

Trabajo de Fin de Grado:

# CERRAMIENTOS LIGEROS EN ESPAÑA

Autor: **Aitor Sáez Silva**

Tutor: **Gemma Ramón Cueto**

Septiembre 2016

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

The logo of the University of Valencia (UVa) is a red square with the white text "UVa" inside.

# 1. ÍNDICE

1. Índice.....	1
2. RESUMEN .....	3
3. INTRODUCCIÓN.....	4
a. Objetivos .....	4
b. Justificación e interés del tema elegido.....	4
c. Metodología .....	4
4. EVOLUCIÓN DE LOS CERRAMIENTOS LIGEROS.....	5
5. CERRAMIENTOS .....	7
a. Definición de cerramiento.....	7
b. Funciones de los cerramientos.....	7
c. Tipologías de cerramientos .....	7
d. Exigencias de los cerramientos de fachada.....	9
CTE: Código Técnico de la Edificación .....	9
Documento Básico de Acciones en la Edificación DB-SE-AE .....	9
Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE .....	10
Documento Básico de Protección frente al ruido DB-HR.....	11
Documento Básico de Salubridad DB-HS .....	11
Documento Básico de Seguridad en Caso de Incendio DB-SI.....	12
Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad DB-SUA .....	12
Normas UNE .....	12
6. CERRAMIENTOS LIGEROS.....	16
a. Definición .....	16
b. Partes de los cerramientos ligeros .....	24
c. Tipos de cerramientos ligeros.....	17
Paneles Sandwich .....	22
Fachadas ventiladas .....	18
Fachadas de chapa conformada .....	20
d. Ventajas.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
7. ESTUDIO DE COMBINACIONES .....	26
a. Introducción .....	26
b. Fachadas con cámara de aire muy ventilada exterior: CMV .....	30
CMV1: Revestimiento exterior + CMVe + Aislamiento térmico + CNVi + Entramado ligero ...	30

CMV2: Revestimiento exterior + CMV + Aislamiento térmico + Entramado ligero.....	32
CMV3: Revestimiento exterior + CMV + Panel Sandwich .....	33
CMV4: Revestimiento exterior + CMVe + Panel Sandwich + CNVi + Aislamiento térmico + Entramado ligero .....	34
c. Fachadas con cámara de aire ligeramente ventilada exterior: CLV.....	36
CLV1: Revestimiento exterior + CLVe + Aislamiento térmico + CNVi + Entramado ligero.....	36
CLV2: Revestimiento exterior + CLV + Aislamiento térmico + Entramado ligero .....	40
CLV3: Revestimiento exterior + CLV + Panel Sandwich .....	42
CLV4: Revestimiento exterior + CLVe + Panel Sandwich + CNVi + Aislamiento térmico + Entramado ligero .....	44
d. Fachadas con cámara de aire no ventilada exterior: CNV .....	48
CNV1: Revestimiento exterior + CNVe + Aislamiento térmico + CNVi + Entramado ligero .....	48
CNV2: Revestimiento exterior + CNV + Aislamiento térmico + Entramado ligero .....	51
E. FACHADAS SIN CÁMARA DE AIRE EXTERIOR: SC .....	53
SC1: Panel Sandwich .....	53
SC2: Panel Sandwich + CNV + Aislamiento térmico + Entramado ligero .....	54
8. CONCLUSIONES .....	56
a. conclusiones del trabajo.....	56
B. Líneas futuras .....	57
9. índice de figuras .....	62
10. BIBLIOGRAFÍA.....	64
a. Documentos .....	64
B. Monografías .....	65
c. Páginas Web .....	65
D. Documentación consultada .....	66

## 2. RESUMEN

El siguiente trabajo consiste en un recorrido por los diferentes tipos de cerramientos ligeros de fachada, partiendo de su evolución hasta las distintas tipologías más utilizadas en la actualidad. Serán explicadas las distintas capas que los componen y los materiales más utilizados para ello. Por otro lado, se estudiarán las posibles combinaciones de capas y materiales a partir de una clasificación que dependerá de la cámara de aire de la fachada, para encontrar las soluciones que conseguirían garantizar los valores mínimos exigidos por el Código Técnico de la Edificación. Finalmente, se recogerán todos los resultados obtenidos en una tabla que pueda servir para posibles proyectos futuros.

Fachada Ligera - Fachada Ventilada - Envolverte arquitectónica - Eficiencia energética - Tipología

The following work is a journey through the different types of lightweight Façades, starting from its evolution to the different types most commonly used today. They are explained the different layers that compose and materials most used for this. On the other hand, the possible combinations of layers and materials from a classification that depend on the air chamber of the facade, to find solutions that would get guarantee the minimum values required by the Spanish Technical Building Code. Finally, all the results will be in a table that demonstrates possible future projects will be collected.

Light Façade - Ventilate Façade - Architectural surroundings - Energy efficiency - Typology

## 3. INTRODUCCIÓN

### A. OBJETIVOS

El principal objetivo del trabajo es conocer las opciones y combinaciones posibles de cerramientos ligeros de fachada, en relación al clima español más desfavorable, y calcular los valores mínimos de aislamiento térmico que necesita el cerramiento según materiales y espesores establecidos. De esta forma se concluirá con una tabla resumen que permita localizar los valores de resistencia térmica del aislamiento para la solución que más nos interese en nuestro proyecto. Además, anteriormente serán explicadas las tipologías y partes de los cerramientos ligeros, así como la normativa y las exigencias técnicas que se aplican en España.

### B. JUSTIFICACIÓN E INTERÉS DEL TEMA ELEGIDO

Hoy en día los cerramientos ligeros continúan siendo una solución poco conocida y poco empleada en España, y aunque son una tecnología emergente, mientras en otros países europeos esta alternativa está siendo cada vez más utilizados y desarrollados. Dejando a un lado las soluciones con cerramientos pesados, también llamados “tradicionales” como el hormigón armado, mampostería y cerámica, los cerramientos ligeros son una posibilidad constructiva diferente a las anteriores que amplía el abanico de soluciones a la hora de diseñar la fachada de un proyecto.

### C. METODOLOGÍA

El siguiente trabajo está constituido por dos partes, siendo la primera una parte teórica en la que se realizará un recorrido por la definición, partes y exigencias de los cerramientos ligeros en nuestro país, y la segunda parte práctica, dónde se estudiará las distintas combinaciones de hojas y materiales de cerramiento de fachadas para las distintas zonas climáticas de España de acuerdo a las exigencias vistas en la parte anterior. De esta forma, los objetivos de este trabajo serán:

- Definir el concepto de cerramiento y sus funciones en la arquitectura actual, hablando de la normativa que los regula en España.
- Conocer los cerramientos ligeros y sus partes.
- Comprobar qué soluciones de cerramiento ligero se adaptan de mejor forma a las exigencias técnicas requeridas por el Código Técnico de la Edificación en España. Clasificaremos los cerramientos ligeros en distintos tipos, para después calcular si los parámetros de dichas soluciones funcionarían en las zonas climáticas de nuestro país.

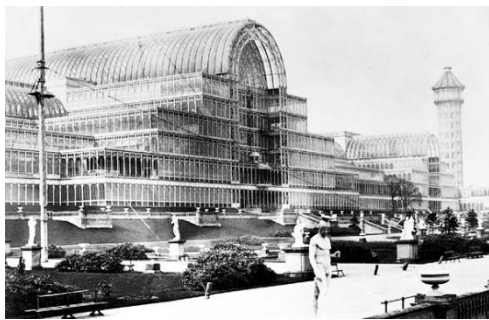
De esta forma, se pretende llegar a unas conclusiones resumidas en tablas en las cuales se puedan comparar los valores de exigidos por la normativa española y los valores de las soluciones estudiadas anteriormente.

## 4. EVOLUCIÓN DE LOS CERRAMIENTOS LIGEROS

El cerramiento surge por la necesidad de crear una mayor protección climática y un ámbito de privacidad, desde los primeros pueblos primitivos, que utilizaban las pieles de los animales o tejidos de pelo de cabra. También podían ser utilizadas fibras vegetales en forma de hojas o ramas para construir cabañas.

Sin embargo estas técnicas son frágiles en el desarrollo de los cerramientos, por lo que la arquitectura optó durante años por muros de carga compuesto de materiales pesados que funcionaban como estructura y cerramiento. La piedra fue uno de los materiales más utilizados, ya que protegía de las inclemencias climáticas y su inercia térmica permitía almacenar la energía en el interior. A principios del siglo XIX nace el cemento Portland y los cerramientos de este material, y no será hasta la segunda mitad del siglo XX cuando se comienzan a utilizar las fábricas de bloques.

El origen de los cerramientos ligeros se sitúa a mitad del siglo XIX con el uso del hierro en la estructura, cuando los muros comienzan a desaparecer y los avances permiten separar la estructura del cerramiento, de tal forma que la libertad para componer fachadas es mayor. El Crystal Palace de 1853 podría ser el primer ejemplo.



1 Joseph Paxton, Crystal Palace, Hyde Park, 1851, Londres



2 Interior Crystal Palace

También podía darse con materiales como hormigón armado y los 5 puntos de la arquitectura de Le Corbusier, permitiendo crear una ventana continua en una fachada. Mies Van de Rohe, por su parte, utilizó esta técnica en el Pabellón Alemán 1929 de la Exposición Universal de Barcelona.

Los siguientes años y en la primera mitad del siglo XX comienza el Movimiento Moderno, y se avanza en la dualidad Ingeniería y Arquitectura. A principios del siglo XX el concepto de fachada ligera se relacionaba únicamente al vidrio, pero unas décadas más tarde empieza a desarrollarse la construcción industrializada con la idea de construcción reticular, de forma que se construye una malla metálica cuyos huecos son rellenados con piezas que pueden ser transparente u opacas. Además, la creación de nuevos productos químicos que mejoran el aislamiento térmico y acústico permitirá reducir el espesor de los cerramientos. En los primeros edificios con cerramientos ligeros se daba mayor importancia a la composición del diseño y a razones formales como la funcionalidad y el entorno. En los posteriores, las prestaciones técnicas eran mayores, sin embargo tenían escasa eficacia técnica.

En sus primeros proyectos residenciales, a mediados de siglo XX, Jean Prouvé utiliza paneles sándwich semipropios, cuya cara exterior es de chapa de aluminio, su cara interior es de madera y su relleno son 6 cm de poliéster expandido. Observa que el sistema tiene ciertos problemas en sus juntas, en los ensambles de los paneles, en el pliegue de las chapas o en los puentes térmicos.

Arquitectos como Richard Rogers o Charles y Ray Eames utilizarán más adelante estos paneles por capas en sus proyectos. Lentamente comienza a experimentarse aisladamente con los nuevos paneles, y surgen las primeras patentes que hacen que se generalicen. James Stirling diseñará un centro el centro de Adiestramiento de Olivetti en Haslemere en 1972, dónde la cubierta será compuesta por paneles de plástico, y Norman Foster, en 1974, utilizará paneles modulares de aluminio para envolver la Universidad de East Anglia.



3 James Stirling, Olivetti Training Centre,  
1969-1972, Haslemere, Reino Unido



4 Norman Foster, Sainsbury Centre for Visual Arts,  
1974-1978, Norwich, Reino Unido

A finales del siglo XX se crea un acuerdo internacional para que las pieles de los edificios actúen inteligentemente, de forma que la fachada sea eficiente con la temperatura, la luz y el aislamiento acústico.

Los mayores problemas siguen siendo los mismos que encontró Prouvé, pero en la actualidad se han solucionado gracias al avance de la industria química en cuanto a los nuevos materiales plásticos en el sellado de las juntas.

Hoy en día, el uso de cerramientos ligeros multicapa es cada vez más utilizado en España. Con menores espesores y una construcción más rápida pueden conseguirse condiciones de confort necesarias para cumplir las exigencias técnicas del Código Técnico de la Edificación.

## 5. CERRAMIENTOS

### A. DEFINICIÓN DE CERRAMIENTO

*“Cerramiento: elemento constructivo del edificio que lo separa del exterior, ya sea aire, terreno u otros edificios. Comprende las cubiertas, suelos, huecos, muros y medianeras. En la intervención en edificios existentes, cuando un elemento de cerramiento separe una zona ampliada respecto a otra existente, se considerará perteneciente a la zona ampliada.”<sup>1</sup>*

### B. FUNCIONES DE LOS CERRAMIENTOS

La función de un cerramiento consiste en delimitar el espacio habitable interior de un edificio y separarlo del ambiente exterior, del terreno o de otro edificio. Estos son: cubiertas, suelos, fachadas (muros y huecos), cerramientos en contacto con el terreno, medianeras y particiones interiores.

Las funciones de un cerramiento son:

- Aislar térmicamente el ambiente interior
- Aislar acústicamente el interior del edificio
- Proteger contra los agentes químicos y mecánicos
- Proteger contra los agentes atmosféricos
- Garantizar la impermeabilidad y la estanqueidad frente a la humedad y al aire exterior
- Permitir la iluminación y ventilación naturales del espacio interior
- Proteger contra el fuego
- Ofrecer vistas del exterior
- Componer la imagen del edificio

### C. TIPOLOGÍAS DE CERRAMIENTOS

En este trabajo nos centraremos en los cerramientos de fachada, definiéndola como: *“Fachada: cerramiento en contacto con el aire exterior cuya inclinación es superior a 60° respecto a la horizontal. La orientación de una fachada se caracteriza mediante el ángulo  $\alpha$  que es el formado por el norte geográfico y la normal exterior de la fachada, medido en sentido horario.”<sup>2</sup>*

Los cerramientos de fachada están constituidos por una parte opaca, formada por uno o varios materiales, y una parte translúcida o transparente que permite la iluminación, la ventilación o el paso. La parte opaca está formada por diversas capas que reciben separadamente las funciones que debe cumplir el cerramiento.

---

<sup>1</sup> CTE DB-HE1, Apéndice A Terminología

<sup>2</sup> CTE DB-HE Apéndice A Terminología



(ESQUEMA)

Estas combinaciones de elementos pueden ser de distintos materiales, pudiendo darse la estructura en aluminio, zonas acristaladas transparente y elementos de rellenos en zonas opacas de materiales como madera, vidrio, plásticos, ...

Según Ana Sánchez-Ostiz Gutiérrez, los cerramientos de fachada se dividen en los siguientes tipos<sup>3</sup>:

- Fachadas opacas

Tradicionales	Una hoja homogénea	Adobe, tapial, piedra, ladrillo, bloques de mortero, hormigón		
	Varias hojas heterogéneas	Ladrillo, bloque de mortero, hormigón	Con cámara de aire Sin cámara de aire	
Industrializadas	Varias hojas	Con cámara de aire ventilada (transventilada)	Pesadas (Hoja interior pesada)	Hoja exterior pesada
			Ligeras (Hoja interior ligera)	Hoja exterior ligera
		Sin cámara de aire	Hoja interior (+Placa prefabricada de aislamiento térmico y revestimiento exterior)	Hoja interior pesada
				Hoja interior ligera
	Una hoja (Paneles Sandwich)	Pesadas	Paneles de hormigón	
			Paneles prefabricados de ladrillo	
Ligeras	Paneles de GRC			
	Paneles metálicos			

- Fachadas de vidrio o translúcidas

Una hoja	Muros cortina
	Vidrio suspendidos o anclados
Varias hojas	Transventilada
	De control energético
	Con cámara de aire no ventilada

<sup>3</sup> "Fachadas: Cerramientos en edificio" de Ana Sánchez-Ostiz Gutiérrez

Dentro de esta amplia tipología, estudiaremos los cerramientos ligeros de fachada, que según la tabla anterior serán:

- Fachada ventilada ligera
- Fachada ligera sin cámara de aire o con cámara de aire no ventilada
- Paneles Sandwich ligeros

#### **D. EXIGENCIAS DE LOS CERRAMIENTOS DE FACHADA**

En el estudio de combinaciones de cerramientos ligeros del apartado siguiente se aplicarán las exigencias del Código Técnico Español (CTE) requeridas para las fachadas a nivel nacional.

Estas exigencias básicas son las siguientes:

##### CTE: Código Técnico de la Edificación

*“El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).”<sup>4</sup>*

El CTE se divide en las siguientes partes:

- Real Decreto
- DB SE: Seguridad estructural
  - o DB SE-AE: Acciones en la edificación
  - o DB SE-A: Estructuras de acero
  - o DB SE-F: Estructuras de fábrica
  - o DB SE-M: Estructuras de madera
  - o DB SE-C: Cimentaciones
- DB SI: Seguridad en caso de incendio
- DB SUA: Seguridad de utilización y accesibilidad
- DB HE: Ahorro de energía
- DB HR: Protección frente al ruido
- DB HS: Salubridad

De los documentos anteriores, a continuación se especifican los que afectan a los cerramientos:

##### Documento Básico de Acciones en la Edificación DB-SE-AE

Establece las exigencias básicas de Seguridad Estructural y determina las Acciones en la Edificación, ya sean permanentes o variables del cerramiento de fachada.

---

<sup>4</sup> <http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte/menu-presentacion>

- Peso propio: el peso del cerramiento forma parte de las acciones permanentes del edificio, las cuales son tomadas en cuenta cuando se calcula la estructura que las sustenta.<sup>5</sup>
- Acción de la temperatura: las temperaturas extremas, ya sean máximas o mínimas, puede afectar negativamente a los materiales utilizados en el cerramiento de fachada. La variación de la temperatura entre estaciones o entre el día y la noche podría provocar dilataciones o contracciones, por ello debemos asegurarnos de que las juntas de dilatación absorben esos movimientos evitando el daño en los materiales. Esos valores dependen de la localización geográfica del lugar de estudio, su zona climática y su altitud.<sup>6</sup>
- Acción del viento: este valor es el resultado de varios cálculos a partir de la presión dinámica del viento, del coeficiente de exposición y del coeficiente eólico. A su vez, estos valores dependerán de la dirección e intensidad del viento y de la orientación y forma de la superficie respecto a ese viento.<sup>7</sup>

### Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE

- HE0 Limitación del consumo energético
- HE1 Limitación de la demanda energética
- HE2 Rendimiento de las instalaciones térmicas
- HE3 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación
- HE4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria
- HE5 Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

Las exigencias básicas de Ahorro de Energía se establecen mediante los valores límite de los parámetros de la envolvente: Transmitancia de los muros de fachada, transmitancia de los huecos, factor solar, condensaciones y permeabilidad del aire. El cumplimiento de los valores exigidos supone la superación de los niveles de calidad y confort. Según la opción simplificada, podremos estudiar independientemente los valores para cada uno de los elementos constructivos, pero cumpliendo una serie de requisitos

- Demanda energética: el Código Técnico establece los valores límite de la transmitancia de la envolvente para cada una de las distintas zonas climáticas de España.<sup>8</sup>
- Condensaciones:
  - o Condensaciones intersticiales: para evitar la degradación o daño de las características de los elementos de cerramiento a causa de las condensaciones intersticiales, la máxima condensación debe ser inferior a la cantidad de evaporación posible, en un mismo año.
  - o Condensaciones superficiales: en lugares del cerramiento susceptibles de absorber agua, puede producirse una degradación de los materiales o la

---

<sup>5</sup> CTE DB-SE-AE Anejo C. Prontuario de pesos y coeficientes de rozamiento interno

<sup>6</sup> CTE DB-SE-AE Anejo E. Datos climáticos

<sup>7</sup> CTE DB-SE-AE Anejo D. Acción del viento

<sup>8</sup> CTE DB-HE Apéndice B Zonas climáticas

aparición de mohos. El código técnico establece que la humedad relativa media mensual no debe superar el 80%. Además influyen otros parámetros con el factor de temperatura superficial interior o la temperatura del espacio interior.

- Permeabilidad del aire: el DB-HE/1 establece los valores de permeabilidad del aire en las carpinterías dependiendo de la zona climática, medida con una sobrepresión de 100 Pa. Las partes opacas del cerramiento son consideradas no permeables al paso del aire. En los cerramientos ligeros será necesario colocar una barrera estanca.
- Iluminación: el DB-HE/3 presenta las condiciones que deben cumplir los huecos de los cerramientos del edificio para la instalación de los sistemas de aprovechamiento de la luz natural.

### Documento Básico de Protección frente al ruido DB-HR

En este documento aparecen las exigencias básicas de protección frente al ruido, estableciendo los niveles de aislamiento acústico que deben cumplir los cerramientos exteriores. Para los cerramientos de fachada se tienen en cuenta el ruido aéreo entre el exterior y el espacio interior, el ruido a impactos y el ruido entre recintos. En este apartado se especifica que para considerar un cerramiento como ligero, su peso propio debe ser inferior a los 200 kg/m<sup>2</sup>, en caso de superarlo, se considera cerramiento pesado.

- Aislamiento acústico a ruido aéreo: los valores mínimos se establecen según la Tabla 2.1 del DB-HR, y dependen del índice del ruido día, del uso del edificio y del uso del espacio a estudiar dentro del edificio.<sup>9</sup>

### Documento Básico de Salubridad DB-HS

- HS 1 Protección frente a la humedad
- HS 2 Recogida y evacuación de residuos
- HS 3 Calidad del aire interior
- HS 4 Suministro de agua
- HS 5 Evacuación de aguas

Respecto a las exigencias básicas de salubridad, se estudiará la protección frente a la humedad que tiene la fachada según el DB HS/1, estableciendo los valores límite que evitar el riesgo de presencia de agua o humedad en el cerramiento. La impermeabilidad y la estanqueidad al paso del agua será imprescindible para el cerramiento, ya sea en su cara exterior o en una de sus capas intermedias. El grado de impermeabilidad mínimo<sup>10</sup> que exige el Código Técnico para las fachadas será establecido a partir del grado de exposición al viento<sup>11</sup> y de la zona pluviométrica de promedios<sup>12</sup> del lugar dónde se encuentre el edificio.

<sup>9</sup> CTE DB-HR Apartado 2.1 Valores límite de aislamiento

<sup>10</sup> CTE DB-HS/1 Tabla 2.5 Grado de impermeabilidad mínimo exigido a las fachadas

<sup>11</sup> CTE DB-HS/1 Tabla 2.6 Grado de exposición al viento

<sup>12</sup> CTE DB-HS/1 Figura 2.4 Zonas pluviométricas de promedios en función del índice pluviométrico anual

### Documento Básico de Seguridad en Caso de Incendio DB-SI

- SI 1 Propagación interior
- SI 2 Propagación exterior
- SI 3 Evacuación de ocupantes
- SI 4 Instalaciones de protección contra incendios
- SI 5 Intervención de los bomberos
- SI 6 Resistencia al fuego de la estructura

El cumplimiento de las exigencias básicas de seguridad en caso de incendio supone la superación de los niveles de riesgo mínimos aceptables para los usuarios del edificio. Los cerramientos deberán funcionar como barrera incombustible y resistente al fuego en caso de peligro durante un incendio accidental. Por otro lado, se deberá facilitar la evacuación de los ocupantes de edificio y la intervención de los equipos de rescate y de extinción de incendios según el SI/5. Los cerramientos de fachada deberán cumplir las exigencias, concretando los diferentes casos de cerramientos en el DB-SI/2.

### Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad DB-SUA

- SUA 1 Seguridad frente al riesgo de caídas
- SUA 2 Seguridad frente al riesgo de impacto o de atrapamiento
- SUA 3 Seguridad frente al riesgo de aprisionamiento
- SUA 4 Seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada
- SUA 5 Seguridad frente al riesgo causado por situaciones con alta ocupación
- SUA 6 Seguridad frente al riesgo de ahogamiento
- SUA 7 Seguridad frente al riesgo causado por vehículos en movimiento
- SUA 8 Seguridad frente al riesgo causado por la acción del rayo
- SUA 9 Accesibilidad

En este documento se busca limitar el riesgo de que los usuarios del edificio puedan sufrir daños durante el uso del edificio, y por otro lado, que éste pueda ser utilizado por personas discapacitadas de forma segura. En el DB-SUA/1 se establecen las limitaciones respecto a las barreras de protección en desniveles, huecos y aberturas.

### Normas UNE

Por otro lado, a la hora de establecer la solución en situaciones repetidas se elaboran una serie de normas que regulan dichas situaciones. De esta forma se facilita que los productos y los procesos de aplicación se adapten a esa situación, y la resuelvan sin afectar la salud ni el

medioambiente. A nivel nacional, AENOR es el encargado de aprobar estas normas<sup>13</sup>: las normas UNE.

Las normas UNE (Una Norma Española) consisten en un conjunto de normas, normas experimentales e informes creados en los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

Estas normas no son de obligado cumplimiento, a excepción de aquellas formuladas en una ley, como las que aparecen en el CTE. Respecto a las fachadas ligeras, afectan los Comités AEN/CTN 23 “Seguridad contra incendios” y AEN/CNT 85 “Cerramientos de huecos en edificación y sus accesorios”, los cuales se dividen en subcomités.

En relación a los cerramientos y fachadas ligeras, tanto el proceso constructivo como las exigencias térmicas y acústicas y de protección contra incendios, la normativa se recoge en los siguientes apartados:

- UNE-EN 1364-3:2015 - Ensayos de resistencia al fuego de elementos no portantes. Parte 3: Fachadas ligeras. Configuración completa (conjunto completo).
- UNE-EN 1364-4:2015 - Ensayos de resistencia al fuego de elementos no portantes. Parte 4: Fachadas ligeras. Configuración parcial.
- UNE-EN 15254-6:2015 - Extensión del campo de aplicación de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia al fuego. Paredes no portantes. Parte 6: Fachadas ligeras.
- UNE EN 1634-1: 2000 Parte 1: Puertas y cerramientos cortafuegos.
- UNE EN ISO 6946:2012 - Elementos y componentes de edificación. Resistencia y transmitancia térmica. Método de cálculo.
- UNE-EN 12155:2000 - Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo de laboratorio bajo presión estática.
- UNE-EN 13050:2011 - Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo en laboratorio bajo presión dinámica de aire y proyección de agua.
- UNE EN ISO 13788: 2002 Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo.
- UNE-EN 13051:2001 - Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo "in situ".
- UNE-EN 12154:2000 - Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Requisitos y clasificación.
- UNE-EN 13830:2016 - Fachadas ligeras. Norma de producto.
- UNE-EN 13830:2004 - Fachadas ligeras. Norma de producto.
- UNE-EN 12153:2000 - Fachadas ligeras. Permeabilidad al aire. Método de ensayo.
- UNE-EN 12152:2002 - Fachadas ligeras. Permeabilidad al aire. Requisitos de funcionamiento y clasificación.
- UNE-EN 12179:2000 - Fachadas ligeras. Resistencia a la carga de viento. Método de ensayo.
- UNE-EN 13116:2001 - Fachadas ligeras. Resistencia a la carga de viento. Requisitos de prestaciones.

---

<sup>13</sup> Real Decreto 2200/1995

- UNE-EN 14019:2004 - Fachadas ligeras. Resistencia al impacto. Requisitos de comportamiento.
- UNE-EN 13119:2007 - Fachadas ligeras. Terminología.
- UNE-EN 12365-4:2004 - Herrajes para la edificación. Juntas y burletes de estanquidad para puertas, ventanas, persianas y fachadas ligeras. Parte 4: Método de ensayo de la recuperación tras envejecimiento acelerado.
- UNE-EN 12365-1:2004 - Herrajes para la edificación. Juntas y burletes de estanquidad para puertas, ventanas, persianas y fachadas ligeras. Parte 1: Requisitos de prestaciones y clasificación.
- UNE-EN 12365-2:2004 - Herrajes para la edificación. Juntas y burletes de estanquidad para puertas, ventanas, persianas y fachadas ligeras. Parte 2: Método de ensayo de la fuerza de compresión lineal.
- UNE-EN 12365-3:2004 - Herrajes para la edificación. Juntas y burletes de estanquidad para puertas, ventanas, persianas y fachadas ligeras. Parte 3: Método de ensayo de la recuperación de la desviación.
- UNE-EN ISO 12631:2015 - Prestaciones térmicas de las fachadas ligeras. Cálculo de la transmitancia térmica. (ISO 12631:2012).
- UNE-EN 1630:2011 - Puertas peatonales, ventanas, fachadas ligeras, rejas y persianas. Resistencia a la efracción. Método de ensayo para la determinación de la resistencia a intentos manuales de efracción.
- UNE-EN 1629:2011 - Puertas peatonales, ventanas, fachadas ligeras, rejas y persianas. Resistencia a la efracción. Método de ensayo para la determinación de la resistencia bajo carga dinámica.
- UNE-EN 1628:2011 - Puertas peatonales, ventanas, fachadas ligeras, rejas y persianas. Resistencia a la efracción. Método de ensayo para la determinación de la resistencia bajo carga estática.
- UNE-EN 1627:2011 - Puertas peatonales, ventanas, fachadas ligeras, rejas y persianas. Resistencia a la efracción. Requisitos y clasificación.
- UNE-EN ISO 140-4: 1999 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición in situ del aislamiento al ruido aéreo entre locales.
- UNE-EN ISO 140-5: 1999 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5: Medición in situ del aislamiento acústico al ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas.
- UNE-EN ISO 140-7: 1999 - Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos (ISO 140-7: 1998)
- UNE-EN ISO 717-1: 1997 - Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.
- UNE-EN ISO 717-1: 1997/A1:2007 - Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.

- UNE-EN ISO 717-2: 19971 - Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos.
- UNE-EN ISO 717-2: 1997/A1:20071 - Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos.



## 6. CERRAMIENTOS LIGEROS

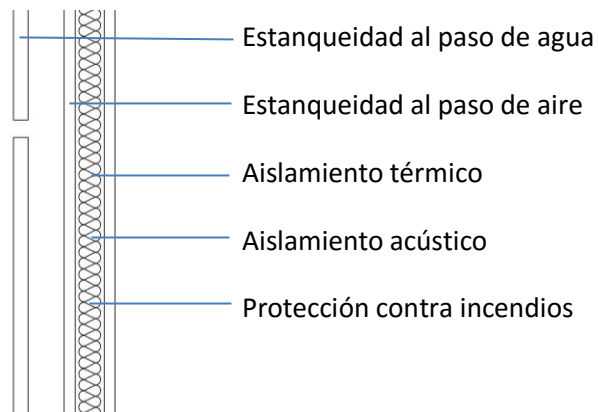
### A. DEFINICIÓN

“Fachada ligera: Fachada continua y anclada a una estructura auxiliar, cuya masa por unidad de superficie es menor que 200 kg/m<sup>2</sup>.”<sup>14</sup>

Por lo tanto, y recogiendo las definiciones anteriores, en este trabajo nos centraremos en aquellos cerramientos:

- Cuyo peso no supere los 200 kg/m<sup>2</sup>
- Cuyo ángulo de fachada sea mayor o igual que 60°
- Que estén en contacto con el aire exterior
- Opacos

Las tradicionales fachadas pesadas de ladrillo han quedado atrás para dar lugar a nuevos materiales, cuya prefabricación será una gran ventaja a la hora de su puesta en obra y facilidad de montaje. Estos nuevos cerramientos ligeros mejoran en menores espesores algunas de las características funcionales de los cerramientos, como el aislamiento térmico y acústico, aunque algunas otras como la estanqueidad al paso de agua o aire precisarán de una capa superpuesta. Cada capa de estos cerramientos cumple una función distinta. Además existe una amplia variedad de opciones y combinaciones que permiten ajustarse a la solución idónea para cada caso.



5 Funciones de las capas de una fachada ligera ventilada

Los factores que han propiciado estas nuevas técnicas son, entre otros:

- La industrialización del sector de la construcción
- La disminución de los costes, mayor mano de obra, y más especializada, pero menor valor de los materiales
- El aumento de las exigencias de control y mantenimiento

<sup>14</sup> CTE DB-HR Anejo A

- La esbeltez, reduciendo las dimensiones de la estructura y pudiendo aumentar el área interior
- Mayor luminosidad del espacio interior

Los cerramientos ligeros de fachada están formados por una subestructura, normalmente metálica o de madera, sustentada por la estructura del edificio, que se rellena con materiales ligeros formando una superficie continua, delimitando el exterior del espacio interior, aportando las funciones de un muro exterior sin resistir ninguna carga de la estructura principal.

Está compuesta por montantes verticales y travesaños horizontales, cuya ejecución es rápida gracias a la prefabricación y modulación de la envolvente acorde con el diseño del proyecto. Sin embargo, deben diseñarse para resistir por sí mismos las acciones incidentes sobre ellos, y trasladarlas a la estructura resistente del edificio. Esta retícula crea espacios vacíos que pueden ser rellenos con:

- Vidrio: lo que permite la entrada de luz y la visibilidad hacia el exterior.<sup>15</sup>
- Paneles opacos: en las zonas ciegas.
- Elementos practicables: para facilitar la ventilación interior y limpieza de la fachada.

## B. TIPOS DE CERRAMIENTOS LIGEROS

- Por montaje: En relación a su fabricación y montaje, las fachadas ligeras se dividen en dos grupos según su procedimiento, y un tercero híbrido entre ambos.
  - o Sistema convencional: este procedimiento consiste en la fabricación en taller de los montantes y travesaños con sus elementos de fijación y partes de los accesorios. Posteriormente en obra se produce el ensamblaje de los perfiles formando la malla donde finalmente se colocarán las piezas de cerramiento.
  - o Sistema modular: se fabrican los módulos acabados, retícula y paneles, en un taller y se anclan a la estructura. De esta forma, cada módulo es independiente del resto y normalmente su altura coincide con la distancia entre los forjados.
  - o Sistema semimodular: combinación entre los sistemas anteriores.
- Por tipos arquitectónicos: Las fachadas ligeras utilizan una tecnología muy flexible, que la hora de proyectar permite crear distintos estilos:
  - o Trama reticular: predominio simultáneo de líneas horizontales y verticales, de forma que los módulos quedan marcados y unidos mecánicamente a ellas. Permite libertad de composición, pudiendo variar los ritmos, colores, materiales...
  - o Trama horizontal: se resaltan los perfiles horizontales sobre líneas verticales poco marcadas, dando mayor importancia a la horizontalidad de la fachada. Da un aspecto más dinámico al edificio.
  - o Trama vertical: cambiando el sentido de la trama anterior, predominio de los montantes y la verticalidad, dando mayor esbeltez al edificio.

---

<sup>15</sup> No considerados como cerramientos ligeros

- Silicona estructural: material adhesivo utilizado en las juntas de los módulos de forma que la estructura auxiliar de montantes y travesaños queda oculta tras ellos. Así la fachada adquiere un aspecto inmaterial cuando se realiza en vidrio.
- Por hojas: estos cerramientos ligeros pueden estar constituidos por una sola hoja, o dos hojas con o sin cámara de aire entre ellas.
  - De una hoja: todas las capas se agrupan en un mismo cerramiento, pudiendo contener una cámara de aire pero sin contacto con el exterior.
  - De dos hojas: formado por una hoja principal interior, y otra exterior separada por una cámara de aire.
  - De varias hojas: formado por varias capas de materiales, agrupados en una hoja interior ligera y en caso de las fachadas ventiladas, con una hoja exterior separada por una cámara ventilada con aire exterior. Además podría colocarse un panel sándwich.
- Por cámara de aire: esta clasificación viene especificada en el CTE DB-HE/1, dónde diferencia entre tres tipos de fachadas para hacer los cálculos de transmitancias térmicas de las fachadas, dependiendo de la superficie de aberturas del acabado exterior:
  - Cámara de aire muy ventilada: creando una cámara de aire entre la hoja interior y el revestimiento exterior, que permite el flujo de aire por ella gracias a las aberturas entre las piezas de acabado.
  - Cámara de aire ligeramente ventilada: al igual que el caso anterior, pero con menor superficie de aberturas en la fachada.
  - Cámara de aire no ventilada: utilizando paneles conformados como revestimiento exterior continuo que protege al cerramiento de los agentes exteriores como la lluvia o el viento.

### Fachadas ventiladas

Este tipo de fachadas son cada vez más utilizadas España. Están formadas por un revestimiento exterior discontinuo, una cámara de aire ventilada y una hoja interior que siempre será necesaria para cubrir el resto de las exigencias de un cerramiento, ya sea prefabricada o ejecutada in situ.

El revestimiento exterior precisará una estructura auxiliar, generalmente metálica, que será anclada a la estructura principal para que garantice la estabilidad de esta capa. Su peso será menor de  $180 \text{ kp/m}^2$ <sup>16</sup>.

En este tipo de fachadas, la función de la hoja exterior es doble, ya que permite crear la imagen del edificio a la vez que lo protege de la intemperie al aislamiento térmico de la siguiente capa. Hoy en día existe una amplia variedad de acabados para este tipo de fachadas, pudiendo elegir

---

<sup>16</sup> Según la norma UNE 41957-1 "Anclajes para revestimientos de fachadas de edificios. Parte 1: Subsistemas para revestimientos ligeros.", anulada en febrero de 2013.

el material y la composición de la imagen a gusto, independientemente del aspecto de la hoja interior.

Entre ella y la hoja interior se crea una cámara de aire exterior ventilada que mejora el confort térmico interior. Esta ventilación se produce gracias a la convección, que puede ser natural o forzada, siendo forzada cuando se actúa sobre la cantidad de aire que entra y sale de la cámara y sobre la velocidad de la convección de forma voluntaria.

Durante el verano, la hoja exterior refleja parte del calor radiante al exterior, y en la cámara ventilada se produce una convección natural por “efecto chimenea”, evacuando parte de la energía absorbida por la hoja exterior. Sin embargo, en invierno es la hoja interior la que acumula el calor dentro del edificio, y la cámara de aire ayuda a la estabilización térmica. Además, el espacio interior de esa cámara puede contener sistemas de oscurecimiento y protección solar.

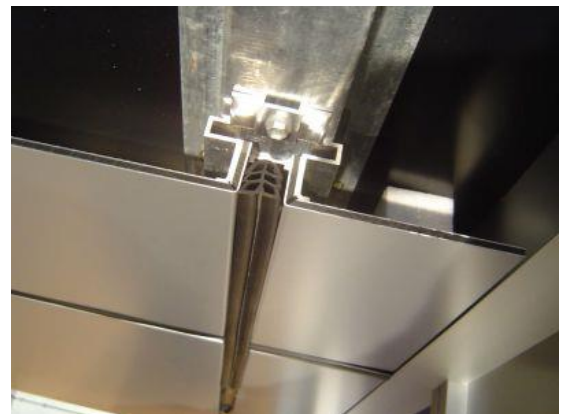
Otra de las ventajas de este sistema es el fácil mantenimiento y limpieza de la fachada y la rápida reparación o sustitución en caso de problemas en las piezas.

Los elementos más utilizados para esta parte del cerramiento son paneles, cuyas juntas permitan su movimiento y la ventilación de la cámara de aire, de los siguientes materiales:

- Cerámica: gres
- Cerámica: pieza cerámica cocida extruida
- Derivados de la madera
- Resinas y fibras de celulosa
- Fibrocemento esmaltado
- Fibrocemento liso
- Bandejas metálicas



6 Revestimiento exterior de piezas cerámicas



3 Revestimiento exterior de bandejas metálicas



8 Revestimiento exterior de paneles de fibrocemento



9 Revestimiento exterior de paneles de madera

En comparación con las fachadas tradicionales, las principales ventajas de las fachadas ventiladas son:

- En caso de infiltraciones de agua por el revestimiento exterior,

### Fachadas de chapa conformada

El revestimiento exterior en este tipo de fachadas consiste en chapas metálicas de gran tamaño autoportantes. El conformado hace que resistan esfuerzos a flexión en una dirección, y necesitará una subestructura en la dirección perpendicular, que estará anclada a la estructura principal y transmitirá los esfuerzos. Este revestimiento tendrá unas pequeñas aberturas que permitan la ventilación de sus dos caras para mejorar la durabilidad de la chapa.

Su principal ventaja es su bajo coste. En función de su perfil pueden ser nervadas, onduladas o minionda. Su principal ventaja es su bajo coste, y su mayor inconveniente es la corrosión, aunque puede evitarse con diferentes tipos de protecciones como galvanizados, recubrimientos de aluminio, aleaciones de Zinc-Aluminio, recubrimientos orgánicos acrílicos... con cuidado de no perder esa protección al manipular las piezas durante su puesta en obra. Los materiales más empleados son en estas placas son:

- Acero inoxidable: tiene una gran resistencia a la corrosión, y el tipo a utilizar dependerá de la agresividad del ambiente.
- Aluminio: fácil de conformar y también muy resistente a la corrosión, y suelen estar recubiertas por un material orgánico como poliéster, poliuretano,...

- Zinc: suelen fabricarse a partir de zinc-cobre-titanio y lleva una pátina autoprotectora que le proporciona una alta durabilidad.



10 Placa metálica nervada de acero inoxidable



11 Placa metálica ondulada de aluminio

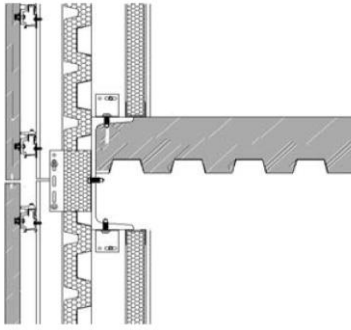
Las dimensiones de estos materiales varían dependiendo del fabricante, el espesor varía entre 0.6 mm y 1.2 mm, el ancho varía entre 900 mm y 1000 mm y el largo se recomienda que no supere los 6 m para facilitar su manipulación.

Su rigidez y su poco peso hacen que necesiten pocos puntos de apoyo, que dependerán de la carga que tengan que soportar. Esto también influirá a la hora de escoger el espesor de la placa en las tablas preparadas por los fabricantes. Las juntas entre estas piezas son solapadas, y para fijarlas a la subestructura se utilizan tornillo autotaladrantes.

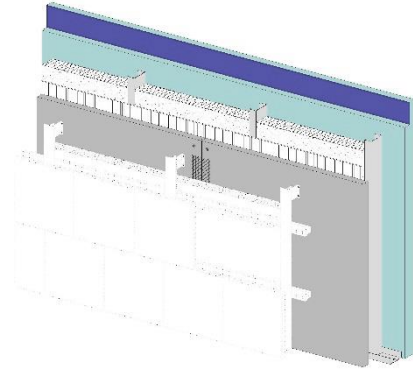
Dependiendo del uso del edificio, será necesario colocar una hoja interior para cubrir las exigencias de los cerramientos de fachada del CTE.

## Paneles Prefabricados

Los paneles prefabricados, constituyen una parte importante de la fachada ligera. Pueden actuar como hoja principal ligera o como revestimiento exterior encerrando una cámara de aire no ventilada. Incluso en algunos casos puede colocarse como capa intermedia del cerramiento.



4 Fachada ventilada con panel prefabricado como hoja intermedia



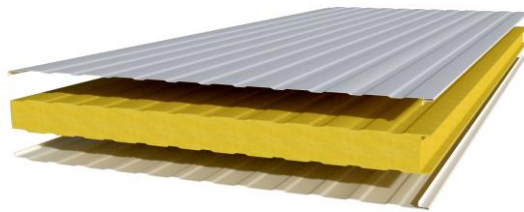
5 Fachada ventilada con panel prefabricado como hoja interior

Los paneles utilizados más comunes están compuestos de las siguientes capas:

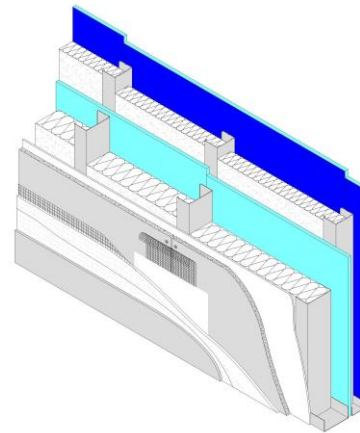
- Cara interior del panel: compone el aspecto del interior del edificio. Los materiales habitualmente utilizados son:
  - o Chapa metálica
  - o Tablero de madera
  - o Chapa de fibrocemento
- Parte central del panel (aislamiento): entre las dos caras del panel se constituye un sandwich que se rellena interiormente con un producto aislante térmico. Los materiales habitualmente utilizados son:
  - o Aislantes vegetales
  - o Corcho aglomerado
  - o Fibras de lino
  - o Aislantes minerales
  - o Lana de vidrio
  - o Espuma de vidrio
  - o Poliestireno expandido
  - o Cloruro de polivinilo expandido
  - o Poliuretano expandido
  - o Encolados
- Cara exterior del panel: es de la que depende la imagen exterior de la fachada y su resistencia a los agentes atmosféricos. Los materiales habitualmente utilizados son:
  - o Metales
  - o Chapa de acero vitrificada

- Chapa de acero inoxidable
- Chapa de acero corten
- Chapa de cobre
- Chapa de aluminio (esmalzada al fuego, color natural, coloreada, anodizada, aluminio fundido, etc.)
- Tableros composites de madera y resinas para intemperie
- Placas de fibrocemento vitrificado
- Placas de laminados de alta presión HPL y compactos

Estas tres capas pegadas entre sí con el aislante en medio componen un panel rígido. Las placas superficiales podrían tener menor espesor si el aislamiento térmico contribuye a la rigidez total, o incluso se podrían utilizar estructuras interiores de aluminio en la capa central con forma de panel de abeja. Debido al elevado número de juntas entre paneles, se necesitará una solución que garantice la estanqueidad al paso de aire y agua, como el solape de las chapas exteriores y los bordes machihembrados de las piezas. Además se debe tener en cuenta la existencia en el conjunto de barreras de vapor para impedir condensaciones, que dependerán de las características de cada material aislante.



64 Panel Sandwich metálico



15 Panel prefabricado con doble aislamiento. Puede sustituirse el aislamiento interior por una cámara de aire

Estos paneles no siempre están compuestos por capas totalmente juntas, existen otras combinaciones:

- Ensamblados mecánicamente: cuando se desea realizar un panel ventilado, la cara exterior no debe estar pegada. La unión entre ellas se produce por medio de tornillos o pernos, mientras que la placa interior sí puede pegar al aislante central.



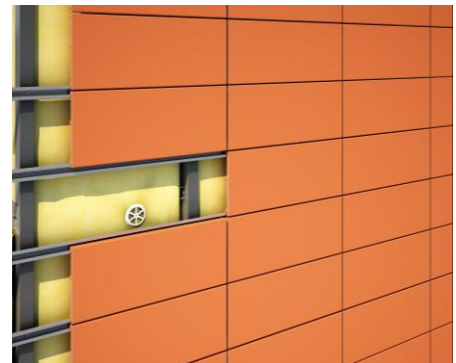
- Fijados separadamente: de esta forma, la placa exterior, el aislamiento y la capa interior se fijan por separado e independientemente a la estructura auxiliar. Los perfiles de la estructura auxiliar deberán estar preparados para ello.

### C. PARTES DE LOS CERRAMIENTOS LIGEROS

- Hoja interior: su función consiste en aislar acústica y térmicamente y de protección contra incendios.
  - o Revestimiento interior: capa que precisará de una subestructura metálica o de madera a base de montantes apoyada a la estructura principal del edificio. Sirve de cierre interior y se coloca enrasada al canto del forjado para que el aislamiento se monte continuo por el exterior. Sobre ella se colocará el acabado interior del cerramiento. Cuando es necesario, se sustituye su capa externa por otra más resistente al agua, ya que debe garantizar la estanqueidad al paso de agua y aire. Para ello las juntas deberán estar bien selladas. Es más rápida de ejecutar que las hojas “tradicionales” pesadas y puede ejecutarse in situ o ser un panel prefabricado.
  - o Aislamiento térmico: colocado sobre la capa exterior del entrado ligero imprescindible para garantizar el aislamiento térmico del cerramiento
  - o Cámara de aire no ventilada: su colocación es optativa, a veces se sitúa entre el revestimiento interior y el revestimiento exterior, cuando el aislamiento está colocado en la siguiente capa externa. Además de mejorar la resistencia térmica del cerramiento, puede ser utilizada como espacio de paso de las instalaciones, de forma que quedan ocultas.



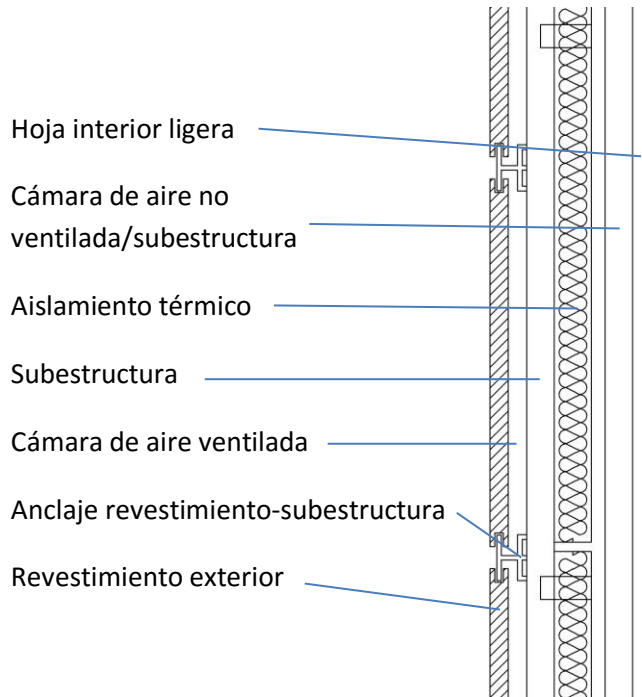
16 Placas de yeso laminado



7 Fachada ventilada: Subestructura metálica, aislamiento térmico y revestimiento exterior

- o Revestimiento exterior: prescindible en ocasiones, será necesaria cuando se precise resolver la estanqueidad al aire o el agua en las juntas.
- Cámara de aire ventilada: en caso de ser parte del cerramiento, se creará una fachada ventilada. Su función es favorecer la estanqueidad al agua. Además, esta cámara de aire amortigua el salto térmico entre el interior y el exterior del edificio
  - o Muy ventilada
  - o Ligeramente ventilada

- Revestimiento exterior: en contacto con el ambiente exterior, sirve de barrera estanca al agua y en caso de las fachadas ventiladas, si penetra algo de humedad, escurrirá por la cámara de aire exterior. Además permite la difusión del vapor de agua hacia el exterior. La función de la hoja exterior es encerrar ese espacio ventilado, y para ello será necesaria una unión por medio de anclajes a la estructura auxiliar resistente, que transmitirá los esfuerzos a la estructura principal. El material utilizado en ella puede ser cualquiera que resista a la intemperie. Los espacios de las juntas entre las piezas del revestimiento exterior evitan los problemas de dilatación.



18 Elementos de una fachada ligera ventilada

## 7. ESTUDIO DE COMBINACIONES

### A. INTRODUCCIÓN

Según la Tabla B.1 y la Tabla B.2 del CTE DB HE/1 “Zonas climáticas de la Península Ibérica” y “Zonas climáticas de las Islas Canarias” respectivamente, podemos recoger los datos sobre el clima más desfavorable de España, siendo la zona E1, correspondiente a las capitales Ávila, Burgos, León y Soria, y otros puntos de elevada altitud de la península, y cuyos valores límites son los siguientes:

- “Zona climática E1
  - o Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno: 0.57 W/m<sup>2</sup>K
  - o Transmitancia límite de suelos: 0.48 W/m<sup>2</sup>K
  - o Transmitancia límite de cubiertas: 0.35 W/m<sup>2</sup>K
  - o Factor solar: 0.36”

Por lo tanto, el valor que nos interesa es 0.57 W/m<sup>2</sup>K, y será el utilizado para despejar las resistencias térmicas de los aislamientos. Se seguirán los siguientes pasos:

“Transmitancia térmica: flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.”<sup>17</sup>

La transmitancia térmica U (W/m<sup>2</sup>·K) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

siendo, R<sub>T</sub> la resistencia térmica total del componente constructivo [m<sup>2</sup>·K/W].

La resistencia térmica total será la suma de las resistencias térmicas de cada capa homogénea del cerramiento, a las que se sumarán también las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire exterior e interior R<sub>se</sub> y R<sub>si</sub> de acuerdo a la Tabla 1 del CTE DA-DB-HE/1. Para calcular la resistencia térmica de cada capa homogénea del cerramiento, se divide el espesor de dicha capa entre la conductividad térmica λ del material.

El criterio elegido para la siguiente clasificación consiste en dividir en grupos dependiendo de la ventilación de la última cámara de aire a partir del aislamiento más externo. Los cálculos de las transmitancias de las siguientes fachadas se registrarán por las normas del CTE, de forma que cada grupo seguirá unos cálculos diferentes. De este modo, podemos organizar en cuatro grupos distintos<sup>18</sup>:

<sup>17</sup> CTE DB-HE, Apéndice A Terminología

<sup>18</sup> CTE DA-DB-HE/1 Apartado 2.1.1 Cerramientos en contacto con el aire exterior

- Cámara de aire muy ventilada: aquellas cuyo acabado exterior tiene unas aberturas mayores a:
  - o “1500 mm<sup>2</sup> por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales.”
- Cámara de aire ligeramente ventilada: aquellas cuyo acabado exterior tiene una superficie de aberturas<sup>19</sup>:
  - o “500 mm<sup>2</sup> < S aberturas ≤ 1500 mm<sup>2</sup> por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales.”
- Cámara de aire no ventilada: aquellas cuyo acabado exterior no tenga aberturas, o sean de pequeño tamaño siempre y cuando no superen:
  - o “500 mm<sup>2</sup> por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales.”
- Sin cámara de aire

La siguiente tabla recoge los cuatro grupos anteriores junto con las cuatro combinaciones de hojas principales posibles:

- AT: aislamiento térmico
- CNVi: cámara de aire no ventilada interior
- EL: entramado ligero
- PS: panel sandwich

	AT+CNVi+EL	AT+EL	PS	PS+CNVi+AT+EL
Muy ventilada (CMV)	CMV1	CMV2	CMV3	CMV4
Ligeramente ventilada (CLV)	CLV1	CLV2	CLV3	CLV4
No ventilada (CNV)	CNV1	CNV2	-	-
Sin cámara (SC)	-	-	SC1	SC2

Dentro de la amplia variedad de posibilidades de materiales y espesores, se establecen los siguientes para acotar las posibilidades. Los distintos materiales o espesores propuestos en cada elemento del cerramiento son:

- Entramado ligero: su espesor será 1.5 cm y se proponen los más utilizados en la actualidad, cuyos valores de conductividad térmica son extraídos del Catálogo de Detalles Constructivos<sup>20</sup>:

<sup>19</sup> La resistencia térmica de este tipo de cámaras de aire será la mitad de los de la tabla 2

<sup>20</sup> Apartados 3.6.2 Productos de yeso y 3.3.2 Paneles de madera

- Yeso laminado:  $\lambda = 0.25 \text{ W/mK}^{21}$
- Madera laminada:  $\lambda = 0.15 \text{ W/mK}$
- Cámara de aire interior: pudiendo ser prescindible. Según la tabla del CTE DA-DB-HE/1 se proponen los siguientes espesores
  - 3 cm: su resistencia térmica se obtiene interpolando los valores de la tabla 2 del CTE DA-DB-HE/1.
  - 5 cm: es el valor máximo de dicha tabla.
- Capa impermeable: no será obligatoria su colocación y no afectará a la transmitancia total del cerramiento de fachada. Será necesaria cuando no se garantice la estanqueidad al paso de agua y/o aire exterior.
- Aislamiento térmico: será la incógnita de los cálculos. Deberá cumplir los valores exigidos por el Código Técnico en aislamientos acústico. Elegiremos 3 tipos de aislamientos distintos, los más usuales y comercializados, dándoles diferentes valores de conductividad térmica para conseguir distintos resultados.
  - Poliestireno expandido (EPS): elegimos su valor máximo de conductividad térmica según el Catálogo de Detalles Constructivos:  $\lambda = 0.039 \text{ W/mK}$
  - Poliestireno extruido (XPS): elegimos su valor mínimo de conductividad térmica según el Catálogo de Detalles Constructivos:  $\lambda = 0.029 \text{ W/mK}$
  - Lana mineral (LM): elegimos su valor máximo de conductividad térmica según el Catálogo de Detalles Constructivos:  $\lambda = 0.050 \text{ W/mK}$
- Panel Sandwich: las juntas deberán estar correctamente selladas para que se garantice la estanqueidad al paso de agua y de aire. Elegiremos entre dos tipos de panel dependiendo de la combinación a estudiar:
  - Panel prefabricado de entramado metálico autoportante para uso como hoja interior de fachada ventilada (grupos CMV y CLV), formado por 2 placas de yeso laminado al interior y una placa de cemento al exterior, y alma de lana mineral. Las juntas deberán estar correctamente selladas para que se garantice la estanqueidad al paso de agua y de aire. Cumplirá los valores exigidos por el CTE en cuanto a aislamiento acústico y protección contra incendios. Su espesor será de 115 mm y su resistencia térmica  $R_{PS} = 2.174 \text{ m}^2\text{K/W}$ .
  - Panel sándwich prefabricado compuesto por dos chapas de acero galvanizado y con alma de espuma de poliuretano, de espesor 50 mm y resistencia térmica  $R_{PS} = 2.5 \text{ m}^2\text{K/W}$ .
- Cámara de aire exterior: pudiendo ser prescindible en algunos casos. Según se establece en el DB HS 1, una cámara de aire ventilada tiene un espesor  $\geq 3 \text{ cm}$  y  $\leq 10 \text{ cm}$ , por lo que los espesores elegidos serán los límite y uno intermedio:
  - 3 cm
  - 7 cm
  - 10 cm
- Acabado exterior: los materiales elegidos son los más comunes en la actualidad en nuestro país
  - Para fachadas con cámara de aire exterior muy ventilada o ligeramente ventilada

---

<sup>21</sup> Incluye el efecto del revestimiento de papel

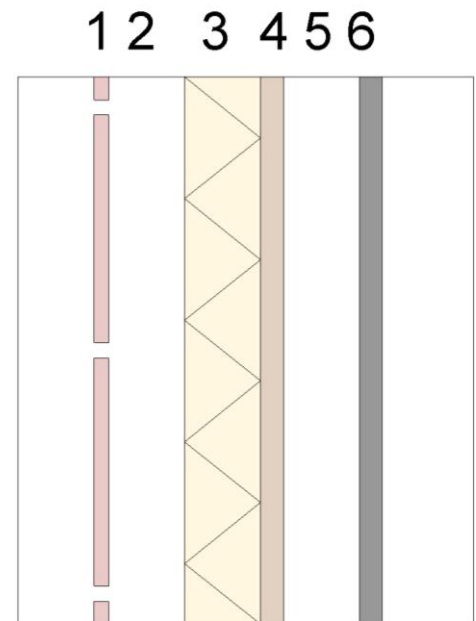
- Plaqueta cerámica de 15 mm:  $\lambda = 1 \text{ W/mK}$
- Paneles de madera de 10 mm de espesor:  $\lambda = 0.15 \text{ W/mK}$
- Bandejas de aluminio de 0.7 mm de espesor:  $\lambda = 230 \text{ W/mK}$
- Paneles de fibrocemento liso de 8 mm de espesor:  $\lambda = 0.023 \text{ W/mK}$
- Para fachadas con cámara de aire exterior no ventilada, los materiales propuestos son las chapas metálicas conformadas. Consideraremos un espesor de 0.8 mm y elegiremos los metales más comunes en este tipo de fachadas:
  - Acero inoxidable:  $\lambda = 17 \text{ W/mK}$
  - Aluminio:  $\lambda = 230 \text{ W/mK}$
  - Zinc:  $\lambda = 110 \text{ W/mK}$

Material	Espesor: e [mm]	Conductividad térmica: $\lambda$ [W/mK]
Yeso laminado	15	0.250
Madera laminada	15	0.150
Poliestireno expandido	-	0.039
Poliestireno extruido	-	0.029
Lana mineral	-	0.050
Panel Sandwich 1	115	-
Panel Sandwich 2	50	-
Plaqueta cerámica	15	1
Panel de madera	10	0.150
Bandeja de aluminio	0.7	230
Panel de fibrocemento	8	0.023
Acero inoxidable	0.8	17
Aluminio	0.8	230
Zinc	0.8	110

## B. FACHADAS CON CÁMARA DE AIRE MUY VENTILADA EXTERIOR: CMV

CMV1: Revestimiento exterior + CMVe + Aislamiento térmico + CNVi + Entramado ligero

1. Revestimiento exterior discontinuo
2. Cámara de aire muy ventilada exterior
3. Aislamiento térmico
4. Capa impermeable
5. Cámara de aire no ventilada interior
6. Entramado ligero



- Entramado ligero: yeso laminado
  - o CNVi: 3 cm
    - CMVe: se desprecia su espesor y su resistencia térmica

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.173 + R_{AT} + 0.04} = \frac{1}{0.403 + R_{AT}}$$

- o CNVi: 5 cm
  - CMVe: se desprecia su espesor y su resistencia térmica

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.18 + R_{AT} + 0.04} = \frac{1}{0.41 + R_{AT}}$$

- Entramado ligero: madera laminada
  - o CNVi: 3 cm
    - CMVe: se desprecia su espesor y su resistencia térmica

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.173 + R_{AT} + 0.04} = \frac{1}{0.443 + R_{AT}}$$

- o CNVi: 5 cm
  - CMVe: se desprecia su espesor y su resistencia térmica

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.18 + R_{AT} + 0.04} = \frac{1}{0.45 + R_{AT}}$$

- Revestimiento exterior: en las fachadas con cámaras de aire muy ventilada se desprecian las resistencias térmicas de las capas entre la cámara de aire ventilada y el ambiente exterior.
- Aislamiento térmico
  - o Poliestireno expandido: EPS
  - o Poliestireno extruido: XPS
  - o Lana mineral: LM

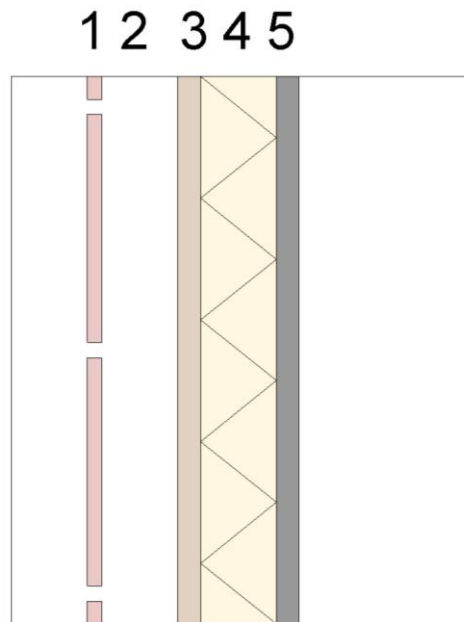
A partir de los cálculos anteriores y dando valores de conductividad térmica a los aislamientos propuestos, podemos despejar los milímetros de espesor en cada caso:

E. Ligero	Yeso laminado		Madera laminada	
	30 mm	50 mm	30 mm	50 mm
CNVi				
EPS (mm)	54	53	52	52
XPS (mm)	40	40	39	38
LM (mm)	69	68	66	66



CMV2: Revestimiento exterior + CMV + Aislamiento térmico + Entramado ligero

1. Revestimiento exterior discontinuo
2. Cámara de aire muy ventilada
3. Capa impermeable
4. Aislamiento térmico
5. Entramado ligero

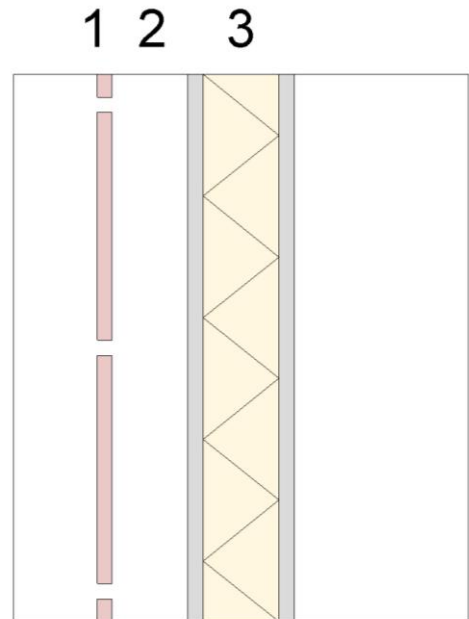


- Entramado ligero: yeso laminado
  - o CMV: se desprecia su espesor y su resistencia térmica
$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.04} = \frac{1}{0.23 + R_{AT}}$$
- Entramado ligero: madera laminada
  - o CMV: se desprecia su espesor y su resistencia térmica
$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.04} = \frac{1}{0.27 + R_{AT}}$$
- Revestimiento exterior: en las fachadas con cámaras de aire muy ventilada se desprecian las resistencias térmicas de las capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior.
- Aislamiento térmico
  - o Poliestireno expandido: EPS
  - o Poliestireno extruido: XPS
  - o Lana mineral: LM

E. Ligero	Yeso laminado	Madera laminada
EPS (mm)	60	59
XPS (mm)	45	44
LM (mm)	77	75

CMV3: Revestimiento exterior + CMV + Panel Sandwich

1. Revestimiento exterior discontinuo
2. Cámara de aire muy ventilada
3. Panel Sandwich



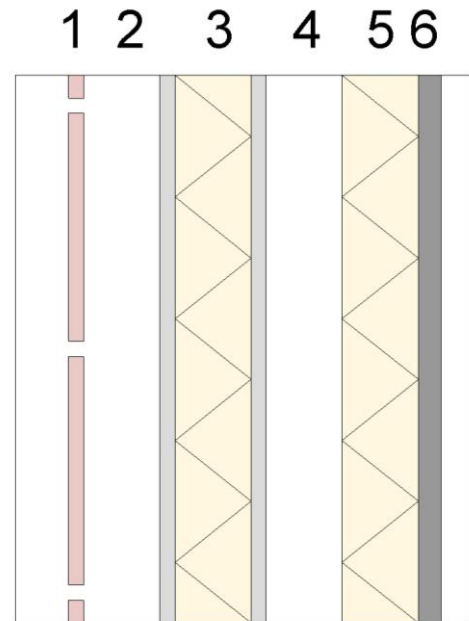
- Panel Sandwich: sistema de entramado metálico autoportante para uso como hoja interior en fachadas ventiladas.
    - o CMV: se desprecia su espesor y su resistencia térmica
- $$U = \frac{1}{0.13 + 2.174 + 0.04} = 0.427 \text{ W/m}^2\text{K}$$
- Revestimiento exterior: en las fachadas con cámaras de aire muy ventilada se desprecian las resistencias térmicas de las capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior.

PS (mm)	115
---------	-----

El espesor del panel sándwich elegido sería suficiente para cumplir las exigencias térmicas de la zona climática E1.

CMV4: Revestimiento exterior + CMVe + Panel Sandwich + CNVi + Aislamiento térmico + Entramado ligero

1. Revestimiento exterior discontinuo
2. Cámara de aire muy ventilada exterior
3. Panel Sandwich
4. Cámara de aire no ventilada interior
5. Aislamiento térmico
6. Entramado ligero



- Entramado ligero: yeso laminado
  - o CNVi: 3 cm
    - CMVe: se desprecia su espesor y su resistencia térmica

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.173 + 2.174 + 0.04} = \frac{1}{0.403 + R_{AT} + 2.174}$$

- o CNVi: 5 cm
  - CMVe: se desprecia su espesor y su resistencia térmica

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.18 + 2.174 + 0.04} = \frac{1}{0.41 + R_{AT} + 2.174}$$

- Entramado ligero: madera laminada
  - o CNVi: 3 cm
    - CMVe: se desprecia su espesor y su resistencia térmica

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.173 + 2.174 + 0.04} = \frac{1}{0.443 + R_{AT} + 2.174}$$

- o CNVi: 5 cm
  - CMVe: se desprecia su espesor y su resistencia térmica

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.18 + 2.174 + 0.04} = \frac{1}{0.45 + R_{AT} + 2.174}$$

- Panel Sandwich: sistema de entramado metálico autoportante para uso como hoja interior en fachadas ventiladas.

- Revestimiento exterior: en las fachadas con cámaras de aire muy ventilada se desprecian las resistencias térmicas de las capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior.
- Aislamiento térmico
  - o Poliestireno expandido: EPS
  - o Poliestireno extruido: XPS
  - o Lana mineral: LM

E. Ligero	Yeso laminado		Madera laminada	
	30 mm	50 mm	30 mm	50 mm
CNVi				
EPS (mm)	-33	-33	-34	-34
XPS (mm)	-24	-25	-26	-26
LM (mm)	-42	-42	-44	-44

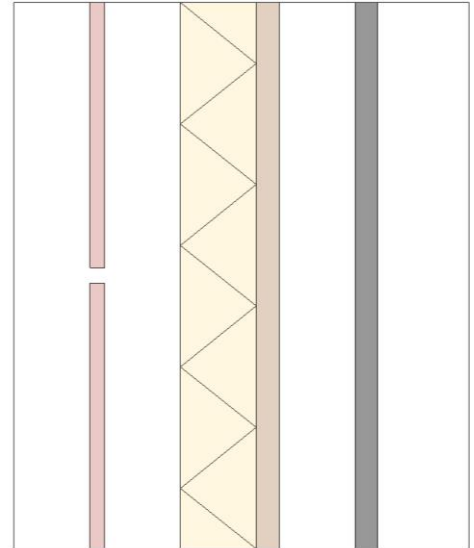
En este caso, con el panel sándwich que hemos elegido, el espesor del aislamiento térmico es negativo porque no sería necesario para cumplir las necesidades de la zona climática E1.

### C. FACHADAS CON CÁMARA DE AIRE LIGERAMENTE VENTILADA EXTERIOR: CLV

CLV1: Revestimiento exterior + CLVe + Aislamiento térmico + CNVi + Entramado ligero

1. Revestimiento exterior discontinuo
2. Cámara de aire ligeramente ventilada exterior
3. Aislamiento térmico
4. Capa impermeable
5. Cámara de aire no ventilada interior
6. Entramado ligero

1 2 3 4 5 6



- Entramado ligero: yeso laminado
  - o CNVi: 3 cm
    - CLVe: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.173 + R_{AT} + 0.087 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.49 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CLVe: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.173 + R_{AT} + 0.126 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.529 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CLVe: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.173 + R_{AT} + 0.180 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.583 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- o CNVi: 5 cm
  - CLVe: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.18 + R_{AT} + 0.087 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.497 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CLVe: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.18 + R_{AT} + 0.126 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.536 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CLVe: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.18 + R_{AT} + 0.180 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.590 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- Entramado ligero: madera laminada

- CNVi: 3 cm

- CLVe: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.173 + R_{AT} + 0.087 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.530 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CLVe: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.173 + R_{AT} + 0.126 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.569 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CLVe: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.173 + R_{AT} + 0.180 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.623 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CNVi: 5 cm

- CLVe: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.18 + R_{AT} + 0.087 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.537 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CLVe: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.18 + R_{AT} + 0.126 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.576 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CLVe: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.18 + R_{AT} + 0.180 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.630 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- Revestimiento exterior discontinuo:
  - Cerámica: C
  - Madera: M
  - Aluminio: Al
  - Fibrocemento: Fc
- Aislamiento térmico
  - Poliestireno expandido: EPS
  - Poliestireno extruido: XPS
  - Lana mineral: LM

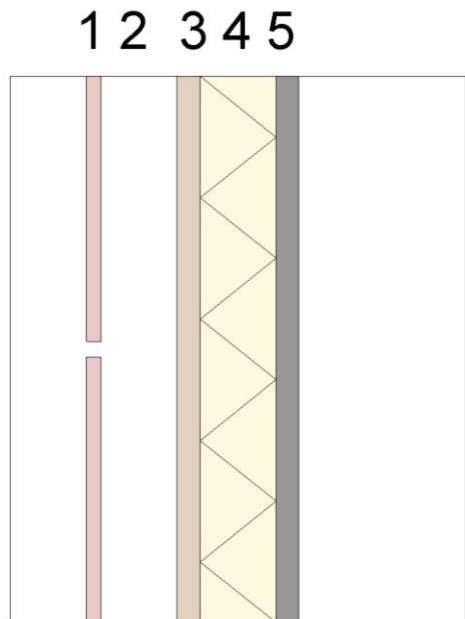
E. Ligero	Yeso laminado																							
CNVi	30 mm												50 mm											
CMVe	30 mm				70 mm				100 mm				30 mm				70 mm				100 mm			
Revest. Exterior	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc
EPS (mm)	49	47	50	49	48	46	48	48	46	44	47	45	49	47	50	49	48	46	48	47	45	43	46	45
XPS (mm)	37	35	37	37	36	34	36	36	34	33	35	34	37	35	37	37	36	34	36	35	34	32	34	34
LM (mm)	63	60	63	63	61	58	62	61	58	56	59	58	63	60	63	62	61	58	61	60	58	55	59	58

E. Ligero	Madera laminada																							
CNVi	30 mm												50 mm											
CMVe	30 mm				70 mm				100 mm				30 mm				70 mm				100 mm			
Revest. Exterior	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc
EPS (mm)	48	46	48	48	47	44	47	46	44	42	45	44	48	46	48	47	46	44	46	46	44	42	45	44
XPS (mm)	36	34	36	36	35	33	35	35	33	32	34	33	36	34	36	35	35	33	35	34	33	31	34	33
LM (mm)	61	58	62	61	59	56	60	59	56	54	57	56	61	58	61	60	59	56	59	58	56	53	57	56



CLV2: Revestimiento exterior + CLV + Aislamiento térmico + Entramado ligero

1. Revestimiento exterior discontinuo
2. Cámara de aire ligeramente ventilada
3. Capa impermeable
4. Aislamiento térmico
5. Entramado ligero



- Entramado ligero: yeso laminado

- o CLV: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.087 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.317 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- o CLV: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.126 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.356 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- o CLV: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.180 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.410 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- Entramado ligero: madera laminada

- o CLV: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.087 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.357 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- o CLV: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.126 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.396 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- o CLV: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.180 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.450 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- Revestimiento exterior:

- o Cerámica: C
- o Madera: M
- o Aluminio: Al
- o Fibrocemento: Fc

- Aislamiento térmico

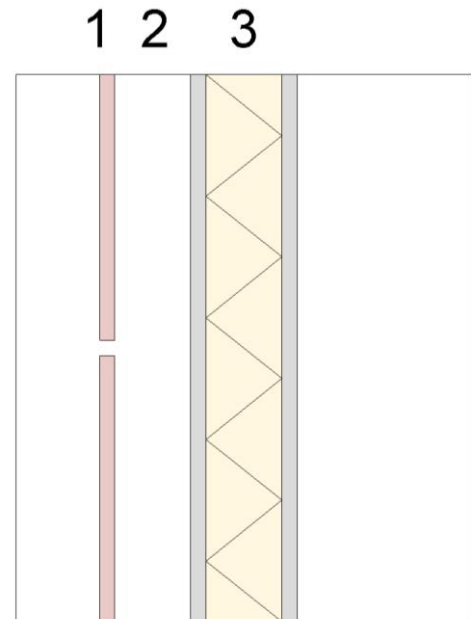
- o Poliestireno expandido: EPS

- Poliestireno extruido: XPS
- Lana mineral: LM

E. Ligero	Yeso laminado												Madera laminada															
	30 mm				70 mm				100 mm				30 mm				70 mm				100 mm							
Revest. Exterior	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc
EPS (mm)	56	54	57	56	55	53	55	54	52	50	53	52	55	53	54	55	53	51	54	53	51	49	51	52				
XPS (mm)	42	41	42	42	41	39	41	41	39	38	40	39	41	40	41	41	39	38	41	40	41	36	41	39				
LM (mm)	72	70	72	71	70	67	70	69	67	65	68	67	70	68	69	69	67	65	69	68	69	62	69	67				

CLV3: Revestimiento exterior + CLV + Panel Sandwich

1. Revestimiento exterior discontinuo
2. Cámara de aire ligeramente ventilada
3. Panel Sandwich



- Panel Sandwich: sistema de entramado metálico autoportante para uso como hoja interior en fachadas ventiladas.

- o CLV: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + R_{PS} + 0.087 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.257 + 2.174 + R_{RE}}$$

- o CLV: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + R_{PS} + 0.126 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.296 + 2.174 + R_{RE}}$$

- o CLV: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + R_{PS} + 0.180 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.350 + 2.174 + R_{RE}}$$

- Acabado exterior:

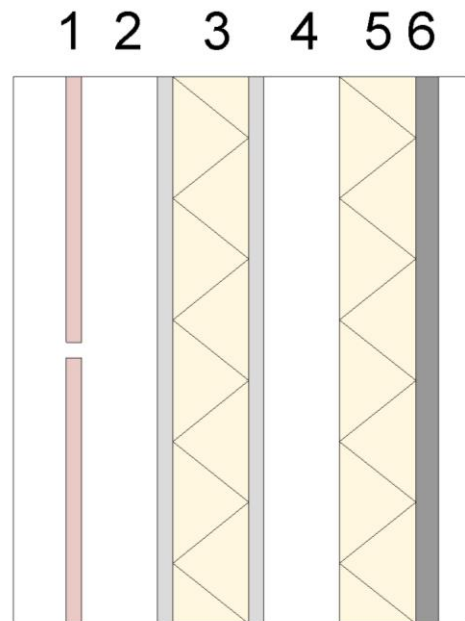
- o Cerámica: C
- o Madera: M
- o Aluminio: Al
- o Fibrocemento: Fc

CMVe	30 mm				70 mm				100 mm				30 mm				70 mm				100 mm							
Revest. Exterior	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc
PS (mm)	115				115				115				115				115				115							

En este caso, la resistencia térmica del acabado exterior no afecta a los cálculos, ya que con el espesor del panel sándwich elegido se cumplen los valores de transmitancias exigidos en el CTE para la zona climática E1.

CLV4: Revestimiento exterior + CLVe + Panel Sandwich + CNVi + Aislamiento térmico + Entramado ligero

1. Revestimiento exterior discontinuo
2. Cámara de aire ligeramente ventilada exterior
3. Panel Sandwich
4. Cámara de aire no ventilada interior
5. Aislamiento térmico
6. Entramado ligero



- Entramado ligero: yeso laminado

- o CNVi: 3 cm

- CLVe: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.173 + R_{PS} + 0.087 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.49 + R_{AT} + R_{PS} + R_{RE}}$$

- CLVe: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.173 + R_{PS} + 0.126 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.529 + R_{AT} + R_{PS} + R_{RE}}$$

- CLVe: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.173 + R_{PS} + 0.180 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.583 + R_{AT} + R_{PS} + R_{RE}}$$

- o CNVi: 5 cm

- CLVe: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.18 + R_{PS} + 0.087 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.497 + R_{AT} + R_{PS} + R_{RE}}$$

- CLVe: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.18 + R_{PS} + 0.126 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.536 + R_{AT} + R_{PS} + R_{RE}}$$

- CLVe: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.18 + R_{PS} + 0.180 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.59 + R_{AT} + R_{PS} + R_{RE}}$$

- Entramado ligero: madera laminada

- CNVi: 3 cm

- CLVe: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.173 + R_{PS} + 0.087 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.53 + R_{AT} + R_{PS} + R_{RE}}$$

- CLVe: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.173 + R_{PS} + 0.126 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.569 + R_{AT} + R_{PS} + R_{RE}}$$

- CLVe: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.173 + R_{PS} + 0.180 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.623 + R_{AT} + R_{PS} + R_{RE}}$$

- CNVi: 5 cm

- CLVe: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.18 + R_{PS} + 0.087 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.537 + R_{AT} + R_{PS} + R_{RE}}$$

- CLVe: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.18 + R_{PS} + 0.126 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.576 + R_{AT} + R_{PS} + R_{RE}}$$

- CLVe: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.18 + R_{PS} + 0.180 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.63 + R_{AT} + R_{PS} + R_{RE}}$$

- Panel Sandwich: sistema de entramado metálico autoportante para uso como hoja interior en fachadas ventiladas.
- Revestimiento exterior:
  - Cerámica: C
  - Madera: M
  - Aluminio: Al
  - Fibrocemento: Fc
- Aislamiento térmico:
  - Poliestireno expandido: EPS
  - Poliestireno extruido: XPS
  - Lana mineral: LM

E. Ligero	Yeso laminado																							
CNVi	30 mm												50 mm											
CMVe	30 mm				70 mm				100 mm				30 mm				70 mm				100 mm			
Revest. Exterior	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc
EPS (mm)	-37	-39	-36	-37	-38	-40	-37	-38	-40	-42	-39	-40	-37	-39	-36	-37	-38	-40	-38	-39	-40	-42	-40	-40
XPS (mm)	-27	-29	-27	-28	-28	-30	-28	-29	-30	-32	-29	-30	-28	-29	-27	-28	-28	-30	-28	-29	-30	-32	-30	-30
LM (mm)	-47	-49	-46	-47	-49	-50	-48	-49	-50	-54	-49	-52	-47	-49	-46	-47	-49	-50	-49	-49	-52	-54	-50	-52

E. Ligero	Madera laminada																							
CNVi	30 mm												50 mm											
CMVe	30 mm				70 mm				100 mm				30 mm				70 mm				100 mm			
Revest. Exterior	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc
EPS (mm)	-38	-40	-38	-38	-40	-42	-38	-40	-42	-44	-40	-42	-38	-40	-38	-38	-40	-42	-40	-40	-42	-44	-42	-42
XPS (mm)	-28	-30	-28	-28	-30	-31	-28	-30	-31	-32	-30	-31	-28	-30	-28	-28	-30	-31	-30	-30	-31	-32	-31	-31
LM (mm)	-49	-51	-48	-49	-50	-53	-49	-50	-53	-56	-51	-53	-49	-51	-48	-49	-50	-53	-50	-51	-53	-56	-53	-53

Los valores de espesor son negativos porque con el panel elegido sería suficiente para resolver la transmitancia de esta fachada. Sin embargo, entre el revestimiento exterior y el panel sándwich pueden garantizarnos la estanqueidad al paso de aire y agua, y de esta forma podríamos utilizar la cámara de aire no ventilada interior para el paso de instalaciones.

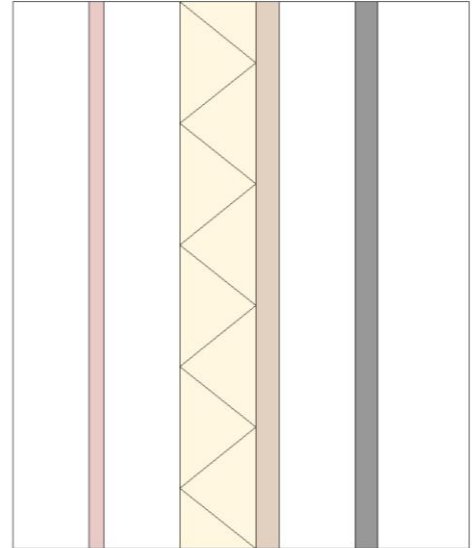


## D. FACHADAS CON CÁMARA DE AIRE NO VENTILADA EXTERIOR: CNV

CNV1: Revestimiento exterior + CNVe + Aislamiento térmico + CNVi + Entramado ligero

1. Revestimiento exterior continuo de chapa conformada
2. Cámara de aire no ventilada exterior
3. Aislamiento térmico
4. Capa impermeable
5. Cámara de aire no ventilada interior
6. Entramado ligero

1 2 3 4 5 6



- Entramado ligero: yeso laminado
  - o CNVi: 3 cm
    - CNVe: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.173 + R_{AT} + 0.173 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.576 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CNVe: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.173 + R_{AT} + 0.252 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.655 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CNVe: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.173 + R_{AT} + 0.360 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.763 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- o CNVi: 5 cm
  - CNVe: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.18 + R_{AT} + 0.173 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.583 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CNVe: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.18 + R_{AT} + 0.252 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.662 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CNVe: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + 0.18 + R_{AT} + 0.360 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.770 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- Entramado ligero: madera laminada

- CNVi: 3 cm

- CNVe: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.173 + R_{AT} + 0.173 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.616 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CNVe: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.173 + R_{AT} + 0.252 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.695 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CNVe: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.173 + R_{AT} + 0.360 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.803 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CNVi: 5 cm

- CNVe: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.18 + R_{AT} + 0.173 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.623 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CNVe: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.18 + R_{AT} + 0.252 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.702 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- CNVe: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + 0.18 + R_{AT} + 0.360 + R_{RE} + 0.04}$$

$$= \frac{1}{0.810 + R_{AT} + R_{RE}}$$

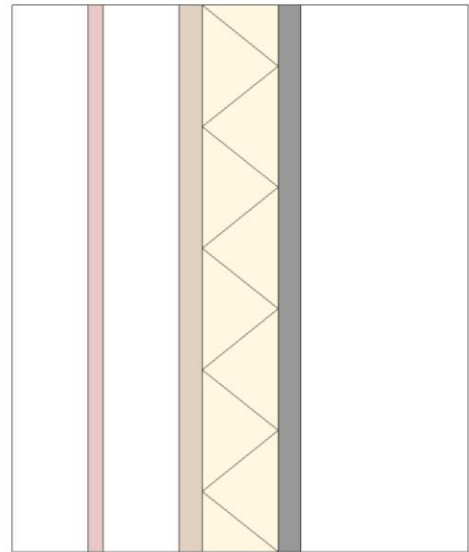
- Revestimiento exterior metálico: las resistencias térmicas de los siguientes metales son despreciables en comparación con la resistencia total del cerramiento, por lo que apenas influye el material que elijamos:
  - Acero inoxidable: Ai
  - Aluminio: Al
  - Zinc: Zn
- Aislamiento térmico:
  - Poliestireno expandido: EPS
  - Poliestireno extruido: XPS
  - Lana mineral: LM

E. Ligero	Yeso laminado						Madera laminada					
	30 mm			50 mm			30 mm			50 mm		
CNVi	30 mm	70 mm	100 mm	30 mm	70 mm	100 mm	30 mm	70 mm	100 mm	30 mm	70 mm	100 mm
EPS (mm)	47	43	39	47	43	39	45	42	38	45	42	38
XPS (mm)	35	32	29	35	32	29	34	31	28	33	31	28
LM (mm)	59	55	50	59	55	50	57	53	48	57	53	48

CNV2: Revestimiento exterior + CNV + Aislamiento térmico + Entramado ligero

1 2 3 4 5

1. Revestimiento exterior continuo de chapa conformada
2. Cámara de aire no ventilada
3. Capa impermeable
4. Aislamiento térmico
5. Entramado ligero



- Entramado ligero: yeso laminado

- o CNV: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.173 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.403 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- o CNV: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.252 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.482 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- o CNV: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.360 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.590 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- Entramado ligero: madera laminada

- o CNV: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.173 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.443 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- o CNV: 7 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.252 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.522 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- o CNV: 10 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.360 + R_{RE} + 0.04} = \frac{1}{0.630 + R_{AT} + R_{RE}}$$

- Revestimiento exterior metálico: las resistencias térmicas de los siguientes metales son despreciables en comparación con la resistencia total del cerramiento, por lo que apenas influye el material que elijamos:

- o Acero inoxidable: Ai

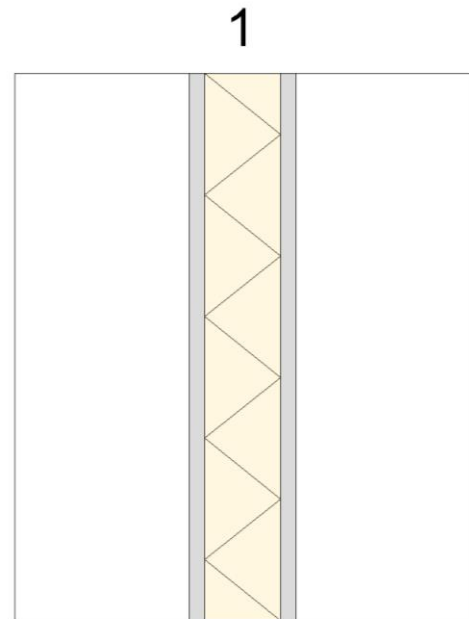
- Aluminio: Al
- Zinc: Zn
- Aislamiento térmico:
  - Poliestireno expandido: EPS
  - Poliestireno extruido: XPS
  - Lana mineral: LM

E. Ligero	Yeso laminado			Madera laminada		
	30 mm	70 mm	100 mm	30 mm	70 mm	100 mm
CMVe	30 mm	70 mm	100 mm	30 mm	70 mm	100 mm
EPS (mm)	54	50	46	52	49	45
XPS (mm)	40	38	34	39	36	33
LM (mm)	68	64	59	66	62	57

## E. FACHADAS SIN CÁMARA DE AIRE EXTERIOR: SC

### SC1: Panel Sandwich

#### 1. Panel Sandwich



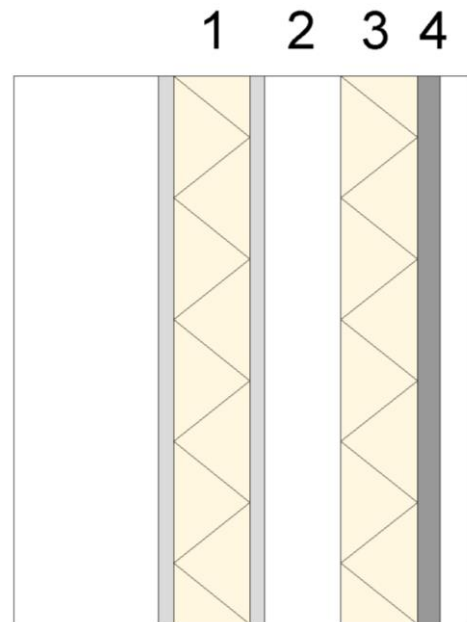
- Panel Sandwich: prefabricado compuesto por dos chapas de acero galvanizado y con alma de espuma de poliuretano.
  - o CLV: 3 cm

$$U = \frac{1}{R_{PS}} = 0.500 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Este tipo de paneles, a pesar de que cumplen el valor de transmitancia máximo del CTE, no se garantiza la completa estanqueidad frente al agua y al aire del cerramiento, por ello sus juntas deberán estar completamente selladas. Este tipo de cerramientos es utilizado para naves industriales, pabellones, etc, usos distintos al residencial, en el que estamos basando nuestros cálculos según el CTE.

SC2: Panel Sandwich + CNV + Aislamiento térmico + Entramado ligero

1. Panel Sandwich
2. Cámara de aire no ventilada
3. Aislamiento térmico
4. Entramado ligero



- Entramado ligero: yeso laminado
  - o CNV: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.173 + R_{PS} + 0.04} = \frac{1}{0.403 + R_{AT} + R_{PS}}$$

- o CNV: 5 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.06 + R_{AT} + 0.18 + R_{PS} + 0.04} = \frac{1}{0.41 + R_{AT} + R_{PS}}$$

- Entramado ligero: madera laminada
  - o CNV: 3 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.173 + R_{PS} + 0.04} = \frac{1}{0.443 + R_{AT} + R_{PS}}$$

- o CNV: 5 cm

$$U = \frac{1}{0.13 + 0.10 + R_{AT} + 0.18 + R_{PS} + 0.04} = \frac{1}{0.45 + R_{AT} + R_{PS}}$$

- Panel Sandwich: prefabricado compuesto por dos chapas de acero galvanizado y con alma de espuma de poliuretano.
- Aislamiento térmico:
  - o Poliestireno expandido: EPS
  - o Poliestireno extruido: XPS
  - o Lana mineral: LM

E. Ligero	Yeso laminado		Madera laminada	
CNVi	30 mm	50 mm	30 mm	50 mm
EPS (mm)	-45	-46	-47	-47
XPS (mm)	-34	-34	-35	-35
LM (mm)	-58	-58	-60	-60

El panel sándwich elegido cumple las necesidades térmicas de la zona climática E1, por ello el espesor del aislamiento térmico es negativo.



## 8. CONCLUSIONES

### A. CONCLUSIONES DEL TRABAJO

Tras el estudio, se puede demostrar que los cerramientos ligeros de fachada, a pesar de perder la inercia térmica de las hojas pesadas de las fachadas tradicionales, pueden resolverse compensando esa pérdida sin necesidad de grandes espesores de aislamiento.

- En las tablas parciales, la lana mineral tiene el coeficiente de conductividad térmica más desfavorable, y sin embargo, los espesores resultantes no superan los 8 cm.
- El clima utilizado para los cálculos es el E1, con los niveles de transmitancias más bajo de las zonas climáticas españolas, por lo tanto el espesor sería aún menor para otro punto de la geografía española. Tan solo habría que utilizar las ecuaciones parciales e igualarla a la transmitancia límite dada en el Apéndice D del CTE DB-HE.
- De esta forma, se puede observar que una fachada de estas características puede resolverse perfectamente en 15 cm, lo que supone una notable diferencia de espesor respecto a las fachadas pesadas, y sin renunciar a las prestaciones térmicas.

En las siguientes tablas se resumen los resultados del estudio anterior, donde se recogen todos aquellos materiales y combinaciones propuestos, para dar como resultado la resistencia térmica en  $m^2K/W$  del aislamiento que precisaría cada combinación de cerramiento. De ella podemos concluir:

- En los casos con cámara de aire no ventilada interior o sin ella, el espesor necesario del aislamiento puede llegar a variar más de 10 mm (comparando CLV1 y CLV 2). En caso de decantarnos por disponer de ella, podríamos utilizar ese espacio para el paso de instalaciones.
- Los metales propuestos se caracterizan por tener alta conductividad térmica, por lo que el valor de su resistencia térmica es aproximadamente del orden de  $10^{-3}$ , y para los cálculos de transmitancias es un valor despreciable.
- El espesor de la cámara no ventilada interior apenas influye en la resistencia térmica del material que nos interese colocar.
- Los valores más bajos de resistencia térmica del aislamiento necesarios se dan en el caso de CNV1, sin embargo, respecto a las ventajas de una fachada ventilada y siendo la diferencia de resistencias térmica tan pequeña, sería conveniente optar por una fachada CMV o CLV.

Por otro lado, el CTE establece los cerramientos ligeros aquellos que no superan los  $200 \text{ kg/m}^2$ , sin embargo, las combinaciones propuestas apenas superan los  $100 \text{ kg/m}^2$ , por lo que se podría limitar aún más ese valor.

La mejor elección de cerramiento ligero de fachada dependerá de las necesidades de nuestro proyecto. Dejar la cámara de aire no ventilada interior permite pasar las instalaciones por ese espacio, además podríamos alinear el entramado ligero con el canto del forjado para pasar el aislamiento térmico por el exterior de forma continua.

La opción de utilizar paneles prefabricados para la hoja interior y colocar un revestimiento exterior con cámara de aire ventilada es otra buena opción, cada día más utilizada en España y más desarrollada por los fabricantes para conseguir las mejores prestaciones.

Por lo tanto podemos considerar los cerramientos ligeros como una solución fiable y alternativa a las fachadas diseñadas con materiales “tradicionales”.

## **B. LÍNEAS FUTURAS**

Al ser tan amplio el tema de los cerramientos ligeros, en este trabajo se ha optado por acotar las posibilidades de materiales y de combinaciones a estudiar. La tecnología está continuamente desarrollando nuevos materiales, ya sean aislamientos, entramados o revestimientos exteriores, incluso los paneles sándwich cada vez son más sofisticados y versátiles para cualquier solución constructiva.

E. ligero	Yeso laminado																																								
CNVi	Sin cámara interior											3 cm									5 cm																				
C.exterior	SC	3 cm			7 cm			10 cm			SC	3 cm			7 cm			10 cm			SC	3 cm			7 cm			10 cm													
R.exterior continuo	-	Ai	Al	Zn	Ai	Al	Zn	Ai	Al	Zn	-	Ai	Al	Zn	Ai	Al	Zn	Ai	Al	Zn	-	Ai	Al	Zn	Ai	Al	Zn	Ai	Al	Zn											
R.exterior discontinuo	-	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	-	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	-	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc		
CMV1														1.36			1.36			1.36				1.35			1.35			1.35											
CMV2		1.53			1.53			1.53																																	
CMV3*		1.59			1.59			1.59																																	
CMV4**														1.36			1.36			1.36				1.35			1.35			1.35											
CLV1														1.25	1.20	1.26	1.25	1.21	1.16	1.23	1.21	1.16	1.11	1.18	1.15		1.25	1.20	1.26	1.24	1.21	1.16	1.22	1.20	1.15	1.10	1.17	1.15			
CLV2		1.43	1.38	1.44	1.42	1.39	1.34	1.40	1.38	1.33	1.28	1.35	1.33																												
CLV3*		1.49	1.44	1.50	1.48	1.45	1.40	1.46	1.44	1.39	1.34	1.41	1.39																												
CLV4**														1.25	1.20	1.26	1.25	1.21	1.16	1.23	1.21	1.16	1.11	1.18	1.15		1.25	1.20	1.26	1.24	1.21	1.16	1.22	1.20	1.15	1.10	1.17	1.15			
CNV1														1.18	1.18	1.18	1.10	1.10	1.10	1.00	1.00	1.00		1.18	1.18	1.18	1.10	1.10	1.10	0.99	0.99	0.99									
CNV2		1.36	1.36	1.36	1.28	1.28	1.28	1.17	1.17	1.17																															
SC1*	1.76																																								
SC2**													1.36										1.35																		

\*No necesitan entramado ligero y la resistencia térmica corresponde a la del Panel Sandwich a elegir

\*\*La resistencia térmica es el resultado de la suma de la Rt del aislamiento y de la Rt del panel sandwich

E. ligero	Madera laminada																																						
CNVi	Sin cámara interior											3 cm									5 cm																		
C.exterior	SC	3 cm			7 cm			10 cm			SC	3 cm			7 cm			10 cm			SC	3 cm			7 cm			10 cm											
R.exterior continuo	-	Ai	Al	Zn	Ai	Al	Zn	Ai	Al	Zn	-	Ai	Al	Zn	Ai	Al	Zn	Ai	Al	Zn	-	Ai	Al	Zn	Ai	Al	Zn	Ai	Al	Zn									
R.exterior discontinuo	-	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	-	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	-	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc	C	M	Al	Fc
CMV1														1.32			1.32			1.32				1.31			1.31			1.31									
CMV2		1.49			1.49			1.49																															
CMV3*		1.59			1.59			1.59																															
CMV4**														1.32			1.32			1.32				1.31			1.31			1.31									
CLV1														1.21	1.16	1.23	1.21	1.18	1.12	1.19	1.17	1.12	1.07	1.14	1.11		1.21	1.16	1.22	1.20	1.17	1.12	1.18	1.16	1.11	1.06	1.13	1.11	
CLV2		1.39	1.34	1.38	1.40	1.35	1.30	1.36	1.34	1.29	1.24	1.29	1.31																										
CLV3*		1.49	1.44	1.50	1.48	1.45	1.40	1.46	1.44	1.39	1.34	1.41	1.39																										
CLV4**														1.21	1.16	1.23	1.21	1.18	1.12	1.19	1.17	1.12	1.07	1.14	1.11		1.21	1.16	1.22	1.20	1.17	1.12	1.18	1.16	1.11	1.06	1.13	1.11	
CNV1														1.14	1.14	1.14	1.06	1.06	1.06	0.95	0.95	0.95		1.13	1.13	1.13	1.06	1.06	1.06	0.95	0.95	0.95							
CNV2		1.32	1.32	1.32	1.24	1.24	1.24	1.13	1.13	1.13																													
SC1*	1.76																																						
SC2**													1.32												1.31														

\*No necesitan entramado ligero y la resistencia térmica corresponde a la del Panel Sandwich a elegir

\*\*La resistencia térmica es el resultado de la suma de la Rt del aislamiento y de la Rt del panel sandwich

## 9. ÍNDICE DE FIGURAS

1. Joseph Paxton, Crystal Palace, Hyde Park, 1851, Londres  
Fuente: <http://artecreha.com/wp-content/uploads/2012/05/Paxton0.jpg>
2. Interior Crystal Palace  
Fuente:  
[http://images.adsttc.com/media/images/51d5/7946/b3fc/4b58/3400/0231/large\\_jpg/72726307.jpg?1372944709](http://images.adsttc.com/media/images/51d5/7946/b3fc/4b58/3400/0231/large_jpg/72726307.jpg?1372944709)
3. James Stirling, Olivetti Training Centre, 1969-1972, Haslemere, Reino Unido  
Fuente: [https://farm7.staticflickr.com/6028/5953842574\\_33df8befcc\\_b.jpg](https://farm7.staticflickr.com/6028/5953842574_33df8befcc_b.jpg)
4. Norman Foster, Sainsbury Centre for Visual Arts, 1974-1978, Norwich, Reino Unido  
Fuente: <http://archetech.org.uk/wp-content/uploads/2012/12/1.jpeg>
5. Funciones de las capas de una fachada ligera ventilada  
Fuente: elaboración propia
6. Revestimiento exterior de piezas cerámicas  
Fuente: [ceramicascalaf.com/producto/fachada-ventilada-serie-montserrat/](http://ceramicascalaf.com/producto/fachada-ventilada-serie-montserrat/)
7. Revestimiento exterior de bandejas metálicas  
Fuente: <http://avb-arquitectura.es/tl/092-.-Cerramientos-Exteriores.htm>
8. Revestimiento exterior de paneles de fibrocemento  
Fuente: [sistemasdefachadas.com/galeria-equitone/](http://sistemasdefachadas.com/galeria-equitone/)
9. Revestimiento exterior de paneles de madera  
Fuente: <https://www.focuspiedra.com/jornada-tecnica-en-san-sebastian-sobre-fachadas-ventiladas-de-ultima-generacion-en-piedra-y-madera/>
10. Placa metálica nervada de acero inoxidable  
Fuente: [http://www.estructuras-metalicas-audefor.com/productos\\_chapatrapezoidalogrecada\\_5.html](http://www.estructuras-metalicas-audefor.com/productos_chapatrapezoidalogrecada_5.html)
11. Placa metálica ondulada de aluminio  
Fuente: <http://www.tectonica-online.com/art/images/26at32.jpg>
12. Fachada ventilada con panel prefabricado como hoja intermedia
13. Fachada ventilada con panel prefabricado como hoja interior  
Fuente: <http://www.fachadasaquapanel.es/index.php?s=sistemas&id=4>
14. Panel Sandwich metálico  
Fuente: [www.patec.org/proyecto-nave-industrial.php](http://www.patec.org/proyecto-nave-industrial.php)
15. Panel prefabricado con doble aislamiento. Puede sustituirse el aislamiento interior por una cámara de aire  
Fuente: <http://www.fachadasaquapanel.es/index.php?s=sistemas&id=3>
16. Placas de yeso laminado  
Fuente: <http://www.disvecor.com/placas-yeso-cemento-silico-calcareo/>
17. Fachada ventilada: Subestructura metálica, aislamiento térmico y revestimiento exterior  
Fuente: <http://958149108-0.tupaginaprofesional.com/productos1/fachada-ventilada>
18. Elementos de una fachada ligera ventilada  
Fuente: elaboración propia
19. - 30. Combinaciones de fachadas ligeras

Fuente: elaboración propia

## 10. BIBLIOGRAFÍA

### A. LIBROS

- CHUECA, PILAR (2008), “*Fachadas, innovación y diseño*”, Barcelona: Links  
ISBN: 9788496969469
- PARICIO, IGNACIO (2010), “*La piel ligera*”, Barcelona: Actar  
ISBN: 9788492861392
- SÁNCHEZ-OSTIZ GUTIÉRREZ, ANA (2011), “*Fachadas: Cerramientos de edificios*”, Madrid: CIE Inversiones Editoriales Dossat 2000  
ISBN: 9788493974701
- MARÍA MINGUET, JOSEP (2010), “*Fachadas = Façades*”, Barcelona: Instituto Monsa de Ediciones  
ISBN: 9788496096967
- PARDAL, CRISTINA (2006), “*La fachada ventilada y ligera*”, Barcelona: Bisagra  
ISBN: 8493132055
- MONTERO FERNÁNDEZ DE BOBADILLA, EDUARDO (2007), “*Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad: manual básico*”, Murcia: Consejería de Obras Publicas, Vivienda y Transportes  
ISBN: 8487138-49-7
- (2006), “*Fachadas ligeras : manual de producto*”, Madrid: AENOR  
ISBN: 8481434655
- BALLARÍN IRIBARREN, ALBERTO (2007), “*Fachadas y cubiertas (II)*”, Madrid: Munilla-Leria  
ISBN: 9788489150768
- GARÍ, JOAN (2005), “*Cerramientos verticales - fachadas*”, Barcelona : CEAC  
ISBN: 84-329-1299-9

### B. DOCUMENTOS TÉCNICOS

- CTE DB-SE: Seguridad estructural  
<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE.pdf>
- CTE DB-SE-AE: Acciones de la edificación  
<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>
- CTE DB-SI: Seguridad en caso de incendio  
<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadIncendio/DccSI.pdf>
- CTE DB-SUA: Seguridad de utilización y accesibilidad  
<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadUtilizacion/DccSUA.pdf>
- CTE DB-HE: Ahorro de energía  
<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DccHE.pdf>
- CTE DA-DB-HE/1  
[http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DA-DB-HE-1-Calculo\\_de\\_parametros\\_caracteristicos.pdf](http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DA-DB-HE-1-Calculo_de_parametros_caracteristicos.pdf)
- CTE DA-DB-HE/2

- [http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DA-DB-HE-2\\_-\\_Condensaciones.pdf](http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DA-DB-HE-2_-_Condensaciones.pdf)
- CTE DB-HR: Protección frente a ruido  
<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/DccHR.pdf>
- CTE DA-DB-HR/1  
<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/DA-DBHR-1.pdf>
- CTE DB-SUA: Salubridad  
<http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DccHS.pdf>
- Catálogo de elemento constructivos (Marzo 2010)  
[http://www.unav.edu/departamento/SAT/EDIF\\_CTE/Aplicaciones/CAT-EC-v06.3\\_marzo\\_10.pdf](http://www.unav.edu/departamento/SAT/EDIF_CTE/Aplicaciones/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf)

### C. MONOGRAFÍAS

- Tectónica 1: Envolvertes (I) Fachadas ligeras
- Tectónica 2: Envolvertes (II) Cerramientos pesados
- Tectónica 3: Envolvertes metálicas
- Detail 2001/01: Fachadas
- Detail 2011/05: Materials & Finishes
- Detail 2012/08 Fachadas

### D. PÁGINAS WEB

- <http://aenormas.aenor.es/es/normas/cte#titulonormas>  
Consultado: 03/09/2016
- <http://www.aenor.es/aenor/normas/buscadornormas/buscadornormas.asp#.V9IdpJiLTV>  
Consultado: 05/09/2016
- <http://www.asefave.org/>  
Consultado: 25/07/2016
- <http://itec.es/certificacion/ete/emitidos>  
Consultado: 03/09/2016
- <http://www.ulmaarchitectural.com/es/fachadas-ventiladas/info-general/>  
Consultado: 01/09/2016
- [http://www.domuslab.es/web/text.php?id\\_section=112](http://www.domuslab.es/web/text.php?id_section=112)  
Consultado: 05/06/2016
- <http://www.fachadasdelnoroeste.com/>  
Consultado: 05/06/2016
- <http://www.panelsandwich.com/>  
Consultado: 29/05/2016
- [http://www.metalpanel.com/Catalogos-y-Fichas-Tecnicas\\_es\\_18.html](http://www.metalpanel.com/Catalogos-y-Fichas-Tecnicas_es_18.html)  
Consultado: 29/05/2016



- <http://www.transmetalsa.com/fachadas.php>  
Consultado: 25/07/2016
- <http://europerfil.com/web/soluciones/7/sistemas-constructivos/fachada-ventilada-eurohabitat#>  
Consultado: 29/05/2016
- <http://www.ytong.es/fachadas.php>  
Consultado: 29/05/2016
- <http://www.favemanc.com/catalog/3/fachadas-ventiladas-espana>  
Consultado: 29/05/2016
- <http://www.dekton.es/fachadas/>  
Consultado: 01/09/2016
- <http://www.fachadasaquapanel.es/index.php?s=sistemas>  
Consultado: 03/09/2016
- <http://www.dekton.es/fachadas/>  
Consultado: 05/06/2016

## E. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

- Catálogo Knauf: Knauf tabiques de fachada
- Catálogo Ytong: Soluciones para cerramientos y fachadas
- Catálogo Larson: Aluminium Composite Panels for Architectural Wall Cladding
- Catálogo Metalpanel: Catálogo resumen
- Catálogo: Dekton
- Catálogo Globalwall: Soluciones de fachada
- Catálogo Trespa: Fachadas espectaculares
- Catálogo Hydro: Diseño de fachadas ligeras
- Catálogo Cempanel: Panel de fibrocemento
- Catálogo Euronit: Sistemas de revestimiento para fachadas ventiladas ligeras
- Guía IDAE: Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes
- Catálogo Cortizo: Fachada Ligera
- Catálogo Technoform Bautec: Envolvente y Cerramientos: la piel del edificio
- Catálogo Favemanc