agua al interior del edificio. Tras esta capa es posible la colocación del material aislante, fijados mecánicamente al forjado de la cubierta. Este tipo de materiales está diseñado de forma que aparecen sobre él una textura ranurada que sirve de soporte a los materiales de acabado superior.

Ventajas: este tipo de soluciones permite la utilización del espacio que queda bajo cubierta, de forma que se gana superficie útil dentro del edificio. Al igual que ocurre con todas las cubiertas inclinadas, se proporciona una alta velocidad del agua, impidiendo así las retenciones y riesgo de filtraciones, sin ser necesaria la utilización de una capa impermeabilizante.

Inconvenientes: la impermeabilización de la cubierta se realiza a través de un solape e inclinación adecuados, dependiendo del tipo de cobertura planteado. Los elementos de acabado se colocan de la misma forma que en la solución explicada anteriormente.

Con el objetivo de reducir el peso de los elementos de cubierta se establecen variaciones del mismo, sustituyendo los elementos resistentes por perfiles metálicos o de madera, de forma que estos establezcan un entramado rígido que puede ser el perfecto sustituto del forjado.

Con el objetivo de conseguir la eliminación del vapor de agua, evitando así las posibles condensaciones, se diseña la siguiente variación. La cual consiste en la colocación de una serie de rastreles horizontales, sobre los cuales apoyan los elementos de acabado. De esta forma se consigue separar este acabado del material aislamiento, creando una cámara de aire ventilada que permite eliminar posibles filtraciones.

4. Estudio necesidades del material

Hasta ahora nos hemos centrado en un estudio de necesidades del edificio, identificando un objetivo claro, conseguir un espacio confortable. Detrás de esta meta han ido los arquitectos y constructores a lo largo de la historia de esta profesión. En este repaso por la historia de la arquitectura hemos visto como las diferentes normativas van de la mano de este mismo objetivo.

Sin embargo, en los últimos años se han aparecido otros enfoques hacia los cuales se dirige la sociedad y por lo tanto la arquitectura. Estas nuevas corrientes hacen que ya no solo se persiga el confort térmico del conjunto del edificio, sino que se persigue conseguir que todas y cada una de las piezas que conforman el gran conjunto del edificio cumplan una serie de requisitos relacionados con la sostenibilidad del medio ambiente.

Para ello durante los últimos años se han desarrollado una serie de normas, estudios y herramientas que permiten realizar una comparación entre materiales y establecer el grado de respeto al medio ambiente de cada uno de estos materiales. Dentro de estos elementos caben destacar el análisis de ciclo de vida, las Normas UNE, afectándonos las que hacen referencia a los materiales aislantes y las diferentes etiquetas de eficiencia energética que podemos encontrar.

Sin embargo, no tenemos que dejar de lado en ningún momento la función que desarrolla este material dentro del edificio. Por lo que el material debe de responder ante unas ciertas exigencias establecidas en las Normas UNE, pero de la misma forma este tiene que responder a las solicitudes del edificio en el que se está aplicando. Siendo estas últimas, piezas determinantes para conseguir edificios de consumo casi nulo, sin embargo, del mismo modo el edificio no solo le exigirá propiedades térmicas, sino que deberá de satisfacer demandas variadas, como pueden ser; resistencia al vapor de agua, resistencia al fuego o resistencia a compresión y tracción. Debiéndose conocer la solución arquitectónica en la cual se va a aplicar el material, con la finalidad de determinar estas exigencias, al igual que el formato, tamaño y rigidez del material a usar.

4.1. Estudio normativo.

4.1.1. Análisis del ciclo de vida.

En la arquitectura tradicional se utilizaban materiales que se podían encontrar próximos al lugar de construcción, debido a que no existía la facilidad actual para transformar y transportar dichos materiales. Esto cambió con la evolución de la tecnología, hasta el punto de llegar a utilizar en el proyecto materiales fabricados u obtenidos en el lado opuesto del mundo. Esto conlleva un gran gasto de energía, la cual normalmente es obtenida a través de la quema de materiales fósiles, obteniendo con ello una gran cantidad de contaminación.

Sin embargo, no solo el lugar de procedencia ha cambiado; también ha cambiado la forma de producir estos materiales, esto también viene asociado a la evolución tecnológica, ya que se han desarrollado materiales que aportan nuevas características al edificio, sin tener en cuenta cómo se producen y por lo tanto cómo afecta esto al mundo que nos rodea.

Debido a esto, podemos decir que el consumo de energía necesario para la construcción de un edificio se ha disparado en cantidades impensables antes de la revolución industrial. Apoyándonos en diversos estudios¹³, concluimos que para la construcción de un metro cuadrado de un edificio tipo, debemos de utilizar una cantidad de energía equivalente a la producida por la combustión de más de 150 litros de gasolina. Si pasamos esta cantidad a material de dióxido de carbono, podemos decir que por cada metro cuadrado se aportarán a la atmosfera de media 0.5 toneladas de dióxido de carbono y un consumo de 1600 kWh. Este dato viene de tomar los datos de un edificio estándar y considerando solo el impacto de la fabricación de los materiales, a esto habría que añadirle el impacto producido durante el proceso de construcción e incluso el producido en el proceso de eliminación del material.

Con el fin de cuantificar el gasto de energía necesario para la fabricación, uso y reciclaje de un material se estableció un nuevo análisis a tener en cuenta a la hora de comercializar y utilizar un producto. Este se denomina Análisis de ciclo de vida (Figura 4.1.), o con su nombre en inglés Life Cycle Asses-

¹³ Zabalza Bribián, I., Días de Garayo, S., Aranda Usón, A., & Scarpellini, S. (s.f.). Ecohabitar actualidad. Obtenido de <https://ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/>



Figura 4.1.

Ciclo de vida de un producto.

Fuente: Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación.

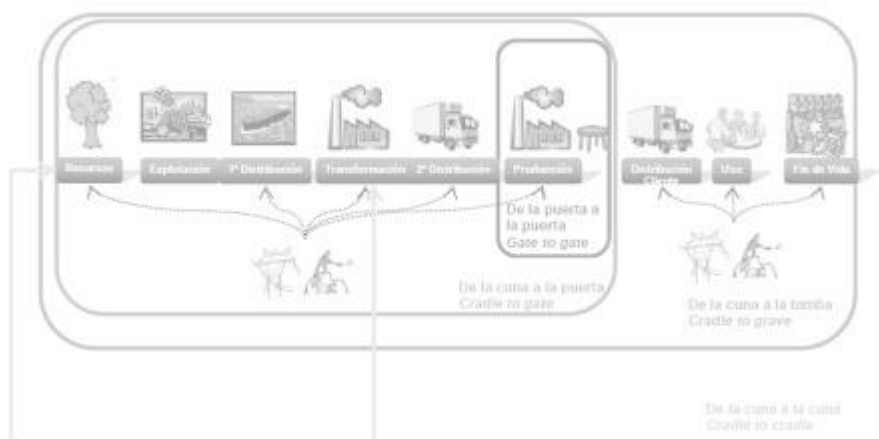


Figura 4.2.

Fases de estudio del ciclo de vida de un producto.

Fuente: Apuntes arquitectura y sostenibilidad, Universidad de Zaragoza.

ment (LCA), buscando una evaluación objetiva del impacto ambiental relacionado con el producto al que se hace referencia. Esta evaluación ambiental se puede aplicar a diferentes productos o servicios, relacionados o no con la arquitectura, incluyendo desde el material más pequeño utilizado en la arquitectura hasta el análisis completo de un edificio, pasando por una solución constructiva concreta.

Se pueden llegar a realizar tres análisis diferenciados, los cuales dependen del alcance al que llega el análisis, y por lo tanto la cantidad de procesos o transformaciones que se han llevado a cabo hasta la utilización o eliminación del mismo. Este análisis se puede dividir en tres tipos diferentes (Figura 4.2.):

- “De la cuna a la puerta” en la que se realiza el análisis de la extracción de la materia prima, transformación de la misma, transporte del material y proceso de producción del producto.
- “De la cuna a la tumba” podemos decir que este análisis parte del anterior para ampliarlo, añadiéndole el análisis del consumo producido durante el periodo uso del mismo. En este apartado se incluye el consumo producido por su mantenimiento, reutilización y eliminación.
- “De la cuna a la cuna” este análisis se realiza para aquellos materiales que se consideran infinitamente reciclables, creando de esta forma un ciclo permanente de creación, uso y eliminación del producto. Este proceso conlleva un cambio en la vida de un producto, pasando de un proceso lineal a un proceso cíclico.

Tenemos claro que existe una relación entre todas las etapas de la vida de un edificio, por eso desde la arquitectura se debe realizar un abastecimiento responsable de los productos de construcción. Para llevar a cabo este abastecimiento responsable es imprescindible tener este análisis realizado, con el objetivo de poder comparar entre los diferentes productos entre los que poder elegir.

La metodología con la cual se realiza el Análisis de Ciclo de Vida está totalmente pautada a través de las normas UNE EN ISO 14040:2006 y UNE EN ISO 14044:2006, estableciendo 4 fases interrelacionadas (Figura 4.3.):

- 1 Definición del objetivo y alcance que depende del tema y del uso previsto del estudio.
- 2 Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV), que consiste en la recopilación de los datos que necesitamos para llevar a cabo el estudio.
- 3 Evaluación del impacto medioambiental (EICV), que tiene el objetivo de proporcionar información adicional para ayudar a evaluar los resultados del ICV de un sistema del producto a fin de comprender mejor su importancia ambiental.
- 4 Interpretación de los resultados del ICV y del EICV.



FIGURA 2. Metodología general del ACV.

Figura 4.3.

Metodología general del ACV.

Fuente: Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación.



FIGURA 3. Inventario del ciclo de vida aplicado a un proceso unitario del sistema.

Figura 4.4.

Inventario del ciclo de vida aplicado a un proceso unitario del sistema.

Fuente: Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación.

El uso generalizado de este tipo de análisis en productos utilizados en arquitectura conlleva conseguir numerosas ventajas, sobre todo centradas en facilitar la toma de decisiones en cuanto a los materiales a elegir, siempre y cuando desde el diseño y dirección de obra se motive el uso de estrategias medioambientales. Esto viene respaldado por el pensamiento de la sociedad actual que busca un cuidado del medio ambiente, lo cual nos lleva a buscar en los edificios unas características ambientales las cuales podemos comparar a través de este proceso de análisis.

A continuación vamos ampliar la información sobre los procesos a realizar para obtener un ACV, para ello nos apoyamos en el Manual explicativo del Análisis de ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación¹⁴, y en la metodología de generación de ACV regulada por las normas ISO-14040:2006 e ISO 14044:2006.

Como ya hemos comentado, este proceso se divide en cuatro fases, aunque pueden existir estudios simplificados en los cuales puede llegar a eliminarse alguna de las fases, estableciendo así una metodología dinámica, estableciendo interrelaciones entre las cuatro fases. Por eso a medida que se obtienen resultados se pueden considerar las hipótesis planteadas o modificar los datos utilizados en cualquiera de las fases.

Definición de objetivos y alcance;

Este apartado debe de definirse claramente y ser consistente con el objetivo que persigue, ya que este conforma la base sobre la cual se desarrolla el resto del análisis. Por lo que se debe de definir claramente la aplicación y las razones que persigue. Este puede variar, dependiendo de muchos factores, según el alcance, función del elemento a analizar, localización del material, momento de la vida del producto en el cual se haga el estudio. Con el objetivo de poder realizar una comparación con otros elementos, se debe de utilizar una misma unidad funcional. Este análisis debe de definir los siguientes aspectos:

- La función del sistema a estudiar.
- La unidad funcional.
- El sistema.
- Los límites del sistema.
- Categoría y metodologías de evaluación del impacto.
- Requisitos de calidad de los datos.

¹⁴ Proyecto Enerbuilca. (2012). Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación.

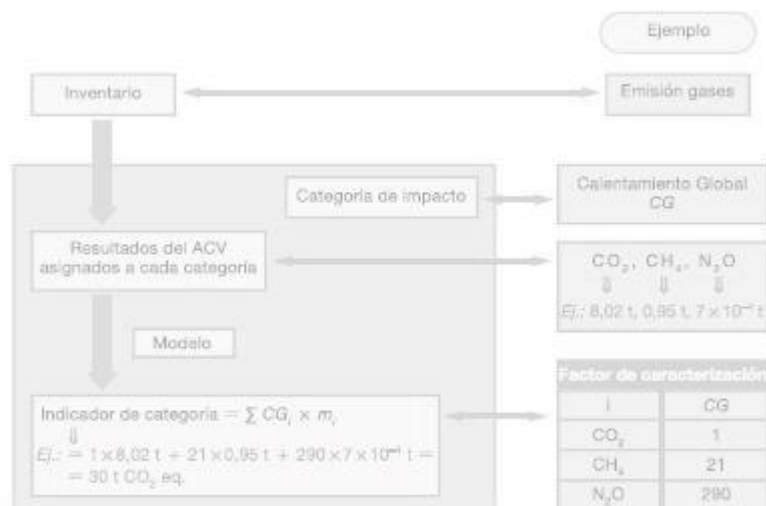


FIGURA 4. Fases de clasificación y caracterización en la EICV, Categoría de calentamiento global.

Figura 4.5.

Interpretación de los resultados de un ACV.

Fuente: Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación.

Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)

Este apartado consiste en la obtención de datos y procedimientos de cálculo con el objetivo de cuantificar las entradas y salidas relevantes en cada uno de los procesos que formen parte del sistema analizado (Figura 4.4.). Principalmente nos interesa los flujos energéticos y de materiales que provienen de la naturaleza sin ningún tipo de transformación previa o que van directamente a la naturaleza. Para cada uno de los procesos se cuantifican las entradas de uso de energía y materias primas, mientras que en las salidas se incluyen emisiones al aire, agua y suelo, subproductos y otros vertidos.

Evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV)

En esta fase se agrupan y evalúan los resultados del inventario de ciclo de vida de acuerdo a las categorías de impacto, seleccionadas en la fase de definición de objetivos y alcance. Cada una de las categorías se cuantifica mediante indicadores numéricos, para lo cual se aplican métodos de evaluación de impactos, dentro de la cual se establecen las siguientes categorías;

- Clasificación; asignación de los datos del inventario a las categorías de impacto previamente seleccionadas y siguiendo el método de evaluación escogido.
- Caracterización; determinación de la relevancia de los distintos flujos energéticos y materiales para poder calcular de esa forma los indicadores numéricos de cada una de las categorías de los impactos. Esto se lleva a cabo a través de una conversión de cada categoría a unidades comunes, realizando una equivalencia.
- Normalización; se establece la importancia de los indicadores análisis en relación con las magnitudes y escala, con el objetivo de conocer el grado de contribución de cada categoría al conjunto.
- Ponderación; utilizando la normalización se realiza un ajuste de los valores de cada una de las categorías, con el objetivo de poder compararlas directamente. Convirtiendo todos los datos obtenidos en un único valor global.

Interpretación de resultados

En este apartado se pretende combinar los resultados de las fases anteriores, con la misión de obtener conclusiones y recomendaciones útiles para la toma de decisiones (Figura 4.5.).

4.1.2. Eco-Etiqueta a cumplir por el material

Hasta ahora hemos visto cómo el análisis de ciclo de vida de los productos utilizados en la construcción podría ser determinante para la elección entre varios productos similares. Pero este no es el único indicador que puede funcionar con ese mismo objetivo, sino que aparecen otros modelos denominados Eco-Etiquetas. Estas etiquetas son conocidas como Declaraciones ambientales de producto (DAP). Estas declaraciones ambientales están reguladas a través de diferentes normativas ISO, las cuales hacen referencia a diferentes tipos de etiquetas. La finalidad de estas declaraciones es aportar información cuantitativa del impacto ambiental de un producto a lo largo de su ciclo de vida. La finalidad de estas es informar sobre los datos obtenidos en el análisis, de forma que ayude a tomar las decisiones adecuadas para el proyecto y su ejecución en obra. Algunas de estas etiquetas deben de estar verificadas por un agente independiente y reconocido para ello.

Dentro de la normativa ISO 14020 podemos identificar tres tipos de etiquetas ambientales diferentes:

- Tipo I: regulada por la normativa UNE-EN ISO 14024:2001. También denominadas Eco-Etiquetas, responden a un programa específico en el que una tercera parte define los requisitos a cumplir para diferentes categorías de productos. Es decir, un organismo independiente establece los requisitos a cumplir por cada una de las familias de materiales constructivos. De la misma forma este organismo debe de verificar si se cumplen los requisitos y es el que tiene la posibilidad de otorgar la autorización para usar una determinada etiqueta ecológica.
- Tipo II: regulada por la normativa UNE-EN ISO 14021:2002. Son auto-declaraciones ambientales, que tienen poca fiabilidad ya que no están sometidas a la verificación por una tercera parte u organismo reconocido, sino que el propio fabricante declara que su producto tiene una serie de características, sin la posibilidad de verificar por el comprador, por lo que funciona como un simple argumento de venta.
- Tipo III: reguladas por las normativas UNE-EN ISO 14025:2010 y UNE-ISO 21930:2010. Son declaraciones ambientales de producto, que tienen la finalidad de aportar información cuantitativa de los distintos impactos ambientales que puedan ocasionar un producto a lo largo de su ciclo de vida. Este tipo de etiquetas deben de estar verificadas por un agente independiente realizados bajo unas directrices establecidas, permitiendo realizar al comprador una comparación equitativa entre distintos productos similares, ya que siguen unas reglas específicas para cada tipo de producto, denominadas Reglas de Categoría de Producto (RCP)

4.1.3. Normas UNE.

Hasta ahora hemos estudiado las normativas generales que le pueden afectar a los materiales aislantes, estudiando las diferentes normativas que regulan el uso del material formando parte de un edificio. Sin embargo, no hemos analizado ninguna normativa que regule de alguna forma las necesidades del material. Por lo que el objetivo de este apartado es realizar un estudio de las diferentes normativas que regulan estos materiales.

UNE-EN-ISO-29767:2020: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a corto plazo por inmersión parcial.

Esta norma determina el equipo y los procedimientos para determinar la absorción del agua a corto plazo por inmersión parcial, de productos de aislamiento térmico. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-ISO-16535:2019: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a largo plazo por inmersión parcial.

Esta norma determina el equipo y los procedimientos para determinar la absorción del agua a largo plazo por inmersión parcial, de productos de aislamiento térmico. Se puede proceder mediante dos métodos:

- Método 1: Inmersión parcial
- Método 2: Inmersión total

Este apartado pretende simular la absorción de agua causada por exposición al agua a largo plazo. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-ISO-16536:2020: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a corto plazo por difusión.

Esta norma determina el equipo y los procedimientos para determinar la absorción del agua a largo plazo de probetas de ensayo por difusión. Se pretende simular la absorción de agua de productos

expuestos a humedades relativas altas (100%), en ambos lados y con un gradiente de presión de vapor de agua durante el período de tiempo largo, por ejemplo, cubiertas invertidas o aislamientos del suelo sin proteger.

Este tipo de ensayos no se pueden realizar para todos los tipos de materiales, la norma establece para que tipo de productos puede ser aplicable dicha normativa. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-13497:2018: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la resistencia al impacto de los sistemas compuestos para aislamiento térmico externo (ETICS).

La resistencia al impacto de un material es la resistencia que posee dicho material al impacto de un cuerpo rígido. Este valor es determinado al dejar caer una bola de acero que cae sobre la superficie del material. Determinando el nivel de energía y la altura desde la cual se deja caer dicha bola a través de una tabla y determinando los daños producidos sobre el material, se obtiene la resistencia al impacto de los sistemas compuestos. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-ISO-13786:2017: Prestaciones térmicas de componentes para edificación. Características térmicas dinámicas. Métodos de cálculo.

Este documento especifica los métodos de cálculo de las características térmicas de carácter dinámico de los materiales aislantes. Estas características son necesarias para el uso del material en la edificación. Para llevar a cabo el método, es necesario poseer un plano homogéneo del material constructivo. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-ISO-12572:2018: Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificación. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua.

La norma establece un método basado en el ensayo denominado del vaso, con el objetivo de determinar la permeancia y la permeabilidad al vapor de agua de los productos de edificación de los materiales de construcción bajo condiciones isotermas. Para ellos se especifican diferentes tipos de condiciones de ensayos.

Los principios esenciales son aplicables a todos los materiales y productos de edificación higroscópicos y no higroscópicos, detallando en la norma diferentes métodos de ensayos adecuados para los diferentes tipos de materiales. Los datos obtenidos pueden servir para el diseño, control de producción y especificación del mismo. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-ISO-12570:2000/UNE-EN-ISO-12570:2000:A1/UNE-EN-ISO-12570:2000:A2: Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificación. Determinación del contenido de humedad mediante secado a elevadas temperaturas.

Esta norma se aplica a materiales porosos, permeables al agua, con el objetivo de aportar un método para determinar el contenido en agua libre de los materiales utilizados en la edificación mediante un secado en caliente. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-92316:2016: Criterios de medición y cuantificación para trabajos de aislamiento térmico mediante relleno de cámaras en edificación.

Esta norma proporciona unos métodos con el que proceder a la medición y cuantificación de los trabajos de aislamiento térmico consistidos en el relleno de cámaras verticales en edificación mediante diferentes procedimientos, dependiendo del material a utilizar. Para conocer el método que se pueda adaptar al nuevo material objeto del trabajo, con el objetivo de investigar nuevas aplicaciones del material.

UNE-EN-16383:2016: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación del comportamiento higrotérmicos de los sistemas compuestos para aislamiento térmico externo (SATE o ETICS).

Esta norma especifica el equipamiento y los procesos para determinar las condiciones higrotérmicas externas a los sistemas de aislamiento externo. Ayudando así a determinar las propiedades que debe tener un material aislante para ser utilizado en estos sistemas.

UNE-EN-13820:2008: Materiales aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación del contenido orgánico.

Esta norma establece un método de referencia para determinar el contenido orgánico del material aislante. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma. Este no es el único método posible, para los cuales se establece la relación entre el resto de métodos y el de referencia.

UNE-EN-1602:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la densidad aparente.

La norma establece el equipo y procedimientos para determinar la densidad del material aislante, tanto para aislamientos acabados como para probetas de ensayo. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-12086:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de las propiedades de transmisión del vapor de agua.

La norma establece el equipo y proceso necesario para determinar el coeficiente de transmisión de vapor de agua, permeancia y permeabilidad al vapor de agua, bajo diferentes condiciones de ensayo. Este ensayo está previsto para materiales homogéneos y productos que pueden contener pieles integrales o diferentes recubrimientos. Este método no es aplicable para materiales que actúan como barrera de vapor, pero sí que nos puede servir para determinar si es necesario la colocación de dicha barrera o no. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-12090:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación del comportamiento a cortante.

La norma establece el equipo y método a través de los cuales determinar el comportamiento a cortante del material. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-12430:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación del comportamiento bajo cargas puntuales.

La norma establece el equipo y método a través de los cuales determinar el comportamiento bajo una fuerza aplicada sobre una pequeña superficie a una velocidad determinada. Esta norma determina si el producto tiene la resistencia suficiente para soportar fuerzas aplicadas directamente sobre ellos. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-12431:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación del espesor de los productos de aislamiento de suelos flotantes.

La norma establece el equipo y método a través de los cuales determinar el espesor de los productos aislantes térmicos para aislamiento al ruido de impacto. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-1605:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la deformación bajo condiciones específicas de carga de compresión y temperatura.

La norma establece el equipo y método a través de los cuales determinar la deformación que puede causar una determinada carga de compresión, temperatura y tiempo de exposición. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-1604:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la estabilidad dimensional bajo condiciones específicas de temperatura y humedad.

La norma establece el equipo y método a través de los cuales determinar los posibles cambios dimensionales de probetas de ensayos bajo condiciones específicas de temperatura, humedad relativa y duración de la exposición. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-1606:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la fluencia a compresión.

La norma establece el equipo y método a través de los cuales determinar la fluencia a compresión de materiales de ensayo bajo distintas condiciones de esfuerzos. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-1608:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la resistencia a tracción paralela las caras.

La norma establece el equipo y método a través de los cuales determinar la resistencia a tracción paralelas en las caras, esta norma puede utilizarse para determinar si el producto tiene suficiente resistencia para soportar los esfuerzos durante el transporte y la aplicación. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-1607:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la resistencia a tracción perpendicular a las caras

La norma establece el equipo y método a través de los cuales determinar la resistencia a tracción perpendicular a las caras del producto. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-826:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación del comportamiento a compresión.

La norma establece el equipo y método a través de los cuales determinar el comportamiento a compresión de los productos de ensayos. Puede utilizarse para determinar las tensiones de compresión a adoptar en los ensayos de fluencia por compresión y para aplicaciones en las que los materiales aislantes solamente estén expuestos a cargas de pequeña duración. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-822:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la longitud y de la altura.

La norma establece el equipo y método a través de los cuales determinar la longitud y la anchura de los productos acabados. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-824:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la rectangularidad.

La norma establece el equipo y método a través de los cuales determinar la perpendicularidad entre los lados relativos a la longitud y la anchura o espesor de los productos acabados. Este método es aplicable a productos con bordes en Angulo recto, para productos que no tengan los bordes rectos se puede adoptar el método de consonancia. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-823:2013: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación del espesor.

La norma establece el equipo y método a través de los cuales determinar los espesores de los productos acabados. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

UNE-EN-13498:2003: Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la resistencia a la penetración de los sistemas compuestos para aislamientos térmicos externo (ETICS).

La norma establece el equipo y método a través de los cuales determinar la resistencia a la penetración de los sistemas compuestos para aislamientos térmico externo. Para conocer el método a seguir para la realización del ensayo véase dicha norma.

4.2. Estudio técnico.

Los materiales aislantes son productos que presentan una elevada resistencia al paso del calor, reduciendo la transferencia de este. Por lo cual en invierno este material permite que el calor del interior no se transfiera al exterior, provocando un ahorro de energía en el sistema de calefacción. Mientras que en verano depende de la temperatura exterior, ya que, si la temperatura exterior es muy elevada, no permite que este entre en el interior, mientras que, si el ambiente exterior es templado y una alta carga interna interior, este ambiente es perjudicial, ya que el calor interior no sale al exterior y es necesario una mayor cantidad de energía para conseguir la temperatura adecuada.

Por lo tanto, es importante tener en cuenta que un buen material aislante es el que, además de tener unas buenas propiedades técnicas, es aplicado de una forma óptima, evitando puentes térmicos, reduciendo así el riesgo de condensaciones. Se considera aislante térmico todo aquel material que posee una conductividad térmica menor de 0.060 W/mK y una resistencia mayor que $0.25 \text{ m}^2\text{K/W}$. Estos valores serán medidos en unas condiciones de 10°C y un contenido de humedad correspondiente al equilibrio con un ambiente a 23°V y 50% de humedad relativa.

El material puede aislar de diferentes formas, dependiendo de la forma en la cual se produzca la migración del calor entre la parte exterior del edificio y la parte interior del mismo. Este intercambio puede ser realizado a través de: Conducción, Convección o Radiación. Esto está condicionado por la dirección en la cual se produce el flujo de diferencia de temperatura, es decir dependiendo de si se trata de un suelo, una fachada o una cubierta.

- **Conducción:** es el fenómeno por el cual la energía térmica se transmite de regiones de mayor temperatura a otras de menor temperatura, pudiéndose realizar entre un solo material o varios materiales diferentes siempre y cuando sean sólidos y estén en contacto. Este proceso de cambio de temperatura se llevará a cabo hasta que se consiga un equilibrio térmico.
- **Convección:** mecanismo por el cual se realiza una transmisión de calor en materiales fluidos, es decir líquidos o gases, provocando el movimiento de estos propios materiales que transportan con ellos el calor.
- **Radiación:** es el proceso por el cual se emite la energía en forma de ondas electromagnéticas que se manifiesta en cualquier cuerpo por el simple hecho de encontrarse a cierta temperatura. Por lo que este método establece una transferencia de calor sin necesidad de contacto entre la fuente de

calor y el receptor. El calor emitido dependerá de la temperatura y el material de la superficie que actúa como emisor, determinando esta cualidad como emisividad del material.

4.2.1. Conductividad térmica.

Como conductividad térmica se conoce a la propiedad que posea todo material y que cuantifica la cantidad de flujo de calor que este permite transmitir. También se puede conocer como el inverso de la resistencia térmica, es decir el inverso de la oposición que aporta un material a que el flujo de temperatura pase a través de él.

Por lo tanto, si el aislamiento tiene la finalidad de aportar al cerramiento resistencia térmica, de forma que proteja al interior de la pérdida de energía, podemos decir que esta característica es la más importante a la hora de establecer la calidad de un material aislante. Para ello debemos de establecer una comparación entre los materiales que existen en la actualidad para saber entre que rango de valores se encuentran estos.

Esta característica según el Sistema Internacional se mide en $W/(m \cdot K)$, aunque también puede venir expresada en $kcal/(h \cdot m \cdot ^\circ C)$, estableciendo una equivalencia de $1w/(m \cdot k) = 0.86 kcal/(h \cdot m \cdot ^\circ C)$. Y representándose como λ .

Sobre la conductividad térmica de un material pueden influir numerosos factores, como pueden ser:

- **Temperatura ambiente:** la conductividad será menor cuanto menor sea la temperatura ambiente.
- **Humedad:** este valor depende del material utilizado, pero puede decirse que la conductividad aumenta aproximadamente un 3.7% por cada 1% de variación de cantidad de agua por volumen de aire. Aumentando de forma no lineal para valores de contenido de humedad superiores al 5%.
- **Densidad:** si aumenta la densidad, se puede decir que es debido a que se elimina en cierto modo la cantidad de poros que contienen aire en el interior del material, incrementándose de esa forma la energía necesaria para calentarlo. Sin embargo, no se puede asegurar que esto ocurra de la misma forma en todos los materiales, ya que en los materiales procedentes del petróleo disminuyen la conductividad con el aumento de la densidad, ocurriendo lo contrario con otros materiales como la fibra de madera.
- **Espesor del aislante:** la conductividad térmica de un material varía con el espesor del mismo, estableciendo su valor λ exclusivamente a las dimensiones superficiales unitarias. Pudiendo afirmar que, a mayor espesor, el coeficiente de conductividad disminuye ligeramente, debido al efecto deno-

minado de acumulación y posterior dispersión calórica.

La inversa de la conductividad térmica es la Resistencia térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al flujo del calor. Sus unidades son $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Siendo:

e = espesor de la capa (m)

λ = conductividad térmica del material ($\text{W}/\text{m}^*\text{K}$)

4.2.2. Resistencia a la difusión del vapor de agua.

Cuanto mayor es la resistencia del material con relación a una capa de aire estacionario del mismo espesor a la misma temperatura. Este valor es adimensional, teniendo en cuenta la resistencia del aire como valor de referencia, el cual es 1.

$$\mu = \frac{\delta_{aire}}{\delta_{material}}$$

Donde:

δ_{aire} = permeabilidad al vapor de agua del aire.

$\delta_{material}$ = permeabilidad al vapor de agua del material.

Un buen material aislante debe de evitar la penetración del vapor de agua, con el objetivo de evitar un aumento de la conductividad térmica durante el curso de la vida del material. Pero por el contrario debemos de tener en cuenta que no debemos construir un cerramiento totalmente estanco, ya que este debe de respirar, evitando así la formación de posibles condensaciones que puedan disminuir la capacidad aislante del material.

Para poder llegar a entender mejor este concepto debemos de poder relacionarlo con los siguientes términos:

A) Resistencia al vapor de agua, correspondiente a la resistencia total de una materia o conjunto de materias, a la difusión del vapor de agua. Para mejorar esta característica, se pueden llegar a añadir elementos como barreras de vapor, ofreciendo así una gran resistencia al paso del vapor de agua. Utilizado normalmente para evitar las condensaciones intersticiales.

B) Permeabilidad al vapor de agua, es la capacidad del material para permitir el flujo de vapor de agua entre dos caras opuestas del material.

C) Flujo de vapor de agua, es la masa de vapor de agua transferida a través del material por unidad de tiempo.

4.2.3. Resistencia al fuego.

La resistencia al fuego es la capacidad que tiene una solución constructiva de oponerse a la acción del fuego, es decir la capacidad para mantener sus características frente a la acción del fuego. Si nos fijamos en la normativa CTE, podemos decir que este valor viene establecido por el tiempo que es capaz de mantener sus propiedades intactas de un material expuesto al fuego.

Por otro lado, podemos encontrar los materiales ignífugos, que son aquellos que no se inflaman ni propagan el fuego. Por lo tanto, incorporar un material aislante ignífugo a la solución constructiva es muy importante ya que eso le aporta mayor resistencia al fuego a la misma, disminuyendo así los posibles daños provocados por el fuego. La demanda de un material ignífugo es variable, ya que depende de la solución constructiva que se dé, la posición en la que se coloque, con que materiales está en contacto, etc. Es decir, no requiere las mismas propiedades un material colocado en una solución de fachada ventilada que en el interior de una cámara no ventilada, ya que su posible exposición al fuego no es la misma.

Esta propiedad ignífuga puede ser aportada a través de tres métodos diferentes:

- Transformación molecular del material en el proceso de fabricación.
- Incorporación de aditivos inhibidores al material durante el proceso de fabricación.
- Aplicación de recubrimientos sobre el material acabado, e incluso colocado en su lugar de uso.

Resistencia a fuerza de compresión y tracción.

Dependiendo de la solución constructiva en la cual se utilice el material aislante, este deberá de responder a una serie de necesidades relacionadas con las fuerzas que actúen sobre él. Por ejemplo, no van a resistir las mismas fuerzas en una solución de fachada que en una solución de cubierta. Esto es debido a que en las fachadas el aislamiento no tiene ningún tipo de demanda estructural, por lo que tan solo deberá tener la resistencia mínima para mantener su propio peso. Por ello, en aislamientos térmicos de fachada el único requisito es que tenga la rigidez suficiente como para mantenerse en la

situación correspondiente sin que sea afectado por el transcurso del tiempo.

Sin embargo, si el aislamiento es utilizado en determinadas soluciones de cubierta, sí que deberá de responder a una serie de condiciones de resistencia a fuerza, principalmente fuerza de compresión. Esto es debido a que sobre este aislamiento es posible que se coloquen ciertas fuerzas que apliquen una fuerza de compresión sobre él. No solo esta fuerza viene aportada por otros materiales, sino que puede venir aplicada por agentes exteriores como puede ser la nieve o por personas que acceden a ella para el mantenimiento de instalaciones.

Realizando un pequeño calculo, obteniendo los datos del CTE-DB-SE-AE, "Seguridad estructural, acciones en la edificación", en el cual se establecen las cargas soportadas por cada uno de los elementos. Estableciendo una de las soluciones más desfavorables posible, cubierta plana ajardinada y transitable, teniendo en cuenta que está situada en Zaragoza y despreciando la acción del viento, podemos establecer las siguientes cargas sobre el material aislante:

- Sobrecarga de uso: 1 KN/m^2
- Sobrecarga de nieve: 0.2 KN/m^2
- 50 cm de tierra: 9.5 KN/m^2

Podemos establecer que el valor total a resistir por el material aislante es de 10.70 KN/m^2 , lo cual equivale a 1070 Kpa. Sin embargo, estableciendo otro tipo de acabado superficial más ligero podemos obtener un valor más utilizado en la arquitectura actual, como pueden ser las soluciones de acabado cerámico. Lo cual supone una fuerza de 2.30 KN/m^2 , lo cual equivale a 230 Kpa.

Con esta pequeña comprobación podemos establecer que para soluciones de fachada puede utilizarse materiales con una resistencia a compresión inferior a 200 Kpa. Sin embargo, para soluciones de cubierta sería necesario la utilización de materiales con una resistencia a compresión más elevada, superior a 200 Kpa.

4.2.5. Resistencia al agua.

Para definir la reacción de un material respecto a la absorción de agua, debemos de tener en cuenta las características de higroscopicidad y capilaridad.

Higroscopicidad: es la capacidad del material de absorber y exhalar la humedad atmosférica dependiendo del medio en el cual se encuentra. Un material aislante que posea esta propiedad permite

mantener el ambiente interior seco, permitiendo de esta forma mantener ambos lados del material seco, evitando con esto que la humedad afecte a los materiales que forman la solución constructiva, evitando con ello posibles daños provocados por la humedad.

Capilaridad: es la capacidad de un material para absorber un líquido, siempre y cuando el material este en contacto directo con dicho fluido. Esta propiedad hace que al estar en contacto el material con un fluido, este último se eleve o descienda a través del material sólido, humedeciendo de esta forma la totalidad del material.

4.2.6. Formato de aplicación.

Tal y como vimos en el apartado de construcción actual, a lo largo de la historia se ha realizado una evolución de los materiales de construcción. Esta evolución ha ido encaminada a facilitar y ahorrar tiempo en los procesos constructivos, con el objetivo de conseguir una construcción cada vez más industrializada, con el fin de ensamblar piezas más o menos grandes de forma que al unirse se consiga dar forma al edificio diseñado.

De esta forma se ha llevado a cabo un cierto proceso de estandarización de todos los materiales, interesándonos especialmente por las medidas establecidas para el material aislante. Por tanto, no sería conveniente establecer un nuevo formato para un nuevo material, sino que este nuevo material se adapte de alguna forma a las medidas, espesores, formatos de comercialización ya establecidos por otros materiales similares. Para ello analizamos estos aspectos de los materiales ya conocidos.

Como los materiales aislantes tienen una baja densidad que les convierten en elementos con un bajo peso específico, los tamaños de producción del material no están condicionados por el elevado peso. Por tanto, todas las restricciones a las medidas de longitud están vinculadas con facilitar su manejo y puesta en obra, al igual que estas medidas pueden llegar a estar condicionadas por las soluciones en las cuales va a ser colocado el material.

El formato de aplicación no solo depende de las medidas o del peso, ya que también viene determinado por el propio material, ya que según el material es posible su fabricación de diferentes formas. Generalmente en dos tipos diferentes, como pueden ser, el formato de rollo en el cual se establece una anchura determinada, generalmente 1 metro, mientras que la longitud tiene una medida bastante más grande, la cual es enrollada sobre si misma con el objetivo de facilitar su transporte. Esto es posible, gracias a la flexibilidad del material y su facilidad para ser cortado en obra, adaptándose a las irregularidades que puede llegar a haber en las superficies a las cuales se adapta.

Por otro lado, podemos identificar el formato de placa, en el cual se establecen unas medidas determinadas, adaptadas a su facilidad para ser colocadas. Esto es debido a su condición de rigidez, y la imposibilidad de ser manipulado en obra. Esto facilita el diseño de la misma para conseguir la unión de las diferentes placas entre ellas, a través de uniones compuestas por machihembrado o a media madera.

5. Caso de estudio Feltwood

5.1. ¿Qué es Feltwood?

Es una pequeña Startup nacida en Zaragoza, con el objetivo de desarrollar materiales industriales ecológicos a partir de residuos vegetales agrícolas, aportando con ello una alternativa al tan extendido uso del plástico y la madera. Los materiales se crean a partir de fibras 100% vegetales, sin incluir ningún tipo de plástico, adhesivo ni aglomerantes, consiguiendo así una serie de materiales biodegradables que al final de su vida útil pueden ser utilizados como abono orgánico para el cultivo de nuevos materiales agrícolas.

¿Qué reto persiguen?

“Los materiales no biodegradables, como el plástico, tardan cientos de años en degradarse y se acumulan en la naturaleza. Sólo en los océanos, la ingesta de residuos de plástico provoca la muerte de 100.000 mamíferos marinos al año y es que ya hay 1 kg de plástico por cada 3 de peces. A este ritmo, en 2050 habrá más plástico que peces.”

¿Qué tecnología usa?

“Feltwood ha desarrollado una tecnología patentada para fabricar materiales industriales biodegradables a partir de residuos vegetales. Aprovechando lo que no nos comemos de la lechuga, de la alcachofa y de muchos otros residuos agrícolas, y mediante un proceso industrial, se fabrican los materiales Feltwood. Sin añadir ningún plástico, adhesivo ni aglomerante.

Nuestros materiales son una alternativa a los plásticos y la madera en muchas aplicaciones: desde muebles a embalajes, pasando por aislamientos para edificación, tableros o juguetes, por citar algunos.”

¿Qué materiales proporcionan?

“Con el material Feltwood pueden fabricarse desde materiales flexibles para bandejas a materiales que son tres veces más duros que la madera más dura y dos veces más duros que el plástico ABS. Como el plástico, se puede moldear, y como la madera, se puede pintar, cortar, mecanizar, etc. El producto final es reciclable y compostable, favoreciendo una economía circular.”

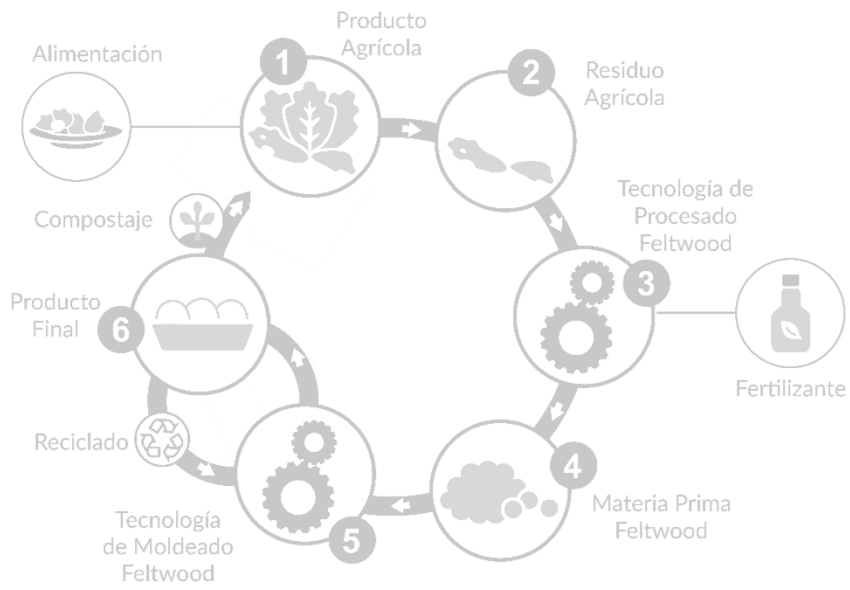


Figura 5.1.
Ciclo de vida del producto Feltwood.
Fuente: Feltwood.



Figura 5.2.
Material Hard, Feltwood.
Fuente: Feltwood.

¿Quién puede utilizar su tecnología?

“Por un lado, las empresas que buscan valorizar sus residuos vegetales convirtiéndolos en Materia Prima Feltwood. Esto supone para ellas un importante ahorro en gestión de residuos.

Por el otro, las empresas que transforman esa materia prima en el producto final y que buscan un material biodegradable en sus productos y ampliar su cartera de clientes y mercados.”

¿Cómo se llega a la obtención del material?

Como hemos mencionado los materiales de Feltwood, están formados por residuos agrícolas sin utilizar ningún producto tóxico, buscando el respeto al medio ambiente, mediante procesos bajos en contaminación. Por otro lado, no se pretende que el desarrollo de estos materiales suponga la necesidad de nuevos cultivos, sino poner en valor todo el producto que actualmente se desecha.

El proceso de fabricación, uso y eliminación del producto se pretende que contribuya a la creación de una economía circular (Figura 5.1.). Para ello, se obtiene el residuo vegetal, sobre el que se realiza un proceso de transformación aplicando un subproducto que consiste en un fertilizante, con el objetivo de obtener la materia prima, la cual ya se puede manipular para dar forma al producto final. Una vez que se ha obtenido el producto final moldeado este ya puede ser usado, hasta el final de su vida útil. Una vez que el producto ya no sirve para el propósito que ha sido fabricado existen dos opciones, parte del producto puede ser reciclado y volver a ser incorporado al proceso de moldeo, mientras que otra parte se elimina convirtiendo este en compostaje para aportarle nutrientes a un nuevo producto agrícola, con el cual empezar de nuevo el proceso completo.

¿Para qué puede ser utilizado este producto?

El producto antes de ser moldeado permite una gran versatilidad, por lo que pueden utilizarse en un gran número de aplicaciones, distribuidas en múltiples sectores. Para ello se han planteado cuatro variantes del propio producto;

- **Hard:** es un material compacto de gran dureza, moldeable y mecanizable, ideal para usos que requieren una gran resistencia. Este producto podemos compararlo al aglomerado DM, pero con mejores características, ya que es tres veces más dura que la madera más dura, y puede ser manipulada de la misma forma sin astillarse. Puede ser pintado o barnizado sin necesidad de imprimación debido a su baja porosidad. Todo esto lo hace ideal para crear muebles o juguetes (Figura 5.2.)
- **Pack:** es un material versátil, moldeable y mecanizable, que lo convierte en un material ideal para embalajes ligeros. Es un material muy poco poroso, facilitando la posibilidad de teñir en



Figura 5.3.
Material Pack, Feltwood.
Fuente: Feltwood.



Figura 5.4.
Material Insulation, Feltwood.
Fuente: Feltwood.

masa e imprimir en superficie, haciéndolo ideal para embalajes de verdura y fruta para supermercados (Figura 5.3.).

- **Anti-impact:** de la misma forma que los anteriores es un material ligero, moldeable, con gran resistencia a los golpes y a compresión. Su gran ligereza se la aporta su densidad media de 0.08 gr/cm^3 . La resistencia a compresión y al impacto se puede asemejar a materiales aislantes como pueden llegar a ser el poliestireno expandido o extruido. Esto lo hace ideal para embalajes para protección de productos frágiles
- **Insulation:** posee una densidad baja de 0.09 gr/cm^3 , es rígido y resistente a compresión, con una conductividad térmica de $\lambda=0.019 \text{ W/mK}$. Todo esto lo convierte en un material muy similar al poliestireno, pero con mejores propiedades térmicas, lo que lo convierte en un excelente aislamiento térmico, ideal para soluciones constructivas en las que van a tener unas demandas de rigidez y fuerzas a compresión altas, como pueden ser cubiertas, suelos, o paneles sándwich (Figura 5.4.).

¿Cómo se puede aplicar el material?

Como hemos comentado la materia prima de Feltwood debe de pasar un proceso de industrialización y moldeado con el objetivo de poder ser aplicado en la edificación. Por lo cual es muy importante conocer los posibles formatos en los cuales se pueden aplicar este producto. Como hemos podido ver en la clasificación de los materiales y en las formas de aplicarse en los detalles constructivos, podemos identificar cuatro formas de aplicación;

- Placa o panel rígido.
- Rollo flexible.
- Proyectado.
- Inyectado.

Teniendo en cuenta las características del material ya analizadas, podemos decir que el método más fácil de aplicación y uso es el de placa o panel rígido. Sin embargo, podrían existir otros métodos de aplicación todavía por investigar, como pueden ser proyectado o inyectado.

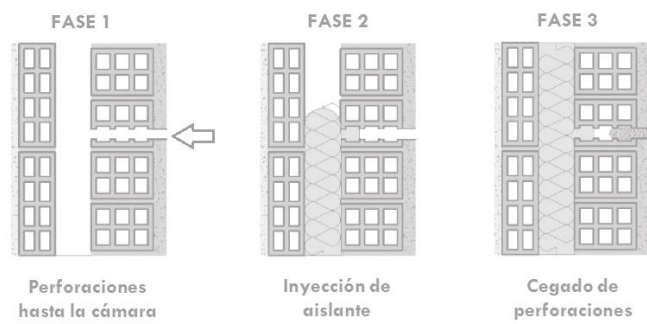
Placa o panel rígido:

Teniendo en cuenta la información aportada por Feltwood, sabemos que el proceso de fabricación del producto, consiste en convertir los residuos agrícolas en materia aislante, la cual tiene una forma y características determinadas. Esta materia inicial debe de pasar un segundo proceso de manufacturación con el objetivo de moldear el producto convirtiéndolo en los paneles rígidos que pueden ser utilizados en arquitectura. Este proceso se lleva a cabo sin adhesivos, con el objetivo de eliminar del proceso todos los materiales formaldehídos, que son cancerígenos. Llevándose a cabo el proceso de



Figura 5.5.
Aislamiento proyectado.
Fuente: Aislamania.

Figura 5.6.
Aislamiento inyectado.
Fuente: Aislantium.



moldeado a través del prensado de la materia inicial. Este proceso es similar al realizado por fabricantes de tableros de aglomerado de madera o poliestireno expandido, permitiendo así que estas empresas puedan cambiar de una forma rápida y sencilla su producto al desarrollado por Feltwood.

Proyectado:

Es el proceso por el cual se lanza sobre un elemento rígido, un determinado material con el objetivo de ser unido al elemento inicial. El sistema de proyección puede dividirse en dos tipos, según si la proyección se realiza en húmedo o si se proyecta material rígido.

- Proyección húmeda: son aquellas en las que es necesario humedecer el material aislante para que pueda adherir al soporte sobre el que se aplica, ya que al secarse y producirse el proceso de fraguado el material queda unido al elemento rígido.
- Proyección de material rígido: es aquel material que está compuesto por dos componentes y aplicarse a una determinada temperatura permite la unión al soporte rígido sobre el que se quiere colocar.

Por lo que la empresa Feltwood, debería de abrir una vía de estudio, con el objetivo de conocer cuál es la mejor opción para la aplicación del producto. Conociendo las propiedades del producto podemos identificar que la opción más acorde sería el método de proyección húmeda. Esto es debido a que el método de proyección de material rígido consiste en provocar una reacción química entre dos productos diferentes.

Inyectado:

Este proceso consiste en introducir un cuerpo rígido en el interior de un espacio, con el objetivo de rellenar el espacio interior (Figura 5.6.). Este proceso suele ser utilizado en rehabilitación, con el objetivo de introducir material aislante en el interior de las cámaras de aire, rellenando todo el espacio interior con un material aislante.

Esta opción resulta interesante, ya que se evita el proceso de moldeado del material, consiguiendo así reducir el consumo de energía necesario para obtener el material, por lo que potencia la idea de respeto al planeta. Esta alternativa además ahorraría coste, ya que se tomaría el producto inicial, usándolo de una forma directa.

5.2. Estudio técnico.

Lo primero que debemos hacer es conocer el material que estamos analizando para ello debemos de realizar un estudio técnico, identificando cuales son las propiedades del material, tanto las que conocemos como las que es necesario calcular para tener los conocimientos necesarios. Los datos a analizar en un estudio técnicos son los que ya hemos establecido en el apartado anterior. A la hora de obtener los datos necesarios nos apoyamos en la empresa desarrolladora, la cual nos proporciona los datos que se conocen del material.

Conductividad térmica

Tal y como ya hemos analizado, la conductividad térmica es la propiedad más importante de un aislamiento térmico, ya que esta propiedad determina el flujo de calor que se permite transmitir a través del material. Por lo que a una mayor conductividad peor es el material aislante.

La conductividad térmica del material lo obtenemos gracias a los ensayos realizados por la empresa, (a través del laboratorio para la calidad de la edificación, perteneciente al Gobierno de Aragón) estos se han realizados sobre una placa de producto de 4 cm de espesor.

Existen otros valores que aportan una información muy similar a la conductividad térmica, como pueden ser la resistencia térmica o la transmitancia térmica. Siendo la resistencia térmica la oposición que aplica el material a ser atravesada por el flujo de calor y la inversa de la transmitancia térmica. De la misma forma se establece una relación entre conductividad térmica y resistencia térmica, la cual corresponde a que el espesor del material entre la conductividad térmica nos da el valor de la resistencia térmica.

	TRANSMITANCIA TÉRMICA U (W/M ² K)	RESISTENCIA TÉRMICA R (M ² K/W)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA λ (W/MK)
MÍNIMO	0.327	3.058	0.013
MÁXIMO	0.607	1.647	0.024
PROMEDIO	0.472	2.119	0.019

Tabla 10. Transmitancia térmica, resistencia térmica y conductividad térmica.

Fuente: Laboratorio para la calidad de la edificación

Sin embargo, conocer estos valores no nos permite identificar si el material es buen aislante térmico o no, por ello debemos de realizar una comparación entre el material estudiado y algunos de los materiales más utilizados en la actualidad. Por lo que identificamos los valores en el apartado de clasificación de materiales, pudiendo obtener de esta forma un conocimiento más preciso de la calidad del material.

	TRANSMITANCIA TÉRMICA U (W/M ² K)	RESISTENCIA TÉRMICA R (M ² K/W)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA λ (W/MK)
<i>POLIESTIRENO EXTRUIDO</i>	0.800	1.250	0.032
<i>LANA DE ROCA</i>	0.900	1.111	0.036
<i>CORCHO NATURAL</i>	1.125	0.889	0.045
<i>MATERIAL FELTWOOD</i>	0.472	2.119	0.019

Tabla 11. Comparación valores característicos del aislamiento térmico.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo que podemos observando la comparación podemos decir que los datos obtenidos son extraordinariamente buenos, ya que los materiales más utilizados, como pueden ser el poliestireno extruido o la lana de roca tienen unos valores de conductividad térmica entorno al 0.032. Mientras que otros materiales que se pueden asemejar más al producto de estudio, debido a su composición natural, están aún más lejos de los valores obtenidos para el material de Feltwood. Por lo que podemos concluir que, en cuanto a calidad aislante, este material es mucho mejor que cualquier material que podemos encontrar el mercado.

Resistencia a la difusión del vapor de agua.

La resistencia a la difusión del vapor es la capacidad que tiene un material a oponerse a ser atravesado por el vapor de agua. Un buen material aislante debe de evitar que el vapor de agua penetre a través de él con el objetivo de que no llegue a la hoja interior, evitando así posibles condensaciones.

Este valor no está disponible para el material aislante de Feltwood, dato que debería ser obtenido antes de poder ser llevado a la construcción. Para ello se debe de conocer la permeabilidad al vapor de agua, con el objetivo de compararlo con la permeabilidad al vapor de agua del aire y de esa forma obtener la resistencia a la difusión del vapor de agua.

Teniendo en cuenta la información aportada por la empresa, sabemos que tiene unas propiedades muy similares al poliestireno extruido. Esto viene dado por ser un producto poco poroso el cual no absorbe el vapor de agua. Conociendo las propiedades de este material podemos decir que la resistencia a la difusión del vapor de agua es entre 110 y 220.

No obstante, si cuando se realice el ensayo se descubre que este valor no es el adecuado para el uso en la arquitectura, existen soluciones técnicas que pueden llegar a aportar esta propiedad al material. Estas soluciones se realizan añadiendo al aislamiento una capa de otro material que le aporte esta característica. Esta capa puede ser láminas de polietileno, papeles tipo Kraft, papeles de estraza, láminas bituminosas, papeles de aluminio, lana de oveja o algodón.

Con el objetivo de seguir con la idea de un material respetuoso con el medio ambiente, reciclable y biodegradable, se deberá de buscar una solución que siga con esta idea. Por ello descartamos a primera vista las láminas de polietileno, las láminas bituminosas y los papeles de aluminio. Por lo que nos quedamos con los papeles tipo Kraft, lana de oveja o algodón.

Resistencia al fuego

La resistencia al fuego es la capacidad que tiene el material de oponerse a la acción del fuego, es decir, la capacidad de un material para mantener sus características frente a la acción del fuego. Este dato no está ensayado, por lo que no conocemos el valor exacto de la resistencia al fuego. Sin embargo, conocemos que el producto es inflamable, lo cual llevaría a la obligación de colocar el material protegido, frente al fuego. Esta acción puede llevarse a cabo a través de la ejecución de determinadas soluciones constructivas o con la adición de diferentes productos que le aporten esta característica. Sin embargo, a pesar de conocer esta información sería conveniente ensayar este valor en laboratorio con el objetivo de conocer mejor el material.

Por lo que, conociendo esta cualidad, podríamos establecer que el producto no puede ser utilizado en soluciones en las que pueda estar en contacto directo con el fuego, como pueden ser determinadas soluciones de cubierta o fachada con el aislamiento en el exterior o interior. Sin embargo, esto no quiere decir que sea desaconsejable su uso en todas ellas, ya que si existe una capa de acabado que proteja el mismo es posible su utilización. Es decir, podría utilizarse en soluciones de aislamiento entre dos hojas resistentes, aislamiento en el interior, con revestimiento de lámina de cartón yeso, o aislamiento en la parte exterior con una solución de muro enterrado. Y sería desaconsejable para todas aquellas exteriores, que estén en contacto con el exterior, por lo tanto, no será aconsejable la utilización en fachadas ventiladas o en soluciones tipo SATE.

Resistencia a fuerza de compresión y tracción

La resistencia a fuerza de compresión y tracción es la capacidad que tiene un material para aguantar frente a una fuerza aplicada sobre él. Esta cualidad es importante para determinadas soluciones constructivas, ya que por ejemplo en algunos sistemas de cubiertas es necesario que el material aislante resista determinadas fuerzas.

Teniendo en cuenta que la empresa no ha realizado un estudio de los valores de resistencia a compresión y tracción del material. Pero sí que aportan un dato comparativo, ya que se establece que estas resistencias son similares a los valores del poliestireno extruido. Con lo que podemos determinar que este material puede ser utilizado en todas las soluciones constructivas desarrolladas en la actualidad, ya que el poliestireno es utilizado en cubiertas con alta demanda de resistencias a compresión y tracción.

Sin embargo, como hemos comentado estos valores son orientativos, por lo que para poder confirmar que este material puede ser utilizado en estas soluciones, debemos de obtener los valores característicos del material. Para ello deberemos de realizar los ensayos establecidos por las diferentes normas UNE que regulan estos aspectos de resistencia. Estas normas son las siguientes: UNE-EN-13497:2018; UNE-EN-12090:2013; UNE-EN-12930:2013; UNE-EN-1605:2013; UNE-EN-1606:2013; UNE-EN-1608:2013; UNE-EN-1607:2013; UNE-EN-826:2013; UNE-EN-13498:2003;

Resistencia al agua

La resistencia al agua es la capacidad de absorción de agua de un material, viniendo determinada por la porosidad del mismo, ya que un material más poroso, tiene una higroscopicidad y capilaridad más alta. Por lo que podemos decir que al tratarse de un material poco poroso tiene una alta resistencia al agua, ya que tiene poca capacidad de absorber la misma. Esto nos indica que puede ser un material óptimo para soluciones constructivas de cubiertas, en las cuales el contacto entre el agua y el material aislante puede llegar a ser muy elevado.

Sin embargo, con los datos que poseemos en la actualidad no podemos afirmar que sea un material hidrófugo, para lo cual sería necesario realizar una serie de ensayos establecidos por diferentes normas UNE: UNE-EN-ISO-29767:2020; UNE-EN-ISO-16535:2019; UNE-EN-ISO-16536:2020; UNE-EN-ISO-12572:2018; UNE-EN-ISO-12570:2000; UNE-EN-ISO-12570:2000: A1; UNE-EN-ISO-12570:2000:A2; UNE-EN-16383:2016; UNE-EN-12086:2013;

Al no conocer si este material es hidrófugo o no, no es posible determinar las posibles aplicaciones del material, ya que este aspecto es importante para determinadas soluciones constructivas. Sin embargo, de la misma forma que hemos realizado con la resistencia a compresión y tracción, pode-

mos establecer una comparación, de forma que podemos decir que este material tiene unos valores similares a los del poliestireno. Por lo que observando las propiedades de este material con el que comparar el material de estudio, podemos decir que este es hidrófugo. Lo que permitiría utilizar el material en una amplia variedad de soluciones, sin ser condicionados por la presencia del agua, principalmente es útil en las soluciones de cubierta o fachadas con aislamiento en la parte exterior.

Formato de aplicación

El material de Feltwood, tal y como hemos mencionado anteriormente, se trata de un material rígido y de alta resistencia, lo cual hace imposible optar por formatos como el rollo. Sin embargo, lo hace óptimo para los formatos más rígidos como los paneles o planchas, permitiendo ser cortados con facilidad lo que le aportan gran versatilidad.

Una vez que sabemos la forma en la cual se debe de aplicar, debemos de buscar los formatos óptimos para su comercialización, de forma que se adapten a las demandas del mercado, formas de transporte y facilidad de manejo. Para encontrar este formato óptimo nos fijamos en un material similar, como es el poliestireno extruido, que se comercializa en paneles de 125 o 260 cm de largo, 60 cm de ancho y grosores de 4, 5, 6, 8 y 10 cm. Estas placas van agrupadas en paquetes que contienen entre 10 y 4 placas, con el objetivo de conseguir un conjunto de 125/260 x 60 x 40 cm, haciéndolos así paquetes de fácil manejo y almacenaje en obra.

De la misma forma, observando los procesos de fabricación que tienen que ser llevados a cabo para obtener el material final, podemos identificar que existe un proceso intermedio anterior al proceso de moldeado. En este periodo intermedio, podemos obtener un material, con propiedades muy similares a las del producto final, y el cual puede llegar a utilizarse de forma inyectada o proyectada.

5.3. Industrialización.

Una vez que tenemos el producto aislante y conocidos los valores que lo caracterizan, debemos de realizar una serie de recomendación enfocadas a realizar un proceso de desarrollo del material, con el objetivo de que seamos capaz de utilizar este material en la edificación del futuro. Para ello debemos de aportar un conjunto de estudios, análisis o ensayos, a realizar para conseguir comercializar el producto de una forma adecuada. Algunos de estos procesos son estrictamente necesarios para establecer las características del material, mientras que otros persiguen el objetivo de mejorar el proceso de comercialización.

Normas UNE;

Tal y como hemos podido ver en el apartado anterior, existen numerosas normas con el objetivo de normalizar y estandarizar las propiedades de cada uno de los materiales. Con lo que respecta a los materiales aislantes, se establecen las propiedades que deben de poseer estos materiales, con el objetivo de poder ser considerados materiales aislantes.

A parte de establecer las propiedades que deben de poseer los materiales, establecen los métodos de ensayos por los cuales se obtienen los valores de dichas propiedades. Por lo que para poder convertir el material de Feltwood en un aislamiento térmico preparado para la aplicación en la arquitectura, debe de realizarse los ensayos determinados en las diferentes normas UNE mencionadas en el apartado anterior.

Podríamos decir que el cumplimiento de estas normas es obligatorio, siempre y cuando se quiera utilizar el material aislante en la edificación de un edificó. Esto es debido a que arquitecto necesita conocer estos datos para poder llevar a cabo el proceso de cálculo, tanto del cumplimiento de la transmitancia térmica, como de la resistencia a compresión o tracción siempre y cuando estos materiales sean utilizados en unas soluciones constructivas que demanden resistencias de este tipo.

Análisis ciclo de vida;

Como hemos visto, el Análisis de Ciclo de Vida, es el estudio a través del cual obtenemos la cantidad de materia contaminante que se emite al ambiente. Este estudio puede realizarse de diferentes fases de la vida útil del material o producto a analizar, de forma que podemos realizar el estudio del proceso completo, desde la obtención de la materia prima hasta la eliminación del producto final. O dividir este

en procesos más pequeño, siempre comenzando desde la obtención de materia prima y llegando hasta determinados puntos del proceso.

Teniendo en cuenta que el objetivo de este material es conseguir un respeto al medio ambiente, creando un proceso circular, en el cual se tomen los residuos agrícolas, para ser transformados de una forma sostenible obteniendo un material el cual al terminar su vida útil pueda ser utilizado como sustituto para la agricultura. Por lo cual sería conveniente realizar este análisis con el objetivo de conocer cuál en qué grado se cumple el objetivo inicial del producto.

Eco-etiquetas;

Del mismo modo que el Análisis de Ciclo de Vida, estas herramientas son voluntarias, pero estando hablando de un material con un afán de respeto al medio ambiente es recomendable la utilización de alguna de estas etiquetas con el objetivo de mostrar a la sociedad y más concretamente al posible comprador las virtudes del producto. Poniendo en valor de esta forma todo el trabajo que lleva detrás el producto y las virtudes que posee siendo un material que cumple con todas las demandas de la sociedad actual y de futuro.

Estas etiquetas ya han sido estudiadas en los apartados anteriores, por lo cual sabemos qué diferencias hay entre ellas, detectando las virtudes y defectos de cada una de ellas. Por lo que en este apartado nos vamos a centrar en identificar cuál de esas etiquetas sería más apropiada para el material que nos ocupa.

Etiquetas tipo I

Estas etiquetas son establecidas por un organismo externo, el cual establece los requisitos necesarios para cumplir según la categoría a la que pertenece el producto. Los principales organismos en los cuales podemos encontrar este tipo de etiquetas que hagan referencia a los materiales aislantes son;

- AENOR Medio ambiente: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Ecolable: Organismos de etiquetado perteneciente a la Unión Europea.
- Distintiu de Garantia de Qualitat Ambiental: Organismo de etiquetado perteneciente a la Generalitat de Catalunya.

Para materiales aislantes es recomendable obtener una etiqueta establecida por la Asociación Española de Normalización y Certificación, ya que estas recogen tanto los requisitos medioambientales a cumplir, como las diferentes normas UNE establecidas para los materiales aislantes.

Etiquetas tipo II

Este tipo de etiquetas son auto declaraciones ambientales, las cuales consisten en la declaración por parte del fabricante de ciertas afirmaciones relativas a alguna característica ambiental. Estas etiquetas no son certificadas por una tercera parte.

Las etiquetas más usadas son;

- Producto reciclable.
- Contenido de material reciclado del producto.
- Aluminio reciclable.
- Plástico reciclable.
- Gestión de envases.

No es recomendable la utilización de este tipo de etiquetas, ya que no tienen gran fiabilidad, debido a que no están reguladas por ningún agente externo, sino que es el propio fabricante quien las establece.

Etiquetas tipo III

Este tipo de etiquetas aportan información ambiental sobre el comportamiento ambiental de los productos basadas en el Análisis de Ciclo de Vida, verificados por un organismo independiente, permitiendo realizar una comparación equitativa entre distintos productos, ya se establecen unas reglas específicas para cada categoría de producto.

Estas etiquetas funcionan como mecanismo de venta, de forma que convierte el Análisis de Ciclo de Vida en un reclamo visual, con el objetivo de facilitar su lectura al posible comprador. Este tipo de etiquetas son interesantes siempre y cuando se haya realizado un Análisis del Ciclo de Vida, ya que nos permite mostrar estos datos al posible comprador, de una forma sencilla y clara. Permitiendo así al comprador comparar de una forma clara dos productos, según los valores obtenidos en este análisis.

Por lo que resumiendo podemos decir que sería recomendable plantear a la empresa desarrolladora obtener una etiqueta tipo I, cumpliendo los requisitos establecidos por un organismo externo. De la misma forma se recomienda que si se lleva a cabo el Análisis de Ciclo de Vida, se establezca una etiqueta tipo III, en la cual se muestre de forma sencilla y clara el resultado de este análisis.

5.4. Aplicación en la arquitectura.

Una vez que hemos realizado este trabajo tenemos la información suficiente para dar solución a los sistemas constructivos del futuro, incorporando el material Feltwood. En primer lugar, hemos establecido los motivos por los que la sociedad se encamina hacia un respeto del medio ambiente. Con el objetivo de conseguir que la arquitectura contribuya a este objetivo, se ha estudiado la normativa que regula la construcción de nuevos edificios, con el objetivo de conseguir edificios de consumo casi nulo. Es decir, se pretende que los nuevos edificios demanden una cantidad muy reducida de energía, para lo cual es necesario aumentar el aislamiento térmico reduciendo así la pérdida de energía.

Sin embargo, este TFG va más allá de la normativa actual centrada en los consumos energéticos de la fase de uso de los edificios. Reducir este consumo de energía no es la única forma de conseguir el objetivo de cuidar el medio ambiente, ya que el proceso de fabricación de los materiales y construcción del edificio demanda una gran cantidad de energía lo que conlleva la emisión de una gran cantidad de material contaminante a la atmósfera. Podemos decir que con el material de Feltwood, se da un paso más desde la arquitectura para conseguir una economía circular y la sostenibilidad ambiental de lo que se exige actualmente en la normativa. Esto es debido a que siendo un aislamiento térmico mejor que los utilizados actualmente, conseguimos que con la misma cantidad de material se reduzca el consumo de energía para obtener las condiciones de confort térmico tanto en la fase de uso como en la de fabricación. De forma que, al ser un material obtenido de residuos agrícolas, sin utilizar ningún elemento que no pertenezca de origen vegetal y con un proceso de fabricación reducido, se convierte en un material de bajo consumo energético en el proceso de producción, lo que hace que este material emita poco material contaminante a la atmósfera en este proceso. Por ello, podemos decir que la incorporación de este material a la arquitectura ayudaría a conseguir el objetivo que persigue la sociedad actual.

Por sus propiedades técnicas podemos decir que este material puede ser utilizado en todas las soluciones constructivas más extendidas, ya que su formato de panel rígido, resistente a compresión y tracción, y su resistencia al agua, le confieren la capacidad de ser usados tanto en soluciones de fachada como en cubierta, al igual que resultaría ideal para la solución de trasdosados interiores o en soluciones de suelos, debido a su alta resistencia a fuerzas de compresión.

Para concluir podemos decir que hemos conseguido el objetivo del trabajo, ya que se ha encontrado un nuevo material aislante térmico, que se adapta a todas las necesidades tanto técnicas, como a las demandas de la sociedad. Con respecto a las demandas técnicas observamos unas características

que permiten utilizar este material en la mayoría de las soluciones constructivas utilizadas en la actualidad. Del mismo modo nos aporta unos valores de conductividad térmica mucho mejores que los utilizados normalmente, por lo que nos permite conseguir un mayor aislamiento térmico del interior con un menor espesor del mismo. Por lo que sería más fácil conseguir el objetivo de edificios de consumo casi nulo.

Por último y no menos importante, cabe destacar el pensamiento que se recoge detrás del material, ya que se trata de un material de origen vegetal, evitando la utilización de materiales contaminantes y buscando una economía circular. Esto es debido a que el material, procediendo de residuos agrícolas, los cuales se manipulan obteniendo así el material aislante que cuando acaba su vida útil se puede convertir en compost, utilizable para la fertilización de nuevos productos agrícolas, generando así un proceso circular respetuoso con el medio ambiente, acorde con el pensamiento de la sociedad actual.

6. Índice de figuras

Figuras.

- Figura 1.1. Asentamiento de cueva en Jerusalén (Pág. 13)
Fuente: <https://definicion.de/>
- Figura 1.2. Aparejos *opus romanos* (Pág. 13)
Fuente: <https://arteyculturaroma2016.wordpress.com/>
- Figura 1.3. Detalles constructivos del Builder Journal (Pág. 15)
Fuente: Tectónica nº 2 Envolvertes (II)
- Figura 1.4. Casa *Dom-ino* (Pág. 15)
Fuente: <https://upcommons.upc.edu/>
- Figura 1.5. Escuela de la Bauhaus (Pág. 17)
Fuente: <https://plataformaarquitectura.cl/>
- Figura 1.6. Walter Gropius (Pág. 17)
Fuente: <https://plataformaarquitectura.cl/>
- Figura 1.7. Casa experimental (Pág. 19)
Fuente: *Walter Gropius en la Wießenhofsiedlung. Dos prototipos de viviendas industrializadas*. Matías Caballero Cortés, 2014.
- Figura 1.8. Casas 16 y 17 en Weissenhof (Pág. 19)
Fuente: <https://www.woonen.nl/>
- Figura 1.9. Planta modulada Casa 16 (Pág. 21)
Fuente: <https://upcommons.upc.edu/>
- Figura 1.10. Planta modulada Casa 17 (Pág. 21)
Fuente: <https://arteyculturaroma2016.wordpress.com/>
- Figura 1.11. Foto construcción Casa 17 (Pág. 21)
Fuente: Tectónica nº 2 Envolvertes (II)
- Figura 1.12. Detalle espuma plástica (Pág. 23)
Fuente: <http://www.danosa.fr/>
- Figura 1.13. NBE-CT-79 (Pág. 25)
Fuente: <https://arquinar.blogspot.com/>
- Figura 1.14. Incorporación de aislamiento con sistema tipo “sate” para rehabilitación de fachada. (Pág. 27)
Fuente: <https://www.acuatroarquitectos.com/rehabilitacion-de-fachadas-evaluacion-de-sistemas/>
- Figura 1.15. Detalle permeabilidad del muro (Pág. 27)
Fuente: <https://www.elconstructorcivil.com/>

Figura 1.16.	Tabla 1. (Pág. 29) Fuente: NBE-CT-79
Figura 1.17.	Mapa 1. (Pág. 29) Fuente: NBE-CT-79
Figura 1.18.	Tabla 1 bis. (Pág. 29) Fuente: NBE-CT-79
Figura 1.19.	Mapa 2. (Pág. 31) Fuente: NBE-CT-79
Figura 1.20.	Tabla coeficiente K. (Pág. 31) Fuente: NBE-CT-79
Figura 1.21.	Tabla 2. (Pág. 33) Fuente: NBE-CT-79
Figura 1.22.	Listado de los principales municipios de cada provincia, señalando las zonas climáticas donde se ubican. (Pág. 33) Fuente: NBE-CT-79
Figura 1.23.	Tabla 4.2. (Pág. 35) Fuente: NBE-CT-79
Figura 1.24.	Clasificación de ventanas por su permeabilidad al aire. (Pág. 37) Fuente: NBE-CT-79
Figura 2.1.	Construcción prefabricada mediante módulos espaciales. (Pág. 43) Fuente: La evolución de la industria de la construcción.
Figura 2.2.	Construcción prefabricada mediante rebanadas. (Pág. 43) Fuente: La evolución de la industria de la construcción.
Figura 2.3.	Transporte de módulos rebanada. (Pág. 43) Fuente: La evolución de la industria de la construcción.
Figura 2.4.	Ensamblaje de paneles prefabricados. (Pág. 45) Fuente: La evolución de la industria de la construcción.
Figura 2.5.	Panel ligero, tipo sándwich. (Pág. 45) Fuente: Tectónica nº2, Envolvertes (I).
Figura 2.6.	Panel pesado de hormigón prefabricado. (Pág. 45) Fuente: Tectónica, Materiales.
Figura 2.7.	Materiales de sistemas tradicionales. (Pág. 47) Fuente: Guías técnicas ANDECE
Figura 2.8.	CTE-2006, DB-HE. (Pág. 49) Fuente: http://www.coatpalencia.org/documentos/CTE.pdf
Figura 2.9.	Tabla D.1.-Zonas climáticas. (Pág. 53) Fuente: CTE-2006
Figura 2.10.	Tabla 2.1. (Pág. 53) Fuente: CTE-2006

Figura 2.11.	Fichas justificativas. (Pág. 55) Fuente: CTE-2006
Figura 2.12.	Esquema de envolvente térmica. (Pág. 57) Fuente: CTE-2006
Figura 2.13.	Síntesis de procedimiento de comparación con los valores límite. (Pág. 57) Fuente: CTE-2006
Figura 2.14.	CTE-2013, DB-HE. (Pág. 63) Fuente: BOE, jueves 12 de septiembre de 2013.
Figura 2.15.	Zonas climáticas, CTE-2013. (Pág. 65) Fuente: BOE, jueves 12 de septiembre de 2013.
Figura 2.16.	Tabla 2.3. Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica. (Pág. 65) Fuente: BOE, jueves 12 de septiembre de 2013.
Figura 3.1.	Tabla 3.1. Valores límite de consumo de energía primaria no renovable. (Pág. 77) Fuente: CTE-DB-HE-1-2019.
Figura 3.2.	Tabla 3.1. Tabla 3.1.1.a-HE1 Valores límite de transmitancia térmica (Pág. 77) Fuente: CTE-DB-HE-1-2019.
Figura 3.3.	Composición fachada de doble hoja de ladrillo con cámara de aire. (Pág. 83) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.4.	Detalle constructivo fachada de doble hoja de ladrillo con cámara de aire. (Pág. 83) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.5.	Proceso de construcción. (Pág. 85) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.6.	Detalle constructivo fachada de doble hoja de ladrillo sin cámara de aire. (Pág. 85) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.7.	Detalle constructivo fachada de doble hoja de ladrillo con cámara de aire y aislamiento por delante del forjado. (Pág. 87) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.8.	Detalle constructivo fachada de doble hoja de ladrillo con cámara de aire y aislamiento sobre el forjado. (Pág. 87) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.9.	Composición fachada con trasdosado interior aislante. (Pág. 89) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.10.	Proceso de construcción. (Pág. 89) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.11.	Composición fachada con aislante exterior. (Pág. 89) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.12.	Composición fachada ventilada. (Pág. 91) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.

Figura 3.13.	Panel metálico ondulado sobre material aislante. (Pág. 91) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.14.	Composición de muros enterrados. (Pág. 93) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.15.	Composición de cubierta plana tradicional. (Pág. 93) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.16.	Composición de cubierta plana tradicional ajardinada. (Pág. 95) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.17.	Composición de cubierta plana invertida. (Pág. 95) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.18.	Ejemplo cubierta inclinada. (Pág. 97) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.19.	Composición de cubierta inclinada con soporte horizontal. (Pág. 97) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.20.	Proceso de construcción. (Pág. 99) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.21.	Detalle constructivo cubierta plana a la catalana. (Pág. 99) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 3.22.	Composición de cubierta inclinada con soporte inclinado. (Pág. 101) Fuente: Guía de aplicaciones de aislantes en edificación.
Figura 4.1.	Ciclo de vida de un producto. (Pág. 107) Fuente: Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación.
Figura 4.2.	Fases de estudio del ciclo de vida de un producto. (Pág. 107) Fuente: Apuntes arquitectura y sostenibilidad, Universidad de Zaragoza.
Figura 4.3.	Metodología general del ACV. (Pág. 109) Fuente: Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación.
Figura 4.4.	Inventario del ciclo de vida aplicado a un proceso unitario del sistema. (Pág. 109) Fuente: Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación.
Figura 4.5.	Interpretación de los resultados de un ACV. (Pág. 111) Fuente: Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación.
Figura 5.1.	Ciclo de vida del producto Feltwood. (Pág. 133) Fuente: Feltwood.
Figura 5.2.	Material Hard, Feltwood. (Pág. 133) Fuente: Feltwood.
Figura 5.3.	Material Pack, Feltwood. (Pág. 135)

- Fuente: Feltwood.
- Figura 5.4. Material Insulation, Feltwood. (Pág. 135)
- Fuente: Feltwood.
- Figura 5.5. Aislamiento proyectado. (Pág. 137)
- Fuente: Aislamania.
- Figura 5.6. Aislamiento inyectado. (Pág. 137)
- Fuente: Aislantium.

Tablas.

- Tabla 1. Conductividad térmica de los materiales. (Pág. 36)
- Fuente: Elaboración propia.
- Tabla 2. Comparación cumplimiento de la norma por las soluciones propuestas. (Pág. 38)
- Fuente: Elaboración propia.
- Tabla 3. Comparación cumplimiento de la norma por las soluciones propuestas. (Pág. 31)
- Fuente: Elaboración propia.
- Tabla 4. Comparación de transmitancias térmicas. (Pág. 66)
- Fuente: Elaboración propia.
- Tabla 5. Materiales aislantes de origen sintético orgánico. (Pág. 68)
- Fuente: Elaboración propia, basado en la recopilación de los datos de otros estudios realizados anteriormente.
- Tabla 6. Materiales aislantes de origen sintético inorgánico. (Pág. 69)
- Fuente: Elaboración propia, basado en la recopilación de los datos de otros estudios realizados anteriormente.
- Tabla 7. Materiales aislantes de origen natural orgánico. (Pág. 70)
- Fuente: Elaboración propia, basado en la recopilación de los datos de otros estudios realizados anteriormente.
- Tabla 8. Comparación de transmitancias térmicas. (Pág. 76)
- Fuente: Elaboración propia.
- Tabla 9. Comparación cumplimiento de la norma por las soluciones propuestas. (Pág. 81)
- Fuente: Elaboración propia.
- Tabla 10. Transmitancia térmica, resistencia térmica y conductividad térmica. (Pág. 140)
- Fuente: Laboratorio para la calidad de la edificación
- Tabla 11. Comparación de valores característicos del aislamiento térmico. (Pág. 141)
- Fuente: Elaboración propia.

7. Bibliografía

Libros y revistas

Payá, M. (s.f.). Aislamiento térmico y acústico. CEAC técnico Construcción.

(Rougeron, 1977)

Rougeron, C. (1977). Aislamiento acústico y térmico en la construcción. Barcelona: Editores técnicos Asociados.

Pistono, J. (2004). Libro de actas del Congreso Ibérico de Aislamiento Térmico y Acústico. Oviedo.

Asociación de Investigación Técnica de las industrias de la madera y corcho. (1995). Casas de madera. (Fundación Laboral de la construcción , 2016)

Quintáns, C. (1995). Cerramientos Pesados. Tectónica nº2 Envolventes (II), 12-27.

Tesis y TFG

Rivero Nogueiras, V. (2016). Análisis medioambiental de los aislamientos térmicos en la construcción. A Coruña

Rodríguez, M. V. (2015). Materiales aislantes sostenibles.

Cano, M. P. (2017). Aislantes Térmicos, Criterios de selección por requisitos energéticos. Madrid.

Normas

Ministerio de obras públicas y urbanismo. (1979). Norma Básica Edificación. Condiciones térmicas en los edificios. Madrid, España.

Ministerio de vivienda. (2006). Código técnico de la edificación. Madrid, España.

Ministerio de vivienda. (2013). Código técnico de la edificación. Madrid, España.

Ministerio de vivienda. (2019). Código técnico de la edificación. Madrid, España.

Documentos

Comunidad de Madrid. (2012). Guía sobre Materiales Aislantes y Eficiencia Energética. Madrid: Fundación de la energía (Asociación de Investigación Técnica de las industrias de la madera y corcho, 1995) de la comunidad de Madrid.

López Mesa, B., & Monzón Chavarías, M. (2018). Comportamiento higrotérmico y acústico de los edificios. Zaragoza: Colegio Oficial de Aparejadores (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2008) y Arquitectos Técnicos de Zaragoza.

García Marquina, E. (s.f.). Evolución histórica de la construcción industrializada. Estudio del arte a través de la historia contextualizada, 73-123.

Nadal, J. (1965). La evolución de la industria de la construcción. Madrid: Instituto Eduardo Torroja.

Caballero, M. (2014). Walter Gropius en la Wiebenhofsiedlung. Dos prototipos de viviendas industrializadas. 59-74.

Comunidad de Madrid. (2012). Guía sobre Materiales Aislantes y Eficiencia Energética. Madrid: Fundación de la energía de la comunidad de Madrid.

Fundación Laboral de la construcción. (2016). Aislamiento térmico de edificios. Madrid: Tornapunta Ediciones

(s.f.). Guía de Aplicaciones de Aislamiento en Edificación. Madrid: ANAPE.

Fundación laboral de la construcción. (2014). Tecnología de la construcción. Técnicas de aislamiento e impermeabilización. Madrid: Tornapunta Ediciones.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2008). Guía práctica de la energía para la rehabilitación de edificios. Madrid.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (2012). Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios. Madrid.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (2008). Soluciones de Aislamiento con Espumas Flexibles. Madrid.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (2008). Soluciones de Aislamiento con Poliuretano. Madrid.

Ministerio de transportes movilidad y agenda urbana. (s.f.). Catálogo informático de elementos constructivos (CEC). Madrid.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (2008). Soluciones de Aislamiento con Lana Mineral. Madrid.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (2008). Soluciones de Aislamiento con Poliestireno Extruido (XPS). Madrid.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (2008). Soluciones de Aislamiento con Poliestireno Expandido (EPS). Madrid.

Proyecto Enerbuilca. (2012). Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación.

Sitios web

Española, R. A. (s.f.). Diccionario de la lengua española. Obtenido de <https://dle.rae.es/>

Zabalza Bribián, I., Días de Garayo, S., Aranda Usón, A., & Scarpellini, S. (s.f.). Ecohabitar actualidad. Obtenido de <https://ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/>

Alcalá, N. (s.f.). La primera escuela de diseño del siglo XX. Obtenido de <http://www.cultier.es/bauhaus-la-primera-escuela-de-diseno-del-siglo-xx/>

Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana. (s.f.). CTE. Código Técnico de la Edificación. Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/index.html>

Feltwood. (s.f.). Feltwood. Obtenido de <https://feltwood.com/feltwood-tecnologia-es/>

Efecto colibrí. (s.f.). Efecto colibrí. Obtenido de <https://efectocolibri.com/feltwood-materiales-industriales-100-eocologicos/>

Sarachu, E. (s.f.). E-ficiencia. Obtenido de <https://e-ficiencia.com/nuevo-codigo-tecnico-de-edificacion-cte-que-cambios-introduce/>

García, Á. S. (s.f.). Kömmerling. Obtenido de <https://retokommerling.com/novedades-cte-db-he/>

Isover. (s.f.). Obtenido de <https://www.isover.es/revision-codigo-tecnico-de-la-edificacion-db-he>

- Torroja, I. E. (s.f.). Certificados energeticos.com. Obtenido de <https://www.certificadosenergeticos.com/cambios-reglamentarios-en-el-codigo-tecnico-de-la-edificacion-cte>
- Rodríguez, M. (s.f.). Revista digital. Obtenido de <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/modificaciones-nuevo-documento-ahorro-energia-he-cte/>
- Noticias ANFAPA. (2017). Instituto Eduardo Torroja. Obtenido de <https://www.ietcc.csic.es/ietcc-en-los-medios/entrevista-a-antonio-blazquez-caracteristicas-de-los-sistemas-sate-frente-al-fuego/>
- Ruiz Roso, M. (2011). Weissenhof Housing, Walter Gropius, Stuttgart, 1927. Obtenido de <https://proyectos4etsa.wordpress.com/2011/11/02/weissenhof-housing-walter-gropius-stuttgart-1927/>
- Stepien, A. (2014). Aislamiento y sostenibilidad. Obtenido de <https://aislamientoysostenibilidad.es/del-homo-habilis-al-homo-sapiens-breve-historia-del-aislamiento-termico/>
- Elena Arcia, M. (2011). Casas Ecologicas. Obtenido de <http://icasasecologicas.com/aislantes-ecologicos/>
- Arquitectura sostenible. (2018). Obtenido de <https://arquitectura-sostenible.es/aislantes-termicos-ecologicos-y-sostenibles/>

