









## Título: Manual de Producto Fachadas Ventiladas

© autor:



Príncipe de Vergara, 74, 3º  
28006 Madrid  
Tel.: 915 614 547  
asefave@asefave.org  
www.asefave.org

© de esta edición:

**Interempresasmedia**

Amadeu Vives, 20-22  
08750 Molins de Rei (Barcelona)  
Tel.: 936 802 027  
comercial@interempresas.net  
www.interempresas.net

Producción:

**saviat**

Tel.: 934 103 622  
info@saviat.net  
www.saviat.net

Miembro de:

**FAECF**

Federación Europea de Asociaciones de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas

**UNE**

Asociación Española de Normalización

**CEPCO**

Confederación Española de Asociaciones de Fabricantes de Productos de Construcción

**FORO IBEROAMERICANO DEL CERRAMIENTO**

Miembro adherido de **CONFEMETAL**

Nota del autor: Tanto ASEFAVE y los autores que han colaborado en esta edición, como la editorial Interempresas Media, declinan toda responsabilidad ante el uso y aplicación de los datos publicados en esta obra, recordando que, de modo general, se ha tomado como referencia la normativa española. Esta edición ha sido elaborada conforme a la normativa vigente en Mayo de 2020. Futuras modificaciones normativas y/o reglamentarias se introducirían en posteriores ediciones.

Depósito Legal: B-10.878/2020  
Impreso en España • Printed in Spain  
Edición: junio 2020



# OBJETO DEL MANUAL

En línea con una de las principales actividades de **ASEFAVE**, la difusión del conocimiento técnico en su ámbito de actuación, se aborda este Manual de Fachadas Ventiladas.

Al igual que ya se hizo con ventanas y fachadas ligeras (muro cortina) se pretende llenar un vacío en la literatura técnica sobre esta tipología de solución constructiva para la envolvente de las edificaciones.

Conscientes de la diversidad de combinaciones de materiales y disposiciones, el manual ofrece conceptos genéricos y entra más en detalle para aquellas soluciones más habituales en nuestro país.

Asimismo, se ha buscado incluir referencias a conceptos que están empezando a tener su peso en el sector (BIM, certificaciones medioambientales), y que es de esperar, tengan mayor relevancia en las sucesivas revisiones de este Manual.

Pablo Martín  
Director de ASEFAVE





# AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a aquellos técnicos que han colaborado en la redacción de este Manual por su esfuerzo y dedicación:

**Ángel Mateo Marcos** de ENAR Envolventes Arquitectónicas

**Beatriz Quintana** de COSENTINO

**Eduardo Gayoso** de TINO Natural Stone

**Fernando Corona** de TRESPA

**Francisco Cageao** de DECEUNINCK

**Isabel Mateos y Lorenzo Garrido** de SELENA IBERIA

**Jordi Guivernau** de ROCKWOOL

**Julia Gómez** de SIKA

**Laura Sánchez** de HILTI

**Manuel Martino** de STO

**María Bento** del ITEC

**Marina Alonso, Atteneri Viñas, Malena Clapers y Ana Belén Cuesta**  
de URSA

**Nuria Costa** de DOW

**Octavi Mir y Juan José Fernández** de BOSTIK

**Xabier Olano y Eneritz Unceta** de TECNALIA

**Xavier Ferrés y Alexandre Jutglà** de FERRÉS ARQUITECTOS Y  
CONSULTORES

**Zigor Marroquín** de ALUCOIL

Queremos destacar especialmente la labor realizada por **Xavier Ferrés**, autor de los croquis que aparecen en este Manual.

No menos importante, la labor de coordinación de **Inés Gómez**, secretaria técnica de **ASEFAVE**, y el esfuerzo de **Interempresas** en la labor editorial.

# CONTENIDOS

|          |                                                                     |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>CONCEPTO DE LA FACHADA VENTILADA</b>                             | <b>14</b> |
| 1.1      | DEFINICIÓN                                                          | 15        |
| 1.2      | HISTORIA                                                            | 25        |
| 1.3      | CLASIFICACIÓN                                                       | 29        |
| 1.4      | COMPORTAMIENTO                                                      | 30        |
| <b>2</b> | <b>COMPONENTES DE LA FACHADA VENTILADA</b>                          | <b>42</b> |
| 2.1      | SUBESTRUCTURA                                                       | 43        |
| 2.1.1    | ANCLAJES A MATERIAL BASE                                            | 43        |
| 2.1.2    | MÉNSULAS                                                            | 55        |
| 2.1.3    | PERFILES                                                            | 62        |
| 2.1.4    | SISTEMAS DE FIJACIÓN DEL REVESTIMIENTO                              | 63        |
| 2.2      | AISLAMIENTO                                                         | 122       |
| 2.2.1    | DESCRIPCIÓN                                                         | 122       |
| 2.2.2    | MATERIALES                                                          | 123       |
| 2.3      | PANELES/PLACAS DE REVESTIMIENTO                                     | 126       |
| 2.3.1    | DESCRIPCIÓN                                                         | 126       |
| 2.3.2    | MATERIALES                                                          | 127       |
| 2.4      | ELEMENTOS AUXILIARES                                                | 160       |
| 2.4.1    | MEMBRANAS DE PROTECCIÓN<br>(BARRERAS DE VAPOR / IMPERMEABILIZACIÓN) | 160       |
| 2.4.2    | SECTORIZACIÓN                                                       | 162       |



# 3

|                                                                                                         |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>NORMATIVA DE APLICACIÓN</b>                                                                          | <b>166</b> |
| <b>3.1 MARCO NORMATIVO NACIONAL.CTE</b>                                                                 | <b>167</b> |
| 3.1.1 DB SE. SEGURIDAD ESTRUCTURAL                                                                      | 167        |
| 3.1.2 DB SI. SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO                                                              | 167        |
| 3.1.3 DB SUA. SEGURIDAD DE UTILIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD                                                  | 170        |
| 3.1.4 DB HE. AHORRO DE ENERGÍA                                                                          | 170        |
| 3.1.5 DB HS. SALUBRIDAD                                                                                 | 172        |
| 3.1.6 DB HR. PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO                                                                 | 173        |
| <b>3.2 DOCUMENTOS DE EVALUACIÓN TÉCNICA</b>                                                             | <b>174</b> |
| 3.2.1 DIT. DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA. INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA     | 175        |
| 3.2.2 DITPLUS. DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA. INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA | 176        |
| 3.2.3 DAU. DOCUMENTO DE ADECUACIÓN AL USO. ITEC                                                         | 178        |
| 3.2.4 TC. TECHNICAL CONFORMITY. TECNALIA                                                                | 180        |
| <b>3.3 MARCADO CE VOLUNTARIO</b>                                                                        | <b>181</b> |
| 3.3.1 EVALUACIÓN TÉCNICA EUROPEA (ETE)                                                                  | 182        |
| 3.3.2 INFORMES TÉCNICOS (TECHNICAL REPORTS)                                                             | 188        |
| <b>3.4 ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES</b>                                                                    | <b>188</b> |
| 3.4.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA                                                                         | 188        |
| 3.4.2 TIPOS DE ETIQUETAS MEDIOAMBIENTALES (ECODISEÑO)                                                   | 190        |
| 3.4.3 REGLAS DE CATEGORÍA DE PRODUCTO                                                                   | 190        |
| 3.4.4 DECLARACIONES AMBIENTALES DE PRODUCTO                                                             | 191        |
| 3.4.5 ESQUEMAS DE CERTIFICACIÓN MEDIOAMBIENTAL                                                          | 192        |

# CONTENIDOS

## 4

|                                             |            |
|---------------------------------------------|------------|
| <b>DISEÑO DE LA FACHADA VENTILADA</b>       | <b>196</b> |
| 4.1 TIPOLOGÍAS DE FACHADA                   | 197        |
| 4.2 HOJA EXTERIOR                           | 201        |
| 4.2.1 CRITERIOS DE ELECCIÓN                 | 201        |
| 4.2.2 GEOMETRÍA DE PLACAS                   | 202        |
| 4.3 SUBESTRUCTURA                           | 202        |
| 4.3.1 SISTEMAS DE FIJACIÓN                  | 202        |
| 4.4 CÁMARA                                  | 204        |
| 4.4.1 DIMENSIONADO                          | 204        |
| 4.4.2 JUNTAS                                | 204        |
| 4.4.3 APERTURAS DE ENTRADA Y SALIDA DE AIRE | 208        |
| 4.5 AISLAMIENTO                             | 209        |
| 4.5.1 DIMENSIONADO                          | 209        |
| 4.6 COMPARTIMENTACIÓN DE LA CÁMARA          | 210        |
| 4.7 CASOS PARTICULARES                      | 211        |
| 4.7.1 INDUSTRIALIZADA                       | 211        |

# 5

## CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LA FACHADA VENTILADA

|       |                                               |     |
|-------|-----------------------------------------------|-----|
| 5.1   | CÁLCULO ESTRUCTURAL                           | 217 |
| 5.1.1 | ACCIONES                                      | 217 |
| 5.1.2 | HIPÓTESIS DE CÁLCULO                          | 230 |
| 5.2   | CÁLCULO POR COMPONENTES                       | 230 |
| 5.2.1 | HOJA EXTERIOR                                 | 230 |
| 5.2.2 | SUBESTRUCTURA                                 | 231 |
| 5.2.3 | MÉNSULAS                                      | 246 |
| 5.3   | CÁLCULO TÉRMICO                               | 249 |
| 5.3.1 | CÁLCULO DE LA U DE LA SOLUCIÓN DE CERRAMIENTO | 249 |
| 5.3.2 | CÁLCULO DE PUENTES TÉRMICOS                   | 250 |
| 5.3.3 | COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO                   | 259 |
| 5.4   | CÁLCULO ACÚSTICO                              | 266 |
| 5.5   | CÁLCULO DE ANCLAJES                           | 267 |

# CONTENIDOS

|          |                                                                 |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6</b> | <b>EJECUCIÓN DE LA FACHADA VENTILADA</b>                        | <b>282</b> |
| 6.1      | FIJACIÓN DE LA SUBESTRUCTURA                                    | 283        |
| 6.2      | COLOCACIÓN DEL AISLAMIENTO                                      | 284        |
| 6.3      | COLOCACIÓN DE LA HOJA EXTERIOR                                  | 285        |
| 6.3.1    | FIJACIÓN MECÁNICA                                               | 285        |
| 6.3.2    | FIJACIÓN QUÍMICA                                                | 288        |
| 6.4      | ENSAYOS                                                         | 292        |
| 6.4.1    | ENSAYOS Y CARACTERIZACIÓN DE REQUERIMIENTOS<br>ESENCIALES       | 292        |
| 6.4.2    | ENSAYOS DE PROPAGACIÓN DE INCENDIO EN FACHADAS<br>A GRAN ESCALA | 293        |
| 6.5      | CONTROL DE LA EJECUCIÓN                                         | 294        |

|          |                                       |     |
|----------|---------------------------------------|-----|
| <b>7</b> | <b>PATOLOGÍAS</b>                     | 296 |
|          | 7.1 PATOLOGÍAS EN FACHADAS VENTILADAS | 297 |
|          | 7.2 INTERFAZ                          | 302 |

|          |                                              |     |
|----------|----------------------------------------------|-----|
| <b>8</b> | <b>BIM</b>                                   | 304 |
|          | 8.1 QUÉ ES BIM                               | 305 |
|          | 8.2 EL MODELO DIGITAL                        | 306 |
|          | 8.3 APLICACIÓN DE BIM EN FACHADAS VENTILADAS | 308 |

|               |     |
|---------------|-----|
| <b>ANEXOS</b> | 311 |
|---------------|-----|

#### **ANEXO A.**

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| DAPs. Declaraciones Ambientales de Producto | 311 |
|---------------------------------------------|-----|

#### **ANEXO B.**

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| Certificaciones de sostenibilidad en edificios | 317 |
|------------------------------------------------|-----|

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>FUENTE DE LAS FIGURAS</b> | 326 |
|------------------------------|-----|

|                     |     |
|---------------------|-----|
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b> | 328 |
|---------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| <b>WEBGRAFÍA</b> | 328 |
|------------------|-----|

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>NORMATIVA APLICABLE</b> | 329 |
|----------------------------|-----|

# CONCEPTO DE LA FACHADA VENTILADA

1

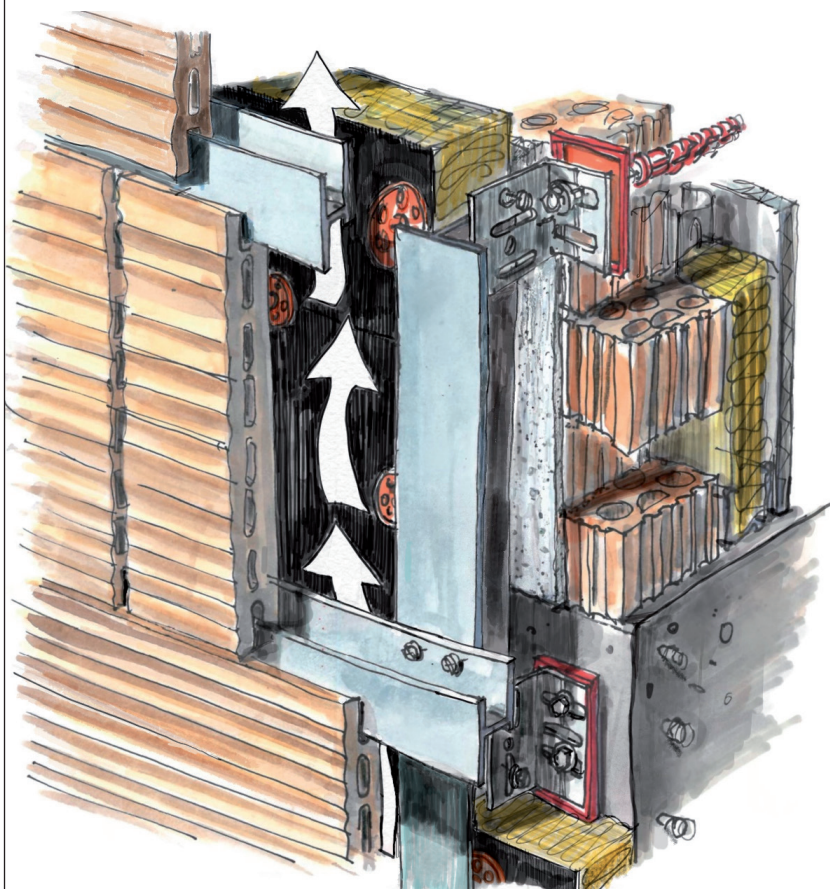


## 1.1 DEFINICIÓN

La fachada ventilada es un tipo de solución constructiva de cerramiento que presenta una cámara ventilada entre los paneles o placas de revestimiento que conforman el acabado de la misma y el material base o sustrato al que se fija. Dicha cámara alberga por norma general un aislamiento térmico.

La cámara de ventilación permite la entrada y salida del aire exterior a través de aberturas, como rejillas de ventilación en arranque y coronación de la fachada, así como juntas entre paneles de revestimiento.

Se describe a continuación cada una de las partes que componen la fachada ventilada.

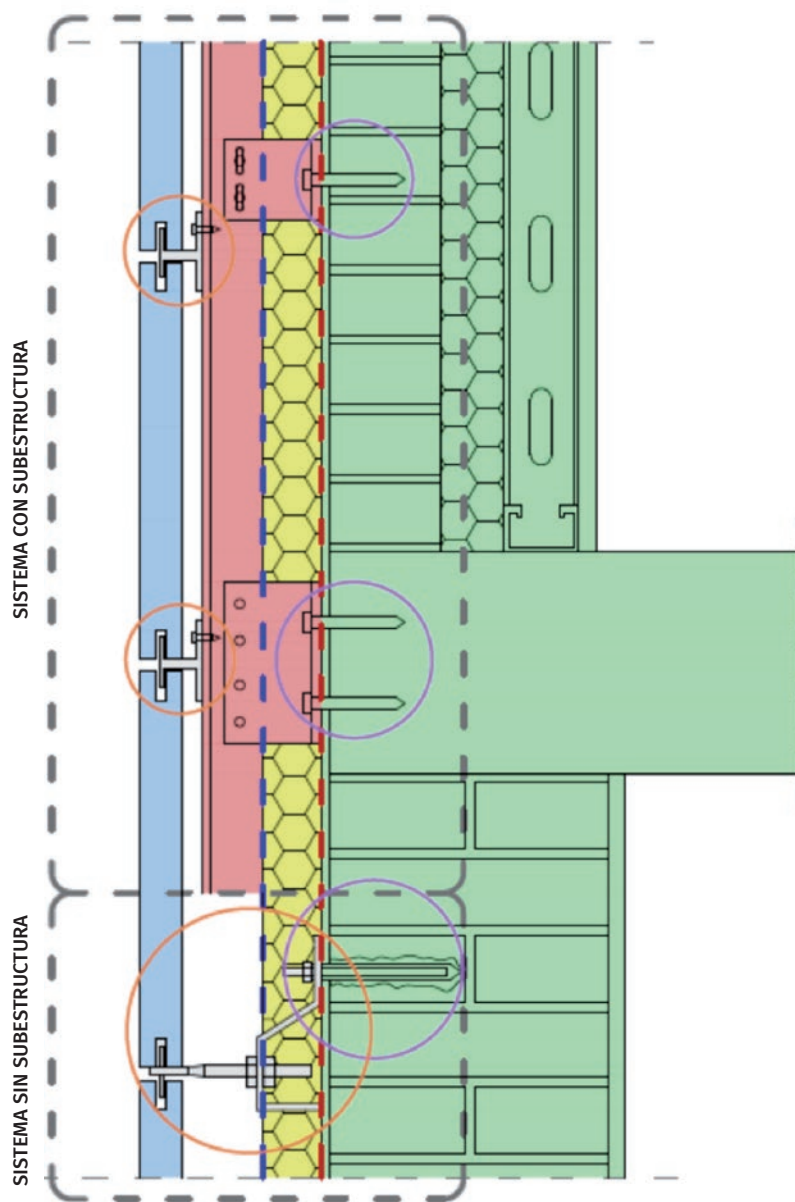


**CROQUIS N°1**

*Esquema básico de  
fachada ventilada.*

*Piel exterior, canal de  
aire, aislamiento y hoja  
interior.*

-  Material base o sustrato (estructural o no estructural)
-  Aislamiento térmico
-  Subestructura (perfiles verticales y horizontales + ménsulas)
-  Paneles o placas de revestimiento
-  Barrera de vapor (opcional) / Membrana impermeable transpirable (si es necesario)
-  Anclajes
-  Sistema de fijación del revestimiento



**Figura 1.**  
Sección vertical de una  
fachada ventilada.  
Identificación de las  
partes  
componentes de la  
fachada ventilada

## Material base

También es conocido con el nombre de sustrato y no forma parte del sistema de fachada ventilada, pero es imprescindible para su instalación, ya que es el elemento vertical al que queda fijada. Normalmente aporta al cerramiento casi todos los requisitos de estanqueidad al aire y resistencia y estabilidad mecánica (cargas estáticas y dinámicas).

### Se trata del soporte sobre el que va fijado el sistema de fachada ventilada.

El material base al que se fija la fachada ventilada puede ser estructural o no estructural, dependiendo de si soporta o no las cargas del edificio.

- > **Estructural:** la resistencia y estabilidad del edificio se resuelve mediante los elementos estructurales del mismo, como pueden ser forjados, vigas, losas, pilares, cerchas, muros de carga, etc. En los muros estructurales (portantes), las cargas de la fachada ventilada se transmiten directamente a dicho muro.
- > **No estructural:** comprende el resto de soluciones de hoja interior sin función estructural, asociadas a garantizar las condiciones de habitabilidad en el interior del edificio. Aunque no forme parte de la estructura del edificio, debe tener capacidad portante suficiente para recibir las cargas que la fachada ventilada le transmite y trasladarlas debidamente a la estructura del edificio.

En el caso de muros no estructurales, las fachadas ventiladas se instalan de forma que las cargas verticales de la fachada se cargan sobre los frentes de forjado del edificio mediante ménsulas de sustentación, mientras que los esfuerzos horizontales, especialmente las cargas de viento, se transmiten al edificio mediante ménsulas de retención (fijados al muro soporte no estructural).

En los muros no estructurales con perfilería trasera, en el que la capacidad mecánica del muro no es homogénea en toda su superficie, se debe garantizar que las cargas de viento transmitidas por las ménsulas de retención al soporte se transmitan de forma adecuada, fijándose las ménsulas directamente a la subestructura trasera, o utilizando perfiles adicionales que garanticen la transmisión de estas cargas a la subestructura.

Dependiendo de cómo se ejecute su construcción, puede tratarse de un sustrato ejecutado con técnica seca o húmeda:

- > **Técnica húmeda:** soluciones de cerramiento mediante fábricas de ladrillo o bloque de hormigón, termoarcilla, etc., unidas con mortero de cemento.
- > **Técnica seca:** soluciones de cerramiento construidas sin el uso de morteros o pastas, normalmente ejecutadas con una estructura primaria (perfiles de madera, acero...) cerrados por paneles de diversos materiales (madera, yeso laminado, núcleo de yeso y fibra de vidrio, base cemento, derivados de la madera, etc.).

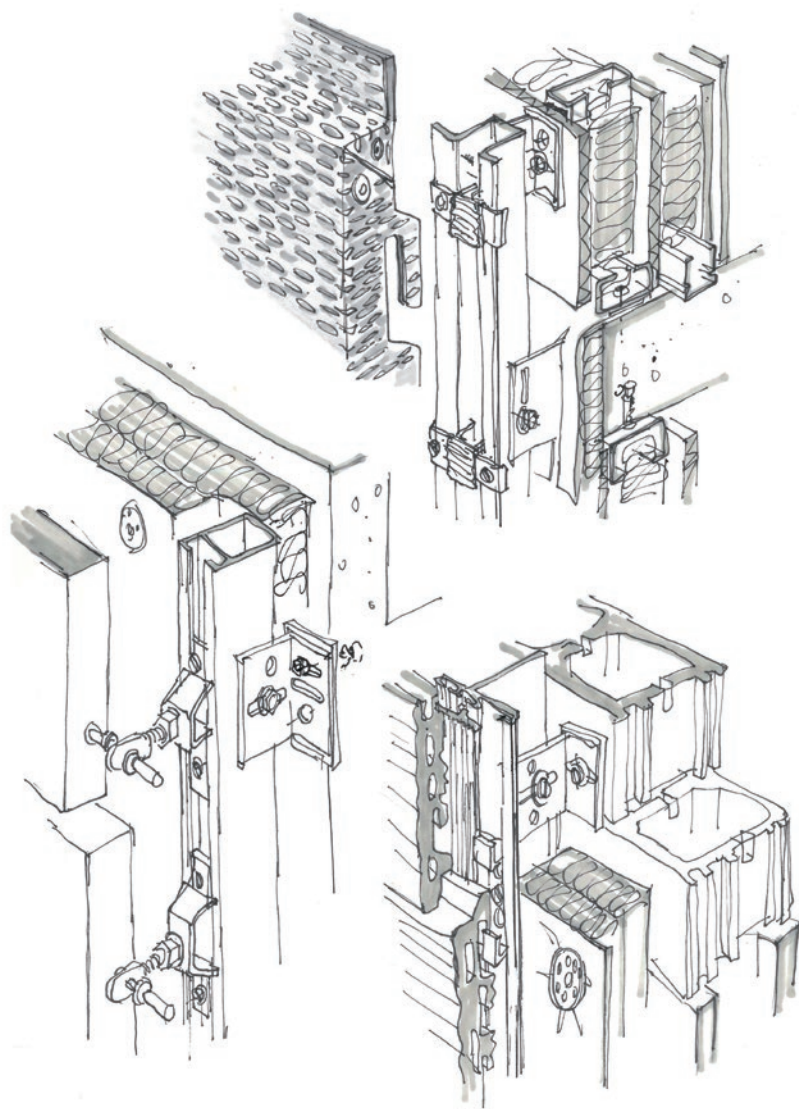
La situación más habitual, es disponer de un sustrato al que se va a fijar la fachada ventilada compuesto de paños de cerramiento no estructural, al tiempo que son accesibles elementos estructurales en fachada, tales como:

- > Cantos de forjados de hormigón armado, in situ o prefabricado (losa maciza, forjado reticular, forjado unidireccional).
- > Cantos de forjados mixtos de acero y hormigón.

- > Cantos de forjados de madera (madera maciza, madera contralaminada CLT, etc.).
- > Vigas metálicas.

*Por norma general, las cargas horizontales de viento se absorben de manera solidaria por todas las fijaciones al material base, mientras que las de peso se busca llevarlas directamente a la estructura del edificio, como se detalla más adelante.*

A continuación, se enumeran los materiales más habituales del elemento soporte de fachadas ventiladas, clasificados dependiendo de si dicho muro soporta las cargas de la fachada (estructural) o no (no estructural). El listado es a título de ejemplo, es posible utilizar otros materiales no mencionados siempre que sean adecuados al uso.



#### CROQUIS N°2

Esquemas básicos  
de diferentes  
configuraciones. Hoja  
exterior composite,  
piedra natural y  
cerámica extrusionada y  
hoja interior con tabique  
seco, muro de hormigón  
in-situ y bloque de  
hormigón.

## > **Muro estructural**

Existe una amplia variedad de productos utilizados para la construcción de muros estructurales, principalmente elementos cerámicos, de hormigón o de madera, en diferentes formas de producto final.

### **Productos de hormigón:**

- > Bloque hueco de hormigón.
- > Bloque de hormigón aireado o aligerado.
- > Panel prefabricado de hormigón.
- > Hormigón armado.

### **Productos cerámicos:**

- > Ladrillo: caravista o macizo, perforado, hueco doble, etc.
- > Termoarcilla.

Estos muros pueden ejecutarse mediante técnica húmeda (muros de mampostería de ladrillo o bloque de hormigón, hormigón armado, etc.), o por técnica seca (paneles prefabricados de hormigón, madera CLT, etc.).

Las propiedades de los distintos tipos de materiales de la estructura soporte condicionan la elección del tipo de fijación.

## > **Muro no estructural**

En el caso de que la hoja interior no sea portante y constituya simplemente el cerramiento del edificio, los materiales que se utilizan pueden ser de diversa variedad.

Los muros no estructurales pueden ejecutarse mediante técnica seca o húmeda, pudiendo utilizarse los materiales anteriormente mencionados en cada una de las técnicas. Su montaje puede ser “in situ” o prefabricado.

## **Aislamiento térmico**

Reviste la hoja interior del cerramiento de manera continua para mejorar el comportamiento térmico y acústico del mismo, disminuyendo los puentes térmicos de los elementos estructurales en fachadas, tales como los cantos de forjado. Puede ser, entre otros:

- > Lanas minerales: lana de roca o lana de vidrio.
- > Poliestireno expandido (EPS) o extruido (XPS).
- > Poliuretano (PUR) o poliisocianurato (PIR).
- > Otros aislamientos: celulosa, lana de oveja, corcho, fibras de cáñamo.

*Se deben tener en cuenta las características hidrófugas de los materiales usados según regula el reglamento de protección contra el fuego.*

## **Cámara de aire ventilada**

Las fachadas ventiladas disponen de una cámara de ventilación que se extiende desde la cara exterior del aislamiento térmico hasta la cara oculta de los paneles o placas de revestimiento. Es a través de esta cámara donde se produce la convección del aire que circula por su interior, entrando y saliendo tanto por la rejilla inferior y superior de ventilación situadas en arranque y coronación de fachada,



como por las juntas que se generan en la hoja exterior al jugar con las infinitas posibilidades que ofrecen las distintas modulaciones de paneles que se elijan para el proyecto de fachada ventilada.

La ventilación de la cámara permite la difusión del agua que pueda entrar en este espacio a causa de la lluvia desde el exterior o al vapor de agua procedente del interior.

*Para considerarse cámara ventilada, debe cumplir con las siguientes características, según el documento EAD 090062-00-0404<sup>(1)</sup>:*

- *Debe tener un espesor mínimo de 20 mm, con estrechamientos puntuales de cámara como máximo de 5 – 10 mm de espesor.*
- *Debe contar con aberturas de ventilación en la base y la coronación de la fachada, de sección transversal de al menos 50 cm<sup>2</sup> por cada metro lineal*

(1) EAD 090062-00-0404

Kits para revestimientos  
exteriores de fachada  
fijados mecánicamente.

## Subestructura

Sistema constructivo que soporta la hoja exterior del revestimiento y transmite sus cargas al material base. Está compuesta por anclajes, ménsulas y perfilera (vertical, horizontal o ambas).

La salida de las ménsulas configura el espacio existente entre la hoja interior y exterior, suficiente para albergar el aislamiento térmico y la cámara ventilada.

### Anclajes

Constituyen las fijaciones que conectan el sistema de fachada ventilada al material base y permiten transmitir las cargas al mismo.

### Ménsulas

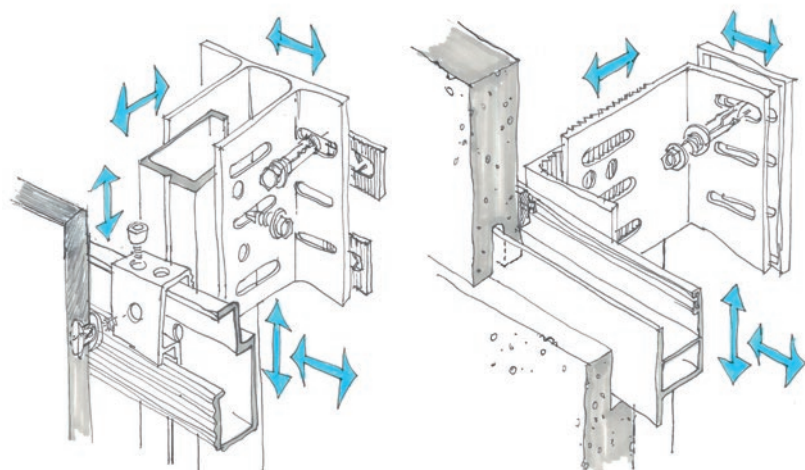
Son los componentes de los sistemas con subestructura que posibilitan la separación del revestimiento respecto de la hoja interior.

### Perfiles

Son los elementos longitudinales de la subestructura que se fijan a las ménsulas y soportan los paños de la fachada ventilada.

CROQUIS N°3

Sistemas de regulación  
tridimensional para  
ajuste de tolerancias  
de obra, fabricación y  
montaje.

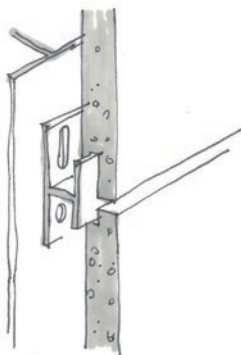


## Sistemas de fijación del revestimiento

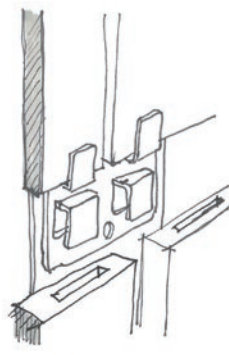
Son los elementos que fijan o sujetan en última instancia el revestimiento exterior. Pueden ser mecánicos (tornillos, remaches, pasadores, grapas, etc.), químicos (sistemas con adhesivos) o mixtos.

- En sistemas con subestructura, fijan los paneles o placas a los perfiles.
- En sistemas sin subestructura, son elementos puntuales que fijan directamente el revestimiento al material base.

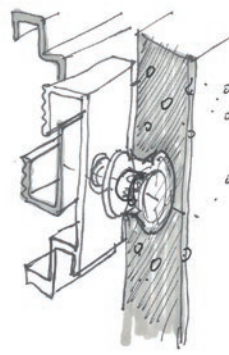
### TIPOLOGÍAS DE FIJACIÓN



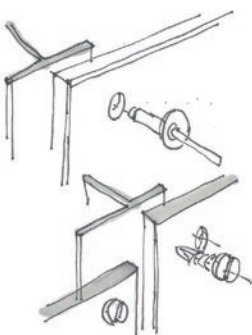
PLACAS RANURADAS



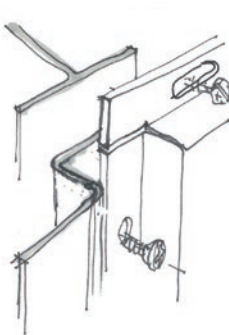
FIJACIÓN POR GRAPAS



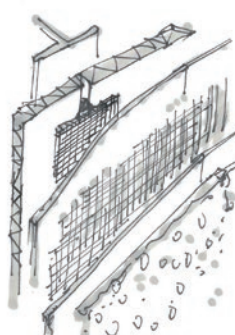
FIJACIÓN OCULTA



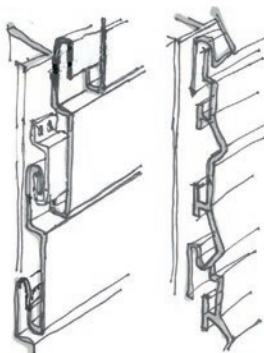
FIJACIÓN PERFORANTE



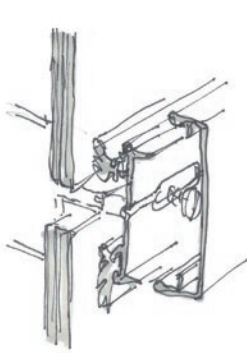
FIJACIÓN PERFORANTE ENCAJADA



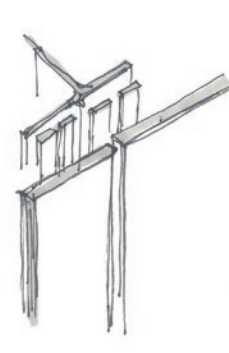
REVOCO/MORTERO



PERFILES O PLACAS CLIPADAS

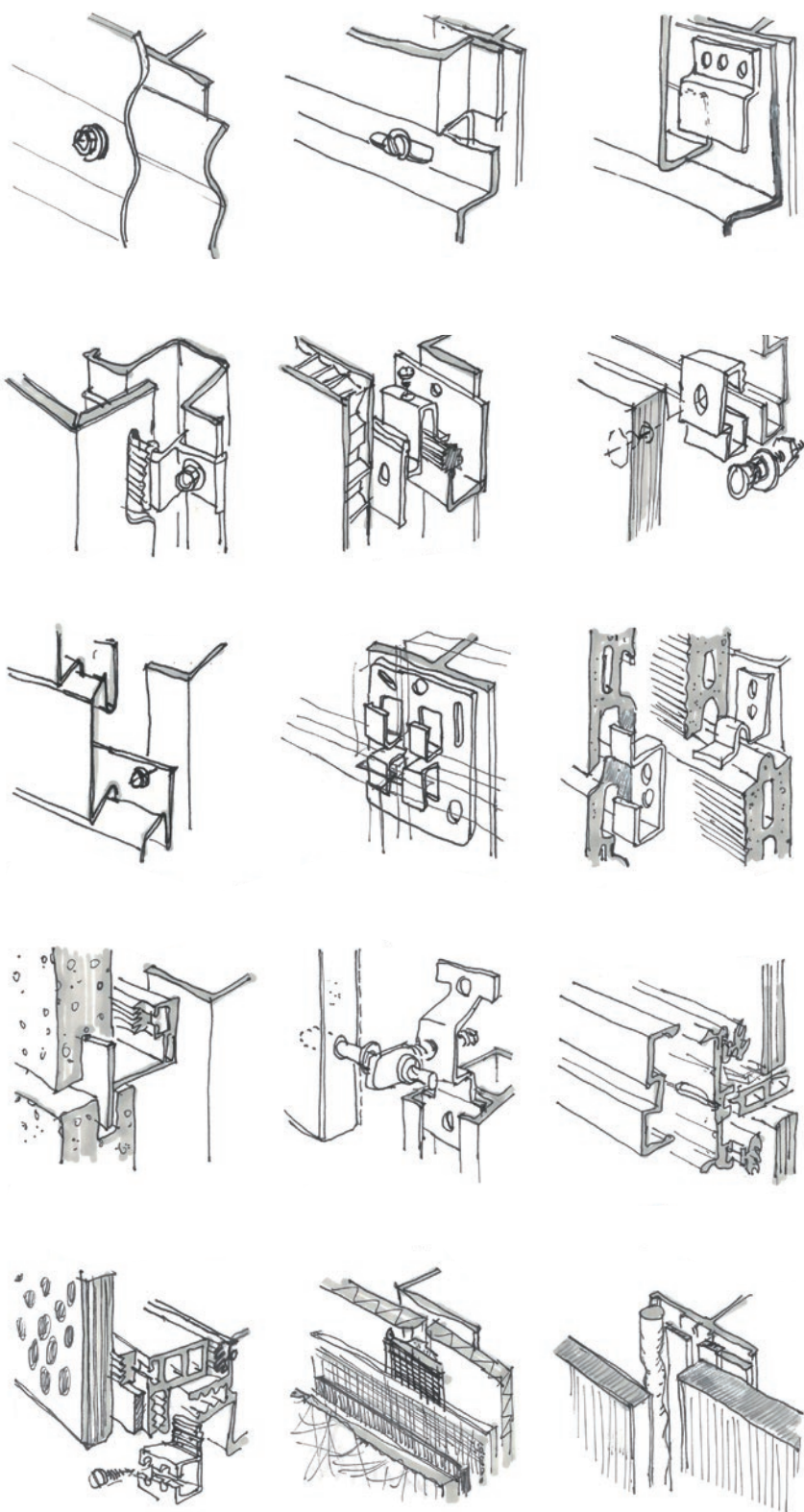


FIJACIÓN POR PRESOR



FIJACIÓN QUÍMICA

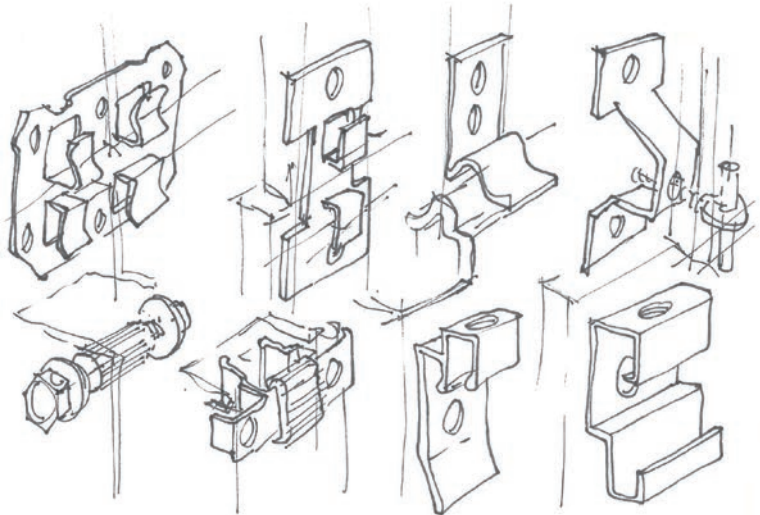
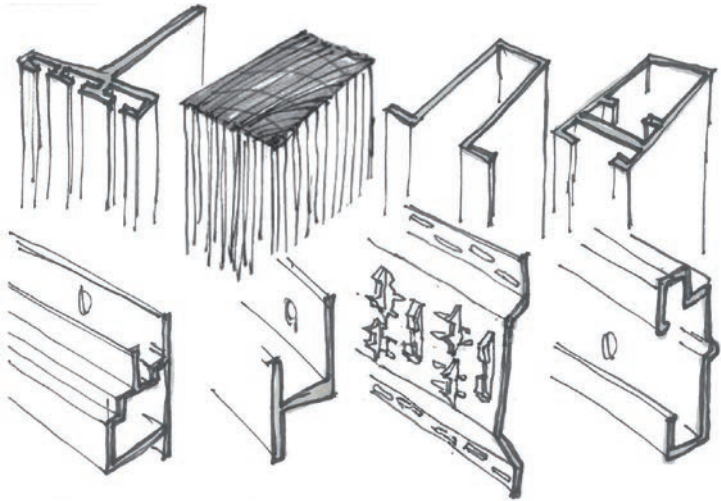
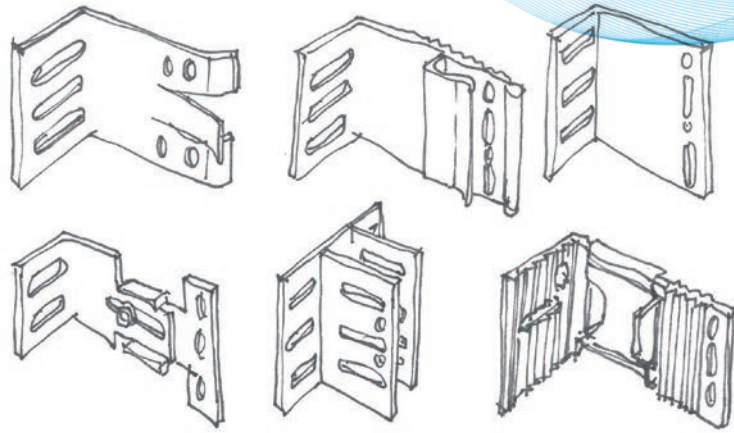
**CROQUIS Nº4**  
Clasificación de diferentes tipos de unión entre los elementos de la piel exterior y los sistemas de subestructura.



#### CROQUIS N°5

*Tipos de unión entre las  
piezas de la piel exterior  
y la subestructura.  
Perforada, clipada,  
ranurada, pegada, con  
fijación puntual, lineal o  
colgada.*





# **CROQUIS N°6**

**Elementos de soporte,  
subestructura y fijación.**

**Escuadras, rastreles  
verticales y horizontales  
y piezas de anclaje.**

## **Placas o paneles de revestimiento**

El revestimiento exterior constituye la hoja externa de la fachada. Puede estar configurado por paneles o placas de diversos materiales, entre otros:

- > De cerámica: terracota, gres porcelánico, superficies ultracompactas, etc.
- > De piedra: mármol, pizarra, granito, etc.
- > Fachadas metálicas: aluminio pulido, zinc, etc.
- > Fachada de materiales compuestos: polímeros, HPL, ALM, plásticos, etc.
- > Paneles de vidrio.
- > Panel con revestimiento in situ.

## **Componentes auxiliares**

### **Barrera cortafuegos**

Elemento lineal que cierra horizontal y verticalmente la cámara ventilada evitando el efecto chimenea. Esta sectorización puede ser permanente o producirse sólo en caso de incendio cuando las barreras llevan componentes expansivos.

### **Barrera de vapor**

Membrana que no permite la difusión del vapor del espacio caliente del edificio hacia la cara fría. Se sitúa en la cara caliente del aislamiento térmico a fin de evitar condensaciones intersticiales (en nuestra zona climática, entre el mismo y la hoja interior). Mediante un cálculo higrotérmico, específico para cada proyecto, se puede verificar la necesidad o no de su utilización.

### **Membrana impermeable al agua y transpirable**

Elemento que contribuye a la estanqueidad del cerramiento evitando filtraciones del agua exterior al interior del edificio, a instalar sobre la cara exterior del aislamiento térmico si su superficie no es hidrofóbica. Normalmente su instalación es recomendable en situaciones donde existe una influencia importante del binomio -viento y agua de lluvia- combinado a su vez con una fachada ventilada con juntas muy abiertas.

También permite la respiración del aislamiento térmico, facilitando la salida de la humedad que éste pudiese tener. Cabe reseñar que algunos productos aislantes llevan incorporado un revestimiento que realiza una función similar a la que realizan estas membranas. Si el soporte ya está impermeabilizado, mediante la utilización de un aislamiento adecuado, se puede prescindir de su colocación.

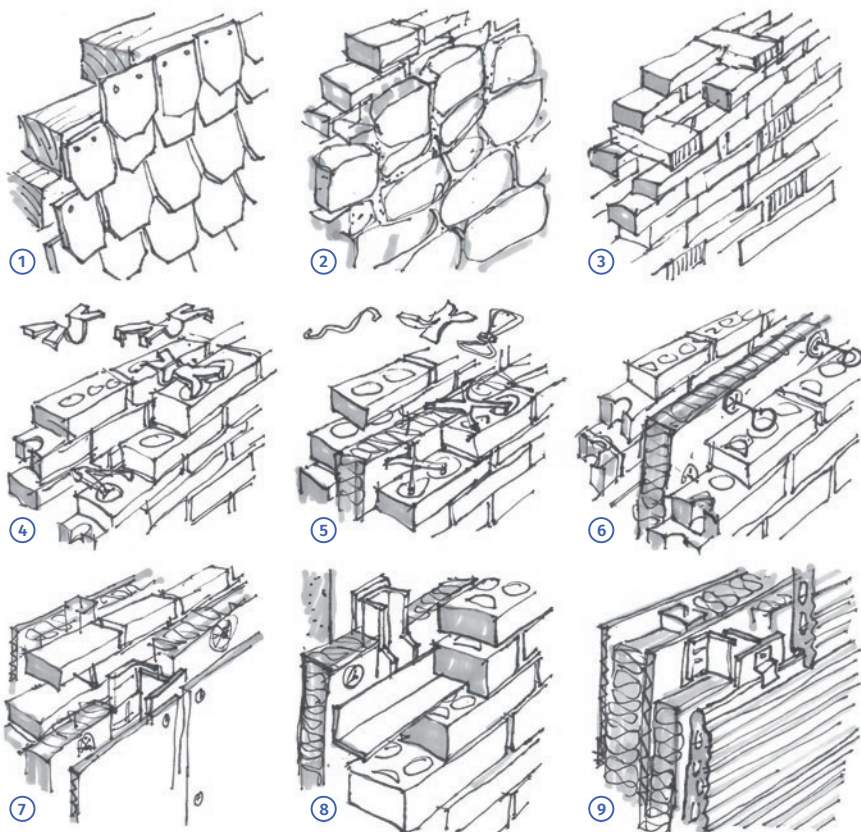
## 1.2 HISTORIA

El origen del sistema de fachada ventilada se remonta aproximadamente a los años 60 en los países nórdicos, donde surge la necesidad de proteger sus construcciones de la nieve, la lluvia y la humedad. Como solución se plantea un sistema de doble piel, formado por dos hojas de cerramiento separadas por una cámara. Esta medida permite absorber la humedad de la lluvia ligera y a su vez bloquear la entrada de lluvia fuerte a la segunda hoja. La cámara permite la circulación de un flujo de aire, lo que facilita el secado de la hoja exterior. Este sistema ha ido evolucionando hasta la fachada ventilada que conocemos hoy en día, es decir, una fachada colgada cuyo sistema permite diversas soluciones.

### CROQUIS N.º 7

Esquemas de la evolución de la fachada ventilada a lo largo del tiempo.

1. Cerramiento de madera con lajas de pizarra.
2. Muro doble de mampostería y obra de fábrica.
3. Muro de doble hoja de obra de fábrica con trabas de ladrillo.
4. Muro de obra de fábrica con trabas de latón o hierro.
5. Muro de doble hoja con aislamiento en la cavidad.
6. Fachada de doble hoja de cerámica con aislamiento y canal de aire.
7. Fachada ventilada con hoja exterior ligera.
8. Fachada ventilada con hoja exterior de ladrillo.
9. Fachada ventilada con hoja interior y exterior ligera.



**Figura 1a. Detalle de  
fachada en el centro  
histórico de Detmold.  
Alemania.**



La fachada ventilada, es una solución técnica compleja que tiene sus antecedentes en la construcción de arquitectura vernácula. Durante siglos ha estado configurada para dar respuesta, desde los cerramientos, a las exigencias derivadas del clima, ya sea la radiación solar, el agua, nieve o viento, que comprometen tanto las prestaciones de la fachada como la durabilidad de la misma.

En sus orígenes la piedra “masiva” combinaba las propiedades estructurales y de acabado noble de las fachadas, combinando la solidez y la durabilidad.

Antes de la separación de las pieles y de la aparición del canal de aire, se pueden encontrar numerosas construcciones que mediante un revestimiento ligero de madera, cerámica o piedra protegían el muro portante.

Posteriormente con la aparición de materiales industrializados como el ladrillo, la solución se plantea como un sistema de doble piel en el que se combina una piel exterior construida con los más diversos materiales resistentes a la intemperie, como pueden ser tablas de madera, lajas de piedra o piezas de cerámica, dispuestas de tal forma que protegen la hoja interior, que es normalmente de un material mucho más sensible a la humedad y en consecuencia fácilmente degradable. La cámara permite la circulación de un flujo de aire que además de facilitar un buen comportamiento térmico facilita el secado de la hoja exterior y en su caso de la interior.

La fachada ventilada se introdujo por primera vez en el siglo XIX desde principios del período victoriano como una alternativa a un cerramiento masivo de una sola hoja simple. Los arquitectos y constructores comenzaron a experimentar con las dimensiones de las dos hojas del cerramiento y de la cámara. En la mayoría de publicaciones de modelos para casas incluían ejemplos de configuraciones de fachada ventilada, con la hoja interior y la exterior, construidas de piedra o de ladrillo, es decir de un material “pesado” que se trababa mediante piezas de acero, de latón o del mismo ladrillo.

La “fachada ventilada” tiene múltiples acepciones tales como “drywall”, “cavity wall”, “rainscreen wall”, “bardage rapporté”, o bien “hinterlüftete fassade” según el país donde se construye, denominación que define conceptualmente su funcionamiento.

En los principios del desarrollo de esta técnica se debatió acerca de las ventajas y las mejoras que suponía la ventilación de la cámara y la incorporación del aislamiento ocupando de modo completo o parcialmente el espacio entre las dos pieles.



El uso se fue generalizando en la década de 1920 y creciendo en popularidad a partir de los años 50-60, con la incorporación de materiales ligeros y con una tecnificación progresiva.

Durante todo este tiempo se han mejorado notablemente las prestaciones, la durabilidad y la fiabilidad de cada uno de los componentes y por tanto, de la calidad del conjunto.

Es a partir de los años 90 con la creciente necesidad de la rehabilitación funcional o de la imagen del parque de fachadas de todo tipo de edificios, cuando la fachada ventilada y ligera se impone como concepto de fachada y va progresando de manera clara hasta convertirse en una técnica convencional amparada por múltiples experiencias de éxito.

La evolución de la técnica es evidente considerando las permutaciones de los tres componentes fundamentales, ligereza y esbeltez de la hoja exterior, ancho del canal de aire e inclusión del aislamiento y la materialidad de la hoja interior pesada convencional o ligera y de construcción seca.

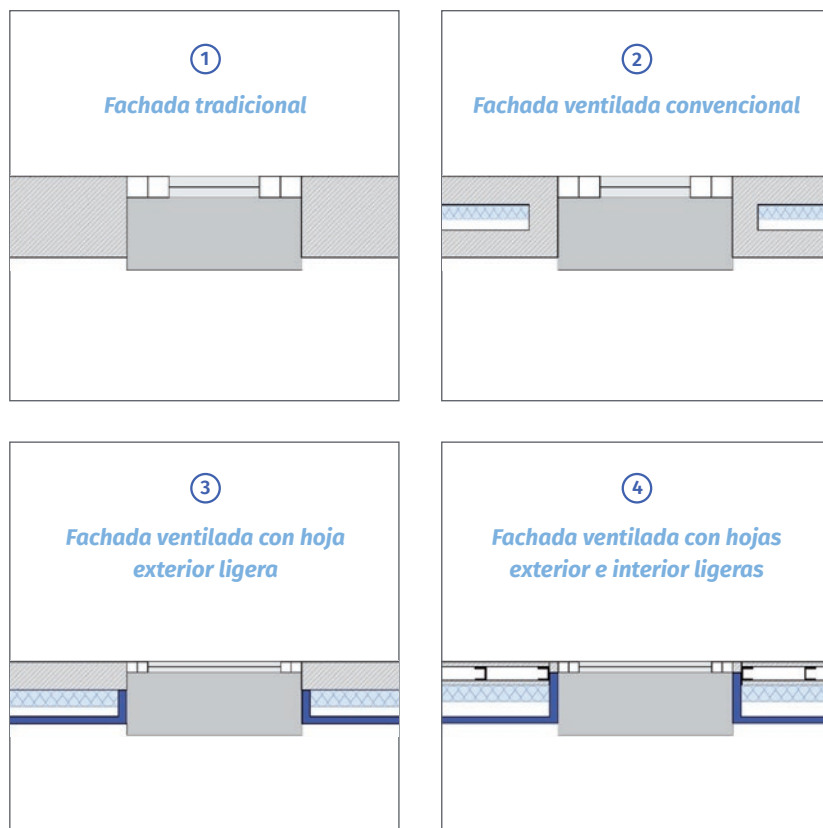
La piel exterior de la fachada ventilada en su perfeccionamiento no ha abandonado los materiales clásicos como son la cerámica y la piedra, eso sí con nuevas dimensiones y sistemas de fijación. El ladrillo clásico actualmente se soporta con ménsulas de descarga y refuerzos estructurales de acero inoxidable y sigue uniendo sus piezas con mortero, esta solución se aplica habitualmente en el Reino Unido y centro Europa. Por otra parte, en las placas de piedra natural, hoy día con el uso del control numérico para mecanizados más precisos, se permite la fijación y soporte por puntos o ranuras y por tanto, es común el uso de piezas de gran formato y esbeltez con espesores de tan solo 20 o 30 mm según el sistema.

En paralelo a la evolución de las técnicas de fijación, anclaje y soporte a través de la estructura del edificio, se ha multiplicado el uso de materiales más sofisticados y de última generación como los ultra-compactos, los cerámicos y los compuestos de nido de abeja con piedra natural, materiales que permiten con una mayor ligereza, llevar los formatos al límite de lo razonablemente aplicable con garantías.

La cámara entre pieles era originalmente mucho más pequeña que en la actualidad y no incorporaba el aislamiento, posteriormente el aislamiento rellenaba todo el canal y en la evolución se dejó libre el canal de aire. El aislamiento en las fachadas ventiladas se introdujo durante la década de los 70 y se convirtió en obligatorio en la década de 1990 en todos los edificios de nueva construcción del Reino Unido. Actualmente con el desarrollo de aislamientos de alta densidad y mejores prestaciones térmicas y acústicas se consiguen notables mejoras, sin embargo, las recientes normativas obligan a utilizar hasta 200 mm de aislamiento, de modo que se ha perdido uno de los objetivos iniciales, la esbeltez del cerramiento y por otra parte se han reforzado los sistemas de soporte, por la excentricidad entre la placa exterior y el muro de soporte.

Por su parte la hoja interior también puede resolverse con gran cantidad de opciones ya sea portante o no, construida con hormigón in-situ, ladrillo, bloque cerámico o de hormigón o bien con construcción seca, mediante sistemas de perfiles de acero, placas y de fibras cementosas para la intemperie.

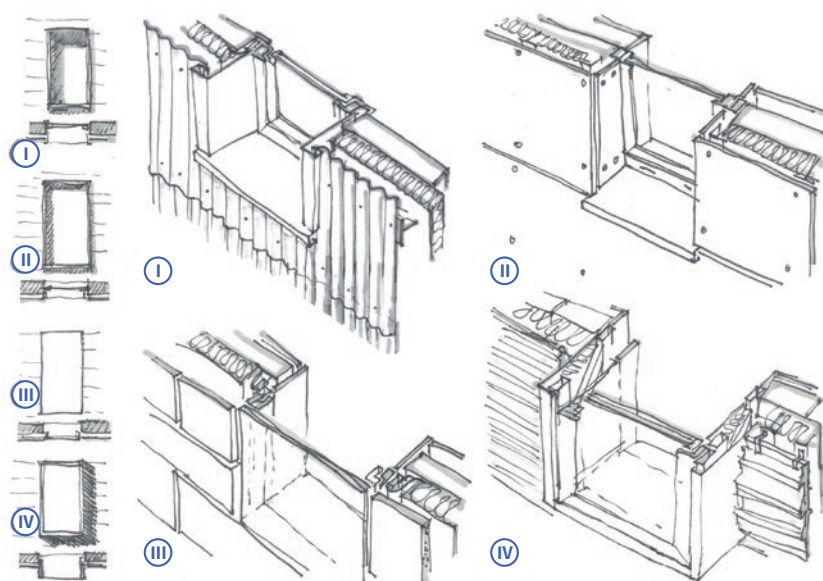
El perfeccionamiento constante de la fachada ventilada en su conjunto y de cada uno de los productos que la componen, ofrece a los arquitectos un abanico de posibilidades de composición casi ilimitadas y el presente demanda ya no solo originalidad, sino aumentar la fiabilidad.



**Figura 2.**

**Descripción evolutiva de la fachada ventilada.**

En la figura 2 se muestra de manera esquemática la evolución de la fachada. En este manual se explica la fachada ventilada con hoja exterior ligera (3 y 4), mismo concepto que para la fachada ventilada con hoja exterior pesada.



**CROQUIS N°8**

**El hueco. Posición**

**relativa de la ventana**

**respecto del plano**

**exterior de la fachada.**

**En el interior, en el plano**

**intermedio, enrasado en**

**el plano exterior de la**

**fachada y en voladizo.**



### 1.3 CLASIFICACIÓN

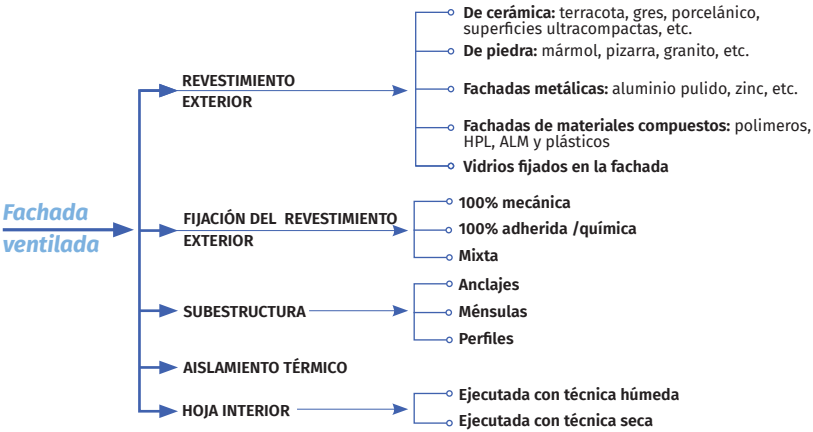


Figura 3.  
Clasificación de fachadas ventiladas.

La siguiente tabla muestra una correlación entre materiales de revestimiento y los sistemas de perfilería y fijaciones (vistas u ocultas) que les son de aplicación. Se trata de una tabla orientativa y no exclusiva, que no está vinculada a lo que está estrictamente contemplado a nivel de homologaciones o normativa de aplicación.

La tabla responde, por tanto, a una orientación sobre las soluciones comerciales más habituales en el mercado a día de hoy. Teniendo en cuenta la rápida evolución del sector y la infinidad de sistemas existentes, es muy probable que, aun no siendo ampliamente extendidas, se encuentren excepciones a lo dispuesto a continuación.

| MATERIAL DE REVESTIMIENTO                                             | SISTEMAS DE FACHADA VENTILADA                |                                          |                               |                |                           |                          |                        |                                                     |                                                         |                                                    |                                              |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                                                                       | SIN PERFILERÍA (ANCLAJES PUNTUALES DIRECTOS) | CON PERFILERÍA (VERTICAL Y/U HORIZONTAL) | SISTEMA DE FIJACIÓN DEL PANEL |                |                           |                          |                        |                                                     |                                                         |                                                    |                                              |
|                                                                       |                                              |                                          | VISTOS                        |                | OCULTOS                   |                          |                        |                                                     |                                                         |                                                    |                                              |
|                                                                       |                                              |                                          | TORNILLO/ REMACHE             | GRAPAS VISTAS* | GRAPAS OCULTAS EN RANURA* | PERFIL CORRIDO EN RANURA | SISTEMAS ADHESIVADOS** | SISTEMA DE BULONES PARA TALADROS EN CANTOS DE PANEL | SISTEMA DE BULONES PARA BANDejas DE CUELQUE MECANIZADAS | SISTEMA DE PERFILES MACHIHEMBROSADOS PARA BANDejas | SISTEMA DE ABRAZADERAS Y PERFILES DE CUELQUE |
| Gres porcelánico prensado/ superficies ultracompactas                 |                                              | •                                        |                               | •              | •                         | •                        | •                      |                                                     |                                                         |                                                    | •                                            |
| Terracotas extruidas / porcelánicos extruidos                         |                                              | •                                        |                               |                | •                         | •                        |                        |                                                     |                                                         |                                                    |                                              |
| Piedra natural                                                        | •                                            | •                                        |                               | •              | •                         | •                        |                        | •                                                   |                                                         |                                                    | •                                            |
| Chapas metálicas y paneles composite de aluminio planos               |                                              | •                                        | •                             |                |                           |                          | •                      |                                                     |                                                         |                                                    |                                              |
| Bandejas metálicas conformadas                                        |                                              | •                                        |                               |                |                           |                          |                        |                                                     | •                                                       | •                                                  |                                              |
| Paneles cementosos revestidos in situ                                 |                                              | •                                        | •***                          |                |                           |                          |                        |                                                     |                                                         |                                                    |                                              |
| Paneles de fibrocemento y GRC                                         |                                              | •                                        | •                             |                |                           |                          |                        |                                                     |                                                         |                                                    | •                                            |
| Paneles HPL                                                           |                                              | •                                        | •                             | •              | •                         | •                        | •                      |                                                     |                                                         |                                                    | •                                            |
| Paneles de solid surfaces                                             |                                              | •                                        |                               |                |                           |                          |                        |                                                     |                                                         |                                                    | •                                            |
| Vidrio/paneles fotovoltaicos                                          |                                              | •                                        |                               | •              |                           |                          | •                      |                                                     |                                                         |                                                    |                                              |
| Paneles composite honeycomb (acabados metálicos, piedra, cerámica...) |                                              | •                                        |                               |                |                           |                          |                        |                                                     |                                                         |                                                    | •                                            |
| Placas prefabricadas de lana de roca comprimida                       |                                              | •                                        | •                             |                | •                         |                          | •                      |                                                     |                                                         |                                                    |                                              |

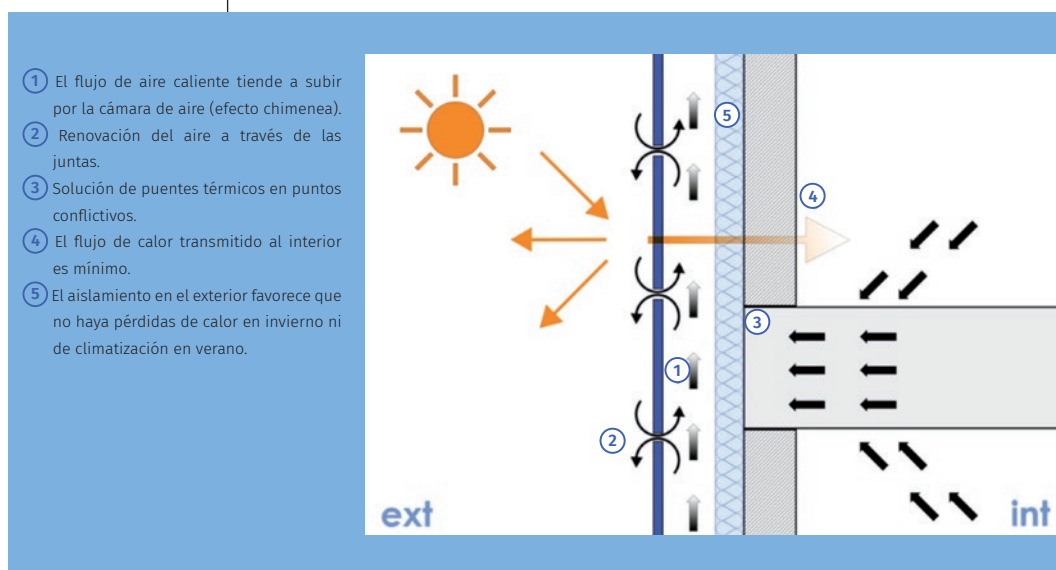
\* Pueden llevar adhesivo para funcionar como fijación mixta mecánica-química  
\*\* Pueden incluir fijación de seguridad vista  
\*\*\* Queda oculto posteriormente con la aplicación del revestimiento

## 1.4 COMPORTAMIENTO

### 1.4.1 Comportamiento térmico

El sistema de fachada ventilada permite que el aislamiento térmico sea continuo, reduciendo los posibles puentes térmicos en puntos conflictivos, como los cantos de forjado. Además, al contar con una cámara de aire, se reducen los problemas por radiación o transmisión térmica directa. Por último, es importante recordar que para que este sistema funcione, éste debe ejecutarse y dimensionarse correctamente.

**Figura 4.**  
**Aislamiento térmico.**



#### > Puentes térmicos:

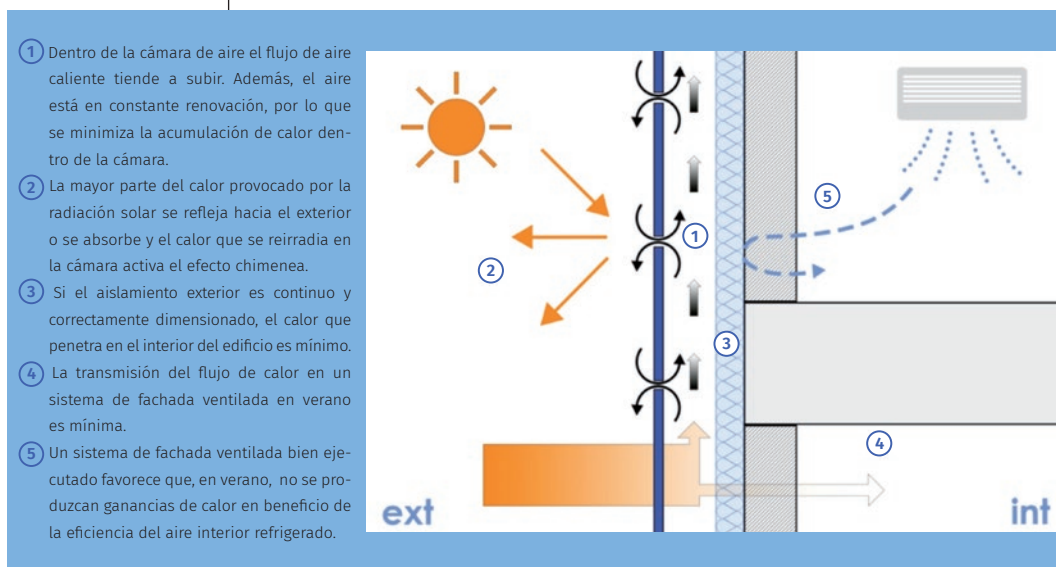
Se reducen los posibles puentes térmicos en los puntos más conflictivos, como los cantos de los forjados y como resultado, se obtienen grandes ventajas de tipo energético, como la continuidad de la barrera térmica.

## > Comportamiento en verano:

Figura 5.

Control térmico en verano.

La mayor parte del calor provocado por la radiación solar se refleja hacia el exterior. El calor que se reirradia hacia la cámara de aire activa el efecto chimenea. Como consecuencia, la absorción de calor por el edificio se reduce notablemente.

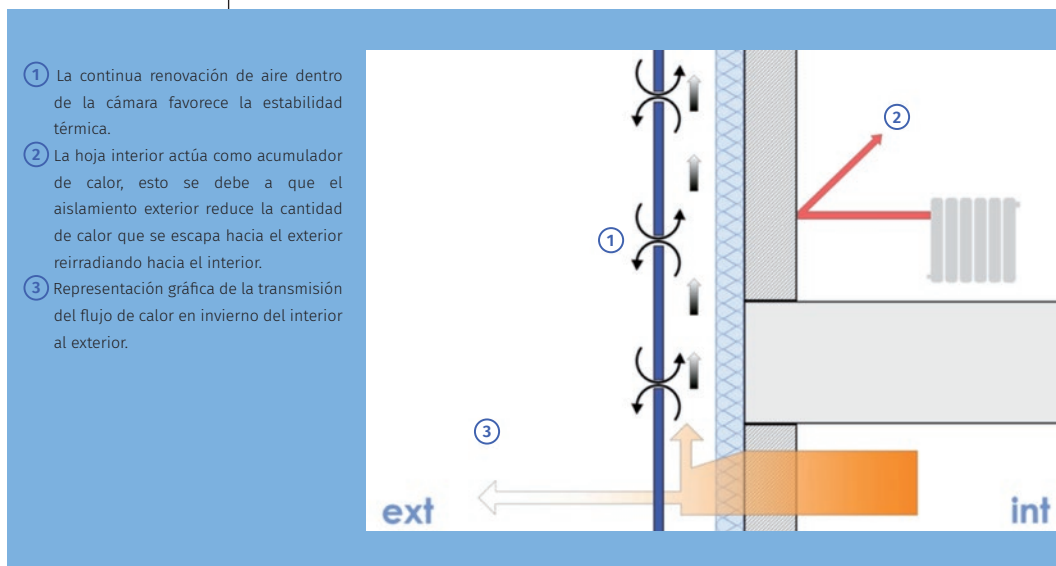


## > Comportamiento en invierno:

Figura 6.

Control térmico en invierno.

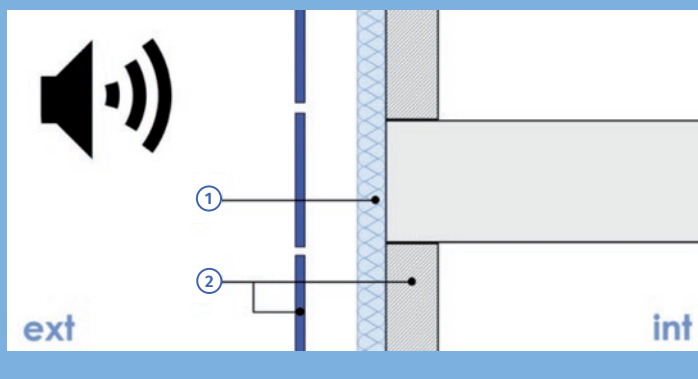
La hoja interior actúa como acumulador de calor interior, ya que el aislamiento exterior impide la salida de calor. El flujo de aire de la cámara de aire favorece la estabilización térmica y disminuye los problemas de condensación.



## 1.4.2 Comportamiento acústico

Figura 7.

Aislamiento acústico.



El sistema de fachada ventilada mejora el aislamiento acústico del conjunto respecto al nivel de aislamiento acústico del muro soporte, dependiendo de las características y espesor de la cámara, del material aislante acústicamente absorbente instalado y de la piel exterior.

Cuando el aislante instalado tiene además propiedades técnicas como aislante acústico, éste ayuda a reducir la transmisión de ruido aéreo de tráfico a través de la parte ciega de la fachada. Además, aislantes como la lana mineral de vidrio o lana mineral de roca, hacen que disminuya la frecuencia de resonancia propia del sistema, desplazando el pico de frecuencia de las ondas estacionarias, lo que hace que se minimice al máximo la posibilidad de que se produzca el efecto tambor.

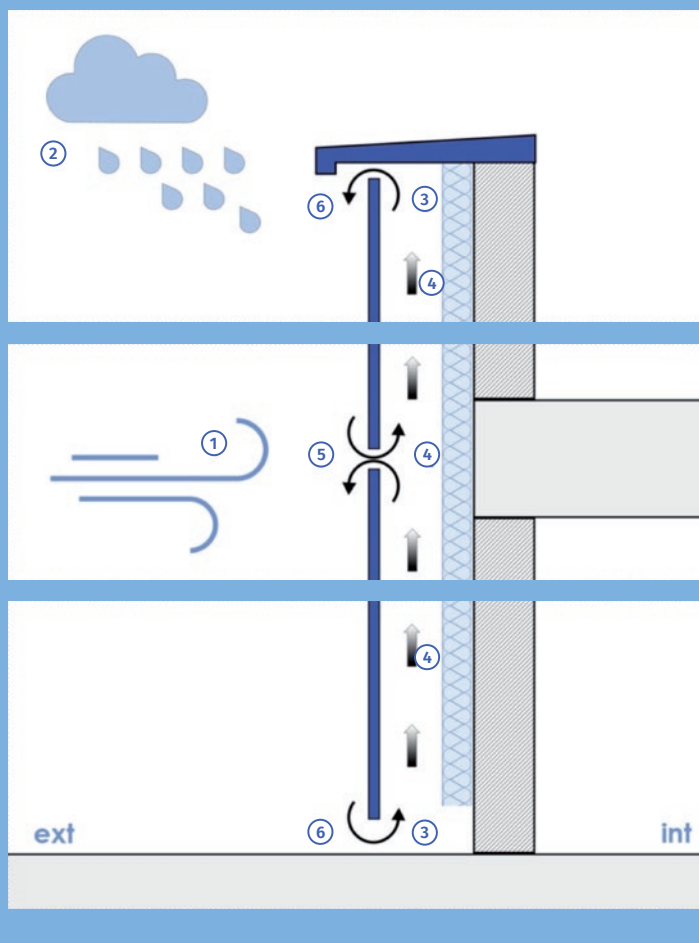
- ① El aislamiento se coloca en toda la superficie de la fachada de manera continua, cubriendo los posibles puentes acústicos (como son los huecos/ventanas,...) y absorbe parte del sonido que le llega del exterior.
- ② No obstante, la presencia de la hoja exterior y la cámara de aire podrían generar resonancias a ciertas frecuencias que podrían afectar negativamente al aislamiento a ruido aéreo procedente del exterior. Este efecto depende mucho del diseño y materiales de la hoja exterior.

En general, la mejora que se consigue por la presencia del aislamiento por el exterior es superior a la posible pérdida por el “efecto tambor”, sin embargo, para una total seguridad, se debe comprobar de forma particularizada para cada sistema mediante las correspondientes pruebas de laboratorio e in situ.

### 1.4.3 Estanqueidad al agua

Figura 8.

Estanqueidad al agua.



La hoja exterior de este sistema funciona como barrera protectora frente a los agentes atmosféricos. También se le llama “RAIN SCREEN”.

- ① Resiste las acciones del viento, protegiendo a la hoja interior y a la estructura soporte.
- ② Limita la penetración del agua de lluvia ligera y bloquea la entrada de la lluvia fuerte a la segunda hoja. En caso de que penetre algo de agua, el flujo de aire de la cámara facilita el secado. La cámara descomprime la presión respecto a la de la junta reduciendo los empujes por esfuerzos horizontales a favor de la gravedad, goteando por el interior de la hoja exterior.
- ③ Flujo continuo de aire entre la lámina exterior y la interior. Esto favorece la disminución de problemas de humedades.
- ④ Flujo de aire por convección térmica. El flujo de aire caliente tiende a subir por la cámara de aire.
- ⑤ Transpiración del edificio. El aire se renueva a través de las juntas de la hoja exterior.
- ⑥ Para que este sistema funcione es importante la correcta elección de materiales y una buena ejecución. Además, el resto de soluciones constructivas que conformen el conjunto del edificio debe favorecer el correcto funcionamiento de la fachada. Se debe proteger correctamente el interior de la cámara de la entrada de agua además de favorecer la correcta ventilación de la fachada, permitiendo la entrada y salida del aire. Los puntos más conflictivos son el arranque de fachada, la culminación y los huecos en fachada.

Desde el punto de vista de la protección frente a la lluvia, la fachada es el componente estructural más propenso a daños. Debido a una exposición constante a las condiciones climáticas, con el tiempo se producen fisuras y daños por humedad.

Según la norma DIN 4108-3, las fachadas trasventiladas pertenecen a la clase de desgaste III y son resistentes a la lluvia. La humedad se elimina rápidamente a través del espacio ventilado entre el aislante y el revestimiento (protección contra la intemperie). La protección contra la lluvia de la fachada trasventilada funciona en dos niveles: el espacio de ventilación funciona como una sala de compensación de presión, lo que garantiza que, en el peor de los casos, la lluvia se drene sobre la parte posterior del revestimiento, protegiendo así el aislamiento térmico de la humedad. Por lo tanto, es posible construir fachadas con cámara ventilada y juntas abiertas sin disminuir la protección contra la lluvia.

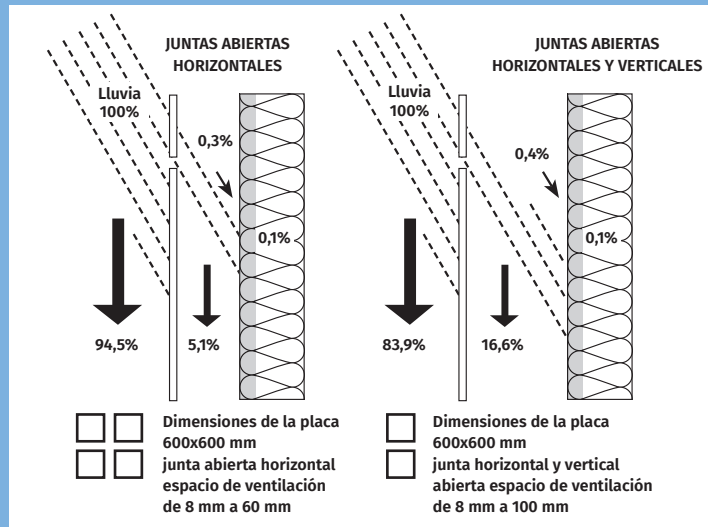


Figura 9.

Protección frente a la lluvia.

#### 1.4.4 Comportamiento higrotérmico

Como se ha visto anteriormente, en una fachada ventilada el aire de la cámara está en constante renovación, lo que da lugar a una mejora del comportamiento higrotérmico de la fachada:

##### > Control de la humedad

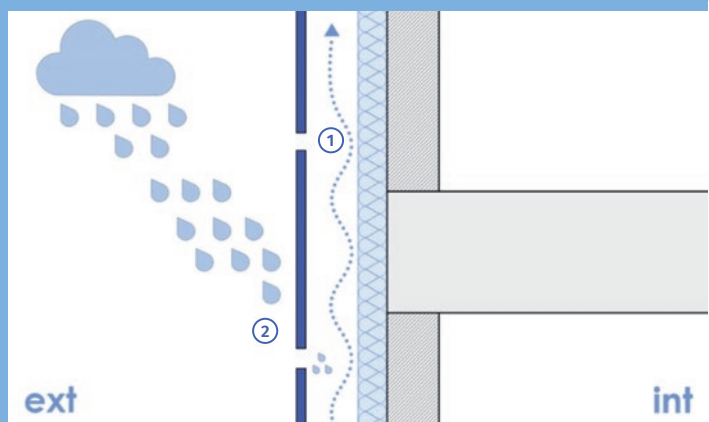


Figura 10.

Control de la humedad.

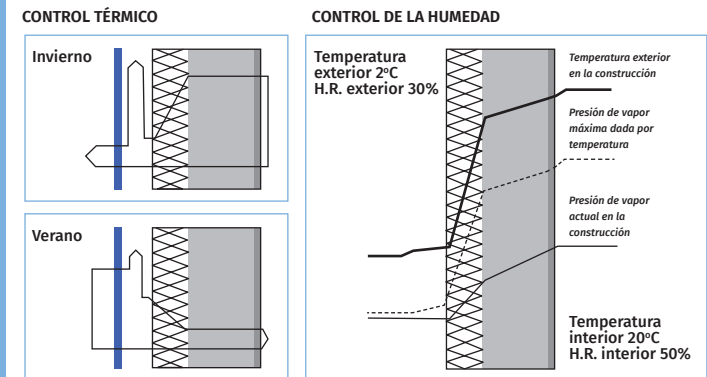


La ventilación de la fachada disminuye los problemas de condensación y de humedades.

- ① El flujo de aire que circula en el interior de la cámara de aire favorece la difusión del vapor de agua que se transmite desde el interior.
- ② La hoja exterior bloquea la entrada de lluvia a la hoja interior. El aire que circula en el interior de la fachada facilita el secado de la hoja exterior, lo que favorece que no se produzcan problemas de humedades o de condensación.

## > Control higrotérmico

**Figura 11.**  
*La fachada ventilada es una barrera térmica en invierno y verano que reduce las pérdidas energéticas por calefacción o refrigeración.*

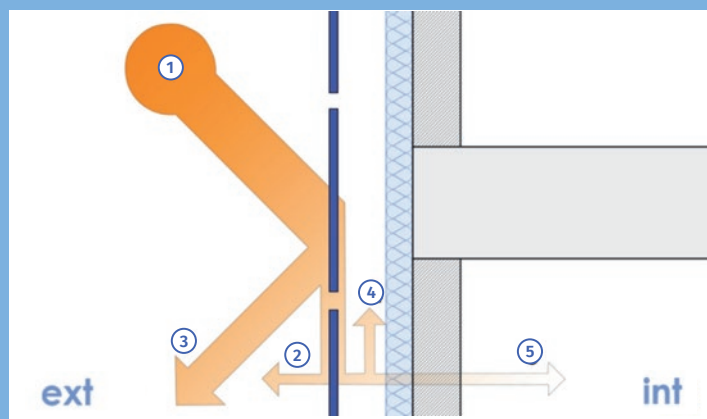


## 1.4.5 Protección solar

La piel exterior del edificio disminuye las radiaciones directas, protegiendo a la hoja interior y a la estructura soporte. La ventilación de la cámara permite evacuar el sobrecalentamiento de la piel del edificio provocado por la radiación solar. De esta forma se minimizan las ganancias solares en régimen de verano. Además, el aislamiento térmico exterior reduce la cantidad de flujo de calor que penetra hacia el interior.

**Figura 12.**  
*Protección solar.*

- ① Radiación solar incidente.
- ② Radiación solar disipada al exterior.
- ③ Radiación solar reflejada.
- ④ Flujo de calor evacuado por la ventilación de la cámara de aire.
- ⑤ Flujo de calor transmitido al interior (mínimo).



## 1.4.6 Comportamiento frente al fuego

### > **Comportamiento frente al fuego general de fachadas. Principios generales**

La propagación del fuego a través de una fachada se considera una de las vías más rápidas de desarrollo de un incendio y puede, además de causar daños en la propia fachada, afectar a otros edificios y elementos cercanos al foco del incendio.

La propia fachada, según su tipología y materiales que la componen, puede convertirse en una vía de transmisión del fuego a espacios adyacentes al foco inicial, ya que se dan algunos factores que favorecen su desarrollo, tales como la verticalidad de la superficie, su configuración geométrica, la presencia de oxígeno ilimitado en el exterior, la acción del viento, etc.

Una posible situación de incendio en el que el fuego alcanza la fachada podría estar generado por alguna de las siguientes situaciones:

- > Fuego originado en espacios exteriores circundantes (edificios cercanos, fuego forestal, etc.), que haya afectado a la fachada por convección y presencia de brasas calientes.
- > Incendio procedente de un fuego exterior y propagado por fachada debido a la afección directa de las llamas del objeto ardiendo (por ejemplo, un contenedor o un coche).
- > Fuego proveniente de un incendio interior completamente desarrollado, que haya emergido por un hueco de fachada (puerta, ventana, rejilla o conducto de ventilación, etc.).

Una vez el fuego alcance la fachada, existen varios mecanismos que provocan que el incendio se expanda por el edificio a través su envolvente exterior. Los principales mecanismos de propagación del incendio por fachada son los siguientes:

#### **a. Propagación a través de huecos de fachada (leap frog)**

La primera forma de propagación se denomina efecto salto de rana (leap frog). El fuego interior emerge por una ventana y se propaga a las plantas superiores a través de los huecos de fachada, debido a la rotura del vidrio de las ventanas, tras alcanzarse en la estancia interior una situación de flashover (combustión súbita generalizada).

El flujo de calor proyectado es suficiente para provocar la rotura de las ventanas de la planta superior y penetrar en ésta, dando lugar a un fuego secundario y su consecuente propagación ascendente, alcanzando las plantas superiores de forma sucesiva.

Para limitar la propagación del fuego a través de huecos de fachada es necesario disponer de un elemento vertical y horizontal de determinadas dimensiones (un parapeto o un muro entre huecos), con una mínima clasificación, en minutos, de integridad y aislamiento (EI + minutos), dando continuidad en la fachada a la sectorización interna del edificio. La protección del perímetro de las ventanas con barreras que garanticen su integridad y aislamiento durante un periodo de tiempo mínimo también puede contribuir a ralentizar la penetración del fuego en plantas contiguas.

#### **b. Propagación interior por espacios libres entre forjado y fachada**

La segunda vía de propagación se da en una situación de incendio en el que el fuego interior se propaga a través del posible espacio existente en el encuentro entre el forjado y la fachada, al no tener esta unión la integridad y el aislamiento necesarios para evitar el paso de llamas y gases calientes.

Esta forma de propagación es habitual en aquellos sistemas de fachada auto-portantes, anclados a la estructura principal del edificio y construidos de forma continua frente a los forjados estructurales, tales como fachadas ligeras y muros cortina.

Durante la fase de total desarrollo de un incendio, las llamas o los gases pueden colarse por cualquier fisura existente en los cerramientos que confinan los espacios interiores. Existe un riesgo importante de afectación del fuego a la integridad de la propia fachada ligera, ya que este tipo de fachada se aguanta habitualmente mediante subestructuras de aluminio o acero (las cuales podrían presentar un débil comportamiento mecánico frente a elevadas temperaturas) pudiendo llegar a ocasionar incluso el colapso de la fachada (como sucedió, por ejemplo, en el incendio del edificio Windsor de Madrid en 2005).

Con el fin de evitar en la medida de lo posible este tipo de propagación, la unión entre la fachada y el forjado debe estar dotada de una mínima integridad y aislamiento, en minutos, en todo su perímetro (EI + minutos), permitiendo una adecuada compartimentación de los espacios interiores existentes en dos plantas consecutivas. Los falsos techos con una determinada resistencia al fuego pueden ayudar a frenar la propagación del incendio en este encuentro entre forjado y fachada.

#### ***c. Propagación exterior a través de material combustible instalado en la fachada***

La tercera vía de propagación se produce a través de materiales combustibles instalados en fachadas de cualquier tipología, especialmente en las capas internas y externas, así como en contacto con cámaras de aire, donde el fuego puede alimentarse con oxígeno de forma continuada. Los materiales instalados en capas intermedias, inicialmente protegidos por revestimientos más externos del cerramiento (aislamientos térmicos, membranas impermeables, sellantes, etc.), también pueden verse afectados en fases avanzadas del incendio debido al desprendimiento y descomposición de las capas que inicialmente los protegían, por lo que también pueden influir en el desarrollo y propagación del fuego.

Si los materiales instalados son combustibles aumenta significativamente la virulencia del incendio. Además, se pueden generar fuegos secundarios en plantas inferiores al foco de incendio debido a la caída de partículas y gotas inflamadas, así como gases y humos tóxicos liberados durante el proceso de combustión de los materiales. Como sucedió, por ejemplo, en el caso del incendio de la Torre Grenfell en Reino Unido en 2017. Según los informes elaborados tras el incendio, las llamas ascendieron a través de la cámara, aislada con material combustible, de la planta 4 a la 23 en tan solo 12 minutos.

La prescripción de materiales y componentes pertinentes no combustibles, o de limitada combustibilidad, en una fachada, que presenten una adecuada clasificación de reacción al fuego, según DB SI (CTE), puede contribuir a un comportamiento frente al fuego aceptable del sistema completo de fachada.

#### ***d. Propagación interior por cámaras no estancas***

La cuarta vía de propagación es especialmente característica en las fachadas ventiladas, en las que puede llegar a constituir la vía más rápida de propagación de un incendio por la envolvente exterior.

En las cámaras verticales se genera una corriente de aire ascendente al elevarse el flujo de aire por convección térmica. Debido a la sección reducida y altura elevada de la cámara, se alcanza una situación de tiro también conocida como “efecto chimenea”. Este efecto, que garantiza el buen comportamiento higrotérmico a causa

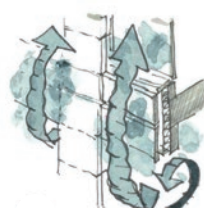
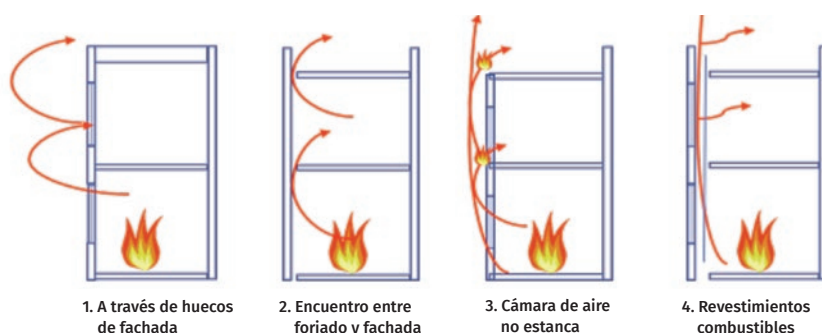
de la circulación natural de aire por el interior de la cámara, puede convertirse en un factor crítico en una situación de incendio al favorecer su desarrollo por este espacio oculto tras el revestimiento exterior de la fachada. También se dio esta situación en el incendio de la Torre Grenfell en 2017.

Mediante este proceso el fuego se propaga por la cámara de aire no estanca existente entre el revestimiento exterior, que presenta aberturas distribuidas a lo largo de la fachada permitiendo una continua entrada de aire (y, por tanto, de oxígeno) en su interior, y el aislamiento térmico o muro interior de una fachada. En esta situación, un aislamiento combustible contribuye significativamente al desarrollo del incendio.

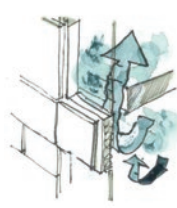
Con el objetivo de frenar esta vía de propagación de las llamas en el interior de cámaras, se utilizan barreras que ofrecen integridad y aislamiento (EI + minutos) en caso de incendio. En el apartado “2.4.2 Sectorización” se definen de forma detallada los tipos de sectorización que pueden realizarse en cámaras de aire ventiladas.

**Figura 13.**

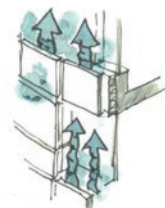
**Propagación del fuego a través de la fachada.**



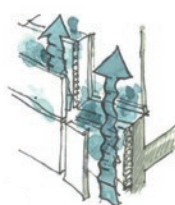
**A. Hueco a hueco por exterior**



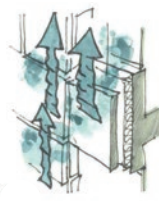
**B. Discontinuidad forjado/fachada**



**C. Canal de aire**



**D. Combustión de aislamiento**



**E. Combustión de componentes fachada**



**F. Deformación de componentes fachada**

**CROQUIS Nº9**

**Esquemas de la progresión del fuego y el humo en la fachada ventilada.**

Las formas de propagación citadas en el apartado anterior han de considerarse y comprenderse de manera conjunta, con el objetivo de establecer medidas para controlar la propagación de un incendio por la fachada. En el caso de las fachadas ventiladas, las cuatro formas de propagación, en menor o mayor medida, pueden tener repercusión en el desarrollo de un incendio a lo largo de las mismas, siendo especialmente relevante la propagación por cámaras no estancas.

En una hipotética situación de incendio inicial post-flashover en el interior del edificio (ver figura 13), las llamas que emergen por la ventana inciden directamente

contra el remate de dintel del sistema de fachada. En este punto, las llamas y los gases calientes entran en contacto con el revestimiento exterior de la fachada, así como con sus capas interiores, una vez que hayan penetrado a través de este remate de dintel.

Cuando las llamas se introducen en el interior de la cámara, éstas pueden llegar a alcanzar alturas de hasta 5 a 10 veces superiores a la altura inicial de la llama (cuando ésta emerge por la ventana en una situación post-flashover), independientemente de los materiales instalados en la fachada (según el documento BR 135 Fire performance of external thermal insulation for walls of multistorey buildings, 3rd Edition, publicado por BRE Building Research Establishment británico).

Las juntas entre los paneles exteriores de fachada también pueden constituir un punto crítico de entrada de llamas y gases al interior de la cámara ventilada, permitiendo a su vez la entrada de oxígeno a dicha cámara y pudiendo incrementar la intensidad de las llamas alojadas tras el revestimiento exterior.

La combustibilidad de los materiales instalados en fachada, especialmente en el revestimiento exterior y el aislamiento, contribuye a que el incendio se propague con menor o mayor rapidez.

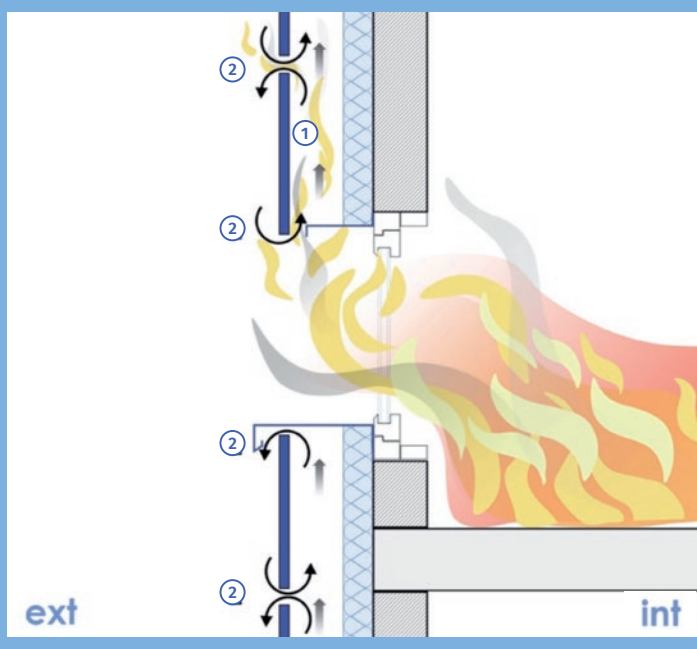
Por otro lado, los remates de alféizar bajo las ventanas, así como los remates laterales junto a las jambas, también pueden ser críticos para frenar la entrada de las llamas en el interior de espacios interiores adyacentes, horizontales y verticales, a través de los huecos de la fachada.

En el caso de fachadas ventiladas en los que la hoja interior está constituida por un entramado ligero, se debe prestar especial atención a la integridad y aislamiento (EI) que ofrezca el parapeto o muro existente entre dos ventanas consecutivas. Además, si el sistema completo de fachada trascurre por delante de los forjados del edificio, el encuentro entre muro y forjado debe garantizar los valores mínimos de integridad y aislamiento en minutos (EI + minutos) exigidos por la normativa aplicable.

**Figura 14.**

**Comportamiento de la  
fachada ventilada frente  
al fuego.**

- ① Flujo de aire por convección térmica: el flujo de aire caliente tiende a subir por la cámara de aire por el llamado efecto chimenea.
- ② Transpiración del edificio: el aire se renueva a través de las juntas. Estos puntos son críticos ya que favorecen la propagación del fuego.



### 1.4.7 Protección térmica frente al efecto del viento

Como indica el CTE DB HS1 la fachada ventilada además de una solución que presenta una “muy alta resistencia a la filtración del agua” también se considera una solución de máximo grado de impermeabilidad en zonas de mayor exposición al viento y a la lluvia.

La temperatura exterior en combinación con el viento se percibe como una temperatura inferior. Por ejemplo, si la velocidad del viento es de 30 km/h y la temperatura del aire es 10 °C se percibe como una temperatura equivalente a 6,6 °C.

El edificio pierde energía más rápidamente ante la exposición del viento, la fachada ventilada permite reducir esa pérdida.



**Figura 15.**

*La fachada ventilada, como en una parada de autobús, actúa como una barrera frente al viento.*

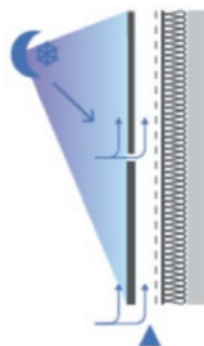
### 1.4.8 Protección al intercambio infrarrojo con frío nocturno

El cielo nocturno despejado es una superficie fría, la fachada ventilada actúa como barrera al frío nocturno. Cuanto más expuesto esté el cerramiento al cielo nocturno, más frío estará y aumentará la pérdida energética. De la misma forma sucede con el sol ya que la piel exterior es una barrera de radiación.



**Figura 16.**

*Protección al intercambio infrarrojo con el frío nocturno*



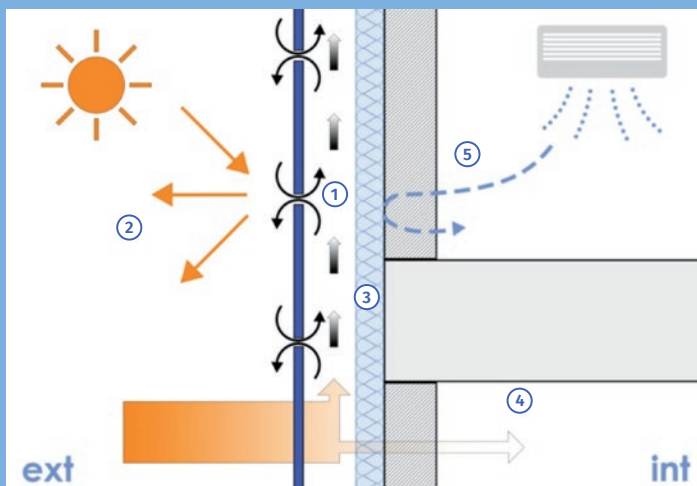


## 1.4.9 Protección de la estructura del edificio al estrés térmico

**Figura 17.** La protección térmica global de la fachada ventilada reduce el estrés térmico de las partes internas del cerramiento, como la pared portante o los frentes de forjado, y, por tanto, reduce las patologías más frecuentes de la fachada a largo plazo. Debido a ello, la fachada ventilada aparece como una solución óptima en la rehabilitación ya que la piel exterior es una barrera de radiación.

**Protección de la estructura del edificio al estrés térmico.**

- ① Dentro de la cámara de aire el flujo de aire caliente tiende a subir. Además, el aire está en constante renovación, por lo que se evita la acumulación de calor dentro de la cámara.
- ② La mayor parte del calor provocado por la radiación solar se refleja hacia el exterior y el calor que se filtra en la cámara activa el efecto chimenea.
- ③ Si el aislamiento exterior está bien ejecutado, el calor que penetra en el interior del edificio es prácticamente nulo.
- ④ La transmisión del flujo de calor en un sistema de fachada ventilada en verano es prácticamente nula.
- ⑤ Un sistema de fachada ventilada bien ejecutado favorece que no se produzcan pérdidas de aire refrigerado en verano.



## 1.4.10 Otras ventajas

- Disminuye los costes de acondicionamiento, mantenimiento y limpieza.
- Facilita la colocación en obra, mantenimiento y sustitución de elementos.
- Permite mayor variedad en el diseño y la utilización de materiales.
- Este sistema facilita la rehabilitación de edificios y los proyectos de remodelación.
- El tiempo de ejecución de este sistema es mucho menor que el de una fachada tradicional.

## 1.4.11 Otros aspectos a considerar

- De las cuatro vías de propagación de un incendio en fachadas, la que se produce a través de la cámara de una fachada ventilada es la más desfavorable de todas.
- Las subestructuras que soportan el acabado exterior suelen ser complejas y necesitan de estudio y dimensionado, ejecución y supervisión por parte de personal especializado
- Es necesario garantizar el buen estado del muro sobre el que se coloque la fachada ventilada. Especialmente en rehabilitación.
- En caso de utilizarse materiales de baja calidad, existe la posibilidad de deterioro de los elementos metálicos por las atmósferas agresivas de las ciudades y en las zonas de litoral.

# COMPONENTES DE LA FACHADA VENTILADA

2

## 2.1 SUBESTRUCTURA

Se trata del elemento constructivo que va fijado a la estructura soporte y que a su vez sujeta el revestimiento exterior. Los elementos que la componen son los encargados de transmitir las cargas correspondientes de la fachada ventilada a la estructura portante.

Cada fabricante tiene sus propios sistemas, pero se pueden clasificar en dos tipos:

### > **Subestructura formada por elementos puntuales:**

Se fijan directamente a la estructura portante, mediante un taco químico o mecánico. Estos anclajes se componen de tres piezas: tornillos roscados, grapa y casquillo de nylon. Por su parte, la hoja exterior puede ir sujeta por unos de estos métodos:

- > **Oculto:** es el más común, se hace una ranura en el canto de la placa y se introduce por una lengüeta.
- > **Visto:** el enganche abraza al canto de la placa.
- > **Pivote:** se taladra en canto del panel y se introduce un pasador.

### > **Subestructura formada por perfilería:**

Está formado por perfiles verticales y horizontales sobre los que se instalan los paneles del revestimiento exterior. La perfilería suele ser de aluminio o acero galvanizado, pero puede ser de otros materiales como madera.

Los rastreles usualmente son de madera, aluminio anodizado o el mismo material que el panel (en el caso de paneles decorativos de interiores). En función del material, hay que tener una serie de cuestiones en cuenta:

- > **Madera:** listones de pino, abeto, meranti, etc., cepillados por los cuatro lados. Las maderas deben ser lo suficientemente durables para la construcción. El contenido máximo de humedad de la madera debe ser del 18% (secado clase II, aire seco). Puede contener conservantes, basados en sales de zinc y cobre de acuerdo con la norma EN 3251 (sales Wolman y Celcure, por ejemplo).
- > **Metal:** aluminio (anodizado y en bruto) o acero (galvanizado) planos, secos y lisos. Deben contar con protección contra la corrosión, conforme a la norma EN 6702. Los metales esmaltados son adecuados, no obstante, pueden requerir diferentes instrucciones de uso. Dada la diversidad de proveedores de rastreles, se recomienda siempre efectuar una prueba de adherencia para sistemas químicos o híbridos.

Las distancias entre rastreles son las indicadas por el fabricante del panel basándose en el espesor del mismo, en caso de que se superen los 65 cm, se debe consultar con el fabricante del sistema de fijación.

### 2.1.1 Anclajes a material base

Los anclajes son los elementos constructivos que conectan la fachada ventilada con el cerramiento y estructura portante del edificio. Estos elementos posibilitan la transmisión de las cargas correspondientes de la fachada ventilada al material

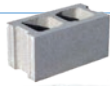
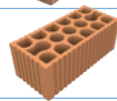
base. Los anclajes deben instalarse correctamente, previo dimensionado de los mismos, teniendo en cuenta una serie de consideraciones para su correcto funcionamiento:

- > Elección de la correcta tipología de anclaje en función del tipo de material base (sustrato).
- > La influencia entre anclajes o su distancia al borde.
- > El espesor mínimo del material base donde se va a instalar el anclaje.
- > La consideración de anclaje múltiple o no, según proceda.
- > Contemplando el fallo del acero y del propio material base.
- > Contemplando el brazo de palanca que se produce debido a la existencia de un revestimiento no resistente sobre el material base resistente.
- > La carga axial tomando los valores especificados en las tablas de la European Technical Assessment (ETA) del anclaje para los materiales base correspondientes en caso de que estén contemplados en dichas tablas o bien tomando los valores mediante la realización de ensayos de tracción siguiendo las recomendaciones de la European Technical Approval Guidelines (ETAG) 020/029<sup>(2)</sup> en caso de no existir valores de carga para un material base concreto en dichas tablas.
- > Contemplando la excentricidad que se produce en la carga al no encontrarse los anclajes en la misma línea de acción que los tornillos de fijación de los perfiles a las ménsulas.

La elección del tipo de anclaje está asociada a la capacidad de carga del material base al que se fija la subestructura.

**Figura 18.**

**Resistencia a la tracción  
de los anclajes en los  
materiales base.**

|                                |                                                                                      |                                                  |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Bloque hueco de hormigón       |   | RESISTENCIA A TRACCIÓN DE LOS ANCLAJES<br>↑<br>↓ |
| Bloque hormigón aireado        |  |                                                  |
| Termoarcilla                   |   |                                                  |
| Ladrillo hueco doble/Tabicón   |   |                                                  |
| Ladrillo perforado/tosco/gero  |  |                                                  |
| Ladrillo cara vista/macizo     |  |                                                  |
| Panel prefabricado de hormigón |  |                                                  |
| Hormigón armado                |  |                                                  |

(2) ETAG 020. Plastic  
Anchors / ETAG 029. Metal  
Injection Anchors for use  
in Masonry.

Los principales materiales base que se encuentran en los edificios son el hormigón, las fábricas de bloques (cerámicos y de hormigón), hormigón aireado, hormigón de baja densidad, tabique seco, etc., los cuales se describen a continuación.

### > **Hormigón:**

El hormigón consiste en una mezcla de cemento, áridos y agua, con presencia en ocasiones de aditivos, la cual endurece durante su curado.

A la hora de seleccionar la tipología de anclaje más adecuada para el hormigón, es importante tener en consideración si el hormigón es fisurado o no, sometido a tracción o compresión. Se detalla a continuación.

Existen diferentes situaciones en las que el hormigón debe considerarse fisurado:

> **Incendio:** ante el fuego, el hormigón tiende a desprenderse y generar microfisuras.

> **Carga sísmica:** la resistencia estructural del hormigón ante un terremoto provoca fisuras en casi todas las zonas.

> **Hormigón armado:** el hormigón se caracteriza por presentar una resistencia a la compresión relativamente elevada mientras que la resistencia a la tracción es más baja. Es por eso que se dota al mismo de una armadura de refuerzo que permite absorber estos esfuerzos de tracción, pasando a denominarse hormigón armado. Esta armadura comienza a absorber la carga de tracción en el momento en que el hormigón ya se ha fisurado, y éste se fisura cuando su resistencia a tracción se supera.

Si el hormigón se fisura, la fisura tiende a aparecer en el lugar donde se ha instalado el anclaje, ya que al instalarlo y aplicar el par de apriete correspondiente, se introducen tensiones adicionales en el hormigón incluso antes de que el propio anclaje entre en carga. La discontinuidad que genera el taladro en el hormigón genera una concentración de tensiones alrededor del mismo, afectando a la resistencia del anclaje.

Al ser tan complicado garantizar que el hormigón no vaya a fisurarse a lo largo de toda la vida útil del anclaje, se debe considerar a priori que el hormigón se fisura de cara al cálculo de los anclajes.

El diseño de anclajes para hormigón viene recogido en el Eurocódigo 2, parte 4 EN1992-4 y se basa en la teoría de anclajes, en los resultados de ensayo y en la ETA del propio anclaje. Para un diseño correcto del anclaje, es necesario realizar las comprobaciones para el estado límite último (ELU) y para el estado límite de servicio (ELS), así como las comprobaciones de durabilidad.

Por otro lado, los anclajes pueden instalarse tanto en hormigones de alta como de baja resistencia. Los anclajes expansivos no deben instalarse en hormigones cuyo tiempo de curado sea inferior a 6 días ya que, si los anclajes entrasen en carga de manera inmediata, la capacidad de carga que asumen es la propia resistencia que tuviese el hormigón en ese momento. Si el anclaje se instala y la carga se aplicase más tarde, se asume que la capacidad de carga del mismo es la resistencia del hormigón en el momento de aplicación de la carga.

Asimismo, se debe evitar el taladro de la armadura de refuerzo durante la instalación de los anclajes. Si esto no resultase posible, se debe consultar al responsable del diseño.

## > Fábricas

Las fábricas de bloques cerámicos (ladrillo, termoarcilla, etc.) y de bloque de hormigón se caracterizan por la heterogeneidad de su material base. El taladro que se realiza para la instalación del anclaje en este material base puede producirse bien en las juntas de mortero o en los huecos del ladrillo en cuestión. Debido a la relativamente baja resistencia de las fábricas, las cargas que se transmiten a la misma no pueden ser particularmente altas.

En el mercado existe una inmensa variedad de tipos y formas de ladrillos, tanto macizos como perforados o huecos, y el anclaje debe seleccionarse siempre acorde al tipo de ladrillo existente en la fábrica. Si se detectase la existencia de algún tipo de revestimiento sobre el material base resistente (enfoscado, gresite, plaquetas, etc.), ésta no debe entenderse como material base resistente al uso y se debe tener en cuenta de cara a la profundidad de empotramiento requerida en cada caso.

El diseño de anclajes a fábricas de ladrillo viene recogido en la ETAG 020 Anexo C y ETAG 029 Anexo C y requiere, además de seguir el método de diseño en ellas establecido, la realización de ensayos en obra y la disposición de datos técnicos del anclaje en cuestión, sobre los distintos tipos de ladrillo (Evaluación Técnica Europea: ETE).

## > Otros tipos de materiales base

**Hormigón aireado:** elaborado a partir de la mezcla de arena de sílice, cemento y cal, agregando agua y un agente expansivo con base de aluminio. Su densidad oscila entre 0,4 y 0,8 kg/dm<sup>3</sup> y su resistencia a compresión entre 2 y 6 N/mm<sup>2</sup>.

**Hormigón ligero:** se trata de hormigones de baja densidad, por debajo de los 1800 kg/m<sup>3</sup>, con una porosidad que reduce su resistencia y por consiguiente, la capacidad de carga del anclaje que se instala sobre el mismo.

**Tabique seco:** componentes constructivos sin capacidad portante. Es recomendable evitar las fijaciones del sistema de fachada ventilada en el mismo, enfocando la subestructura hacia una solución de forjado a forjado para transmitir las cargas directamente al hormigón armado. También se recomienda verificar la capacidad portante del suministrador del sistema.

*Criterios de fijación de las fachadas ventiladas a material base en casuísticas constructivas determinadas.*

## > Fijaciones a cerramientos inestables o que no dan valores de tracción de anclajes suficientes

Un caso particularmente delicado es cuando los paños de cerramiento base entre forjados no admiten las fijaciones de una fachada ventilada.

Esta casuística puede darse en rehabilitación, en fábricas muy simples o deterioradas. En estos casos pueden ocurrir dos cosas, o bien que estas fábricas no admitan una fijación de anclaje (longitud de empotramiento insuficiente o muy poca capacidad de resistencia a tracción de las fijaciones) o por otro lado que, aunque puedan fijarse anclajes a dicha fábrica, ésta pueda presentar una inestabilidad



que anteriormente no tenía, motivada por el nuevo sistema constructivo adherido.

No obstante, esto también puede darse en obra nueva donde, a pesar de contar con sistemas modernos de cerramiento para la hoja interior, convenga no realizar fijaciones en ellos. Es habitual que bloques huecos de hormigón, bloques de hormigón aireado y termoarcilla, pese a tener muy buenos valores a compresión, den una carga muy baja a la fijación con anclajes plásticos (y la solución con químicos eleve demasiado el presupuesto o siga siendo insuficiente). También puede ocurrir que determinadas soluciones de cerramiento en seco estén diseñadas a modo de kit de sistema constructivo, por lo que fijando una fachada ventilada a ellas pueda ocasionar conflictos de garantías (por ejemplo, transmisión de cargas puntuales no contempladas, taladro de capas que garantizan la impermeabilización, etc.).

Tanto en el caso de rehabilitación como de obra nueva, en estas ocasiones en las que no conviene realizar fijaciones en dichos paños de hoja interior, existe una posible solución para compatibilizar la ejecución de una fachada ventilada: realizar un sistema de subestructura de forjado a forjado. En este caso, la subestructura de fachada transmite sus acciones directamente a la estructura del edificio y nunca las transmite a la hoja interior del cerramiento (normalmente con función autoportante y no estructural), solucionando el problema.

**Figura 19.**

**Cerramiento a rehabilitar con fachada ventilada que no se presta a fijarle directamente la misma por no ser un material base contenido en una evaluación de anclajes y dar un valor de tracción de los anclajes en ensayos in-situ radicalmente bajo.**



**Figura 20.**

**Material Cerramiento a rehabilitar con fachada ventilada que no se presta a fijarle directamente la misma por longitud de empotramiento de los anclajes insuficiente y estabilidad de la hoja dudosa.**



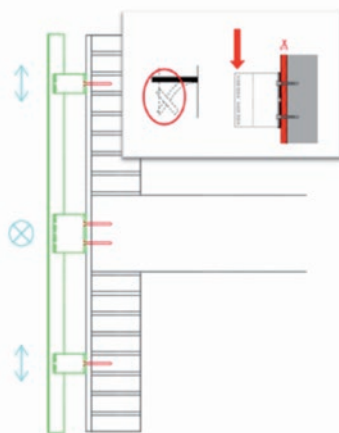
## > Fijaciones a material base con un material no resistente que lo cubre

Estas capas no resistentes intermedias entre el elemento a fijar (ménsula) y el material base, generan un brazo de palanca en los anclajes que reciben cargas verticales (peso). Tal es el caso de fachadas revocadas. Si bien en ocasiones se trata de morteros con muchos años de curado y muy endurecidos, que pueden presentar incluso mayor dureza que el ladrillo, en otras ocasiones pueden ser débiles y fácilmente disgregables, no admitiendo esfuerzos mecánicos.

En estos casos se puede incrementar la longitud de empotramiento de los anclajes garantizando que se mantiene el empotramiento debido al material base homólogo, y tener en cuenta dicho brazo de palanca en el cálculo a flexión del acero del anclaje.

**Figura 21.**

**Material base ladrillo/  
hormigón recubierto por  
material sin capacidad  
resistente.**

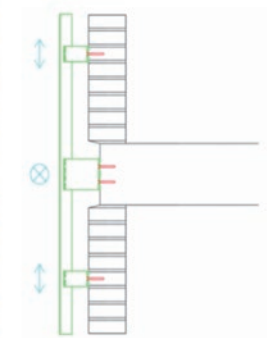


En el caso de las fachadas de ladrillo cara vista, donde además son habituales las patologías en las que aparecen plaquetas mal fijadas en los cantos de forjados, es posible que, aun alargando los anclajes de métrica estándar para llegar al hormigón, el brazo de palanca sea excesivo (4 cm o superior), por lo que la solución más óptima seguramente pase por picar en el apoyo de cada ménsula y colocar ménsulas más largas, que lleguen a apoyar directamente al forjado. Se debe evitar que los tornillos se sometan a flexión.

Si se ignora esto y se fijan los anclajes de métrica y longitud estándar de las ménsulas de sustentación simplemente a la altura de los forjados como si se estuviese fijando directamente los mismos, se está llevando todo el peso de la fachada a elementos que ya se están desprendiendo, pudiendo tener un desastroso resultado.

**Figura 22.**

**Fachada de ladrillo  
cara vista con  
desprendimiento de  
plaquetas en canto de  
forjado.**



Si la hoja existente es perfectamente estable y puede asumir las cargas sin problema, puede incluso estudiarse el no fijar a los cantos de forjado, y realizar todo el cálculo teniendo en cuenta que las fijaciones de sustentación y de retención de la fachada se están realizando al material base ladrillo, nunca a hormigón. A menudo no es fácilmente demostrable esta estabilidad y capacidad resistente por lo que no suele ser una solución habitual.

En casos extremos en los que la hoja existente pueda verse comprometida por las acciones transmitidas por la fachada ventilada, es preciso garantizar primero su estabilidad y conexión a la estructura. En ocasiones se puede plantear realizar el recrecido continuo de los forjados, bien por la inclusión de perfiles laminados que sujeten la hoja de cerramiento, o bien mediante hormigones de alta resistencia y adhesión tipo grout para llegar a una cota más exterior. En dichos casos la unión entre el nuevo mortero y el antiguo forjado es un punto crítico que tiene que quedar perfectamente garantizado.

Este tipo de reparaciones posiblemente requieran intervenir mediante bataches desde arriba del edificio hacia abajo, para garantizar la estabilidad de la hoja.

**Figura 23.**

**Situaciones de rehabilitación en las que primeramente debe estabilizarse la hoja de cerramiento existente o recrecer forjados antes de realizar la fachada ventilada.**



## Principios de trabajo de los anclajes

|                       |  |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ROZAMIENTO</b>     |  | <p>La fuerza de tracción se transfiere al material base por rozamiento.</p> <p>Debido a su forma de trabajo mediante expansión mecánica, es muy importante respetar las separaciones entre anclajes y a bordes de material base.</p>                                        |
| <b>POR FORMA</b>      |  | <p>Se adapta al material base de diferentes modos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Horadan el material y trabajan como un “embebido”.</li> <li>• Se deforman adaptándose al material.</li> <li>• Se adaptan al material base con ayuda de un tamiz.</li> </ul> |
| <b>POR ADHERENCIA</b> |  | <p>La varilla del anclaje y la pared del taladro están unidas mediante la adherencia de la resina.</p> <p>La transmisión de cargas se distribuye a lo largo del anclaje con menor presión sobre el material base.</p>                                                       |

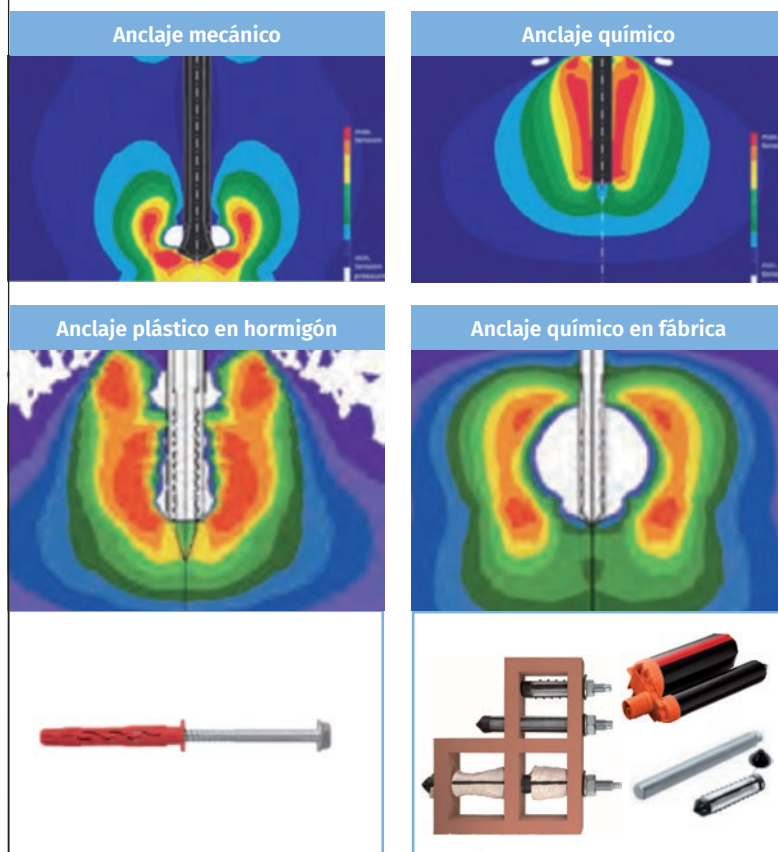
Muchos anclajes obtienen su poder de fijación al material base por la combinación de los anteriores principios de trabajo.

Por ejemplo, un anclaje ejerce una fuerza de expansión contra la pared de su taladro como resultado del desplazamiento del cono relativo al casquillo. Esto permite que la fuerza longitudinal se transfiera al anclaje por rozamiento. Al mismo tiempo, esta fuerza de expansión provoca una deformación local permanente en el material base, especialmente en el caso de los anclajes metálicos. La fuerza longitudinal que actúa sobre el anclaje se transfiere adicionalmente al material base por forma.

Otro ejemplo es el referente a los anclajes químicos, donde la resina se introduce en los poros del material base, y una vez curada y endurecida, permite transferir las cargas al material base tanto por forma como por adherencia.

Por otro lado, se puede distinguir entre dos tipos de anclajes: los mecánicos, que trabajan por forma y por rozamiento, y los químicos, que trabajan por adherencia. Dentro de los anclajes mecánicos se puede hacer distinción entre los metálicos y los plásticos, siendo estos últimos los más habituales en la aplicación de fachada ventilada. Los anclajes químicos consisten en un elemento metálico en conjunto con una resina química.

La diferencia básica entre un anclaje mecánico y uno químico radica en la manera de transmitir las cargas al material base (ver esquema) y en que los anclajes mecánicos requieren una distancia a borde y entre anclajes de aproximadamente el 50% más del que necesitan los químicos.



**Figura 24.**  
*Distribución de tensiones  
en el hormigón,  
modelado por elementos  
finitos.*



La resistencia de los anclajes varía mucho de unos materiales base a otros. Es importante asegurar la resistencia que tiene el anclaje en cada obra. Para ello, siempre es recomendable realizar ensayos en obra siguiendo el procedimiento indicado en la ETAG 020 en caso de anclaje mecánico o en la ETAG 029<sup>(3)</sup> en caso de anclaje químico.

El propósito de los ensayos de extracción en un proyecto de fachada ventilada es la determinación de la resistencia, cuando no hay ningún dato o no hay suficientes datos disponibles para la solución de fijación (anclaje + material base). Es posible realizar pruebas destructivas o no destructivas. Los ensayos se realizan durante la fase de diseño del proyecto, pues los resultados de los mismos son necesarios para determinar y diseñar los anclajes, obteniéndose como resultado de cada ensayo un valor de resistencia (kN o N).

En hormigón estándar no es necesario ensayar los anclajes para determinar la resistencia. Los anclajes instalados correctamente proporcionan las cargas indicadas en la ETA (evaluación). El propósito para llevar a cabo ensayos de extracción es la verificación de la calidad de la instalación, ya sea por normas locales, petición del promotor o Dirección Facultativa, solicitud de un contratista general que desea monitorizar a un subcontratista o que el propio instalador necesita o desea probar la calidad de su trabajo.

A modo de resumen, se puede indicar que se deben realizar pruebas in situ para determinar la resistencia de la solución de anclajes siempre que el material base no sea conocido y la solución no esté cubierta por una evaluación o por un Manual Técnico de anclajes o siempre que el anclaje seleccionado no disponga de una evaluación para un material base de la misma categoría comparable con el material base especificado en dicha evaluación. De la misma manera, no sería necesario realizar pruebas in situ cuando existan homologaciones y datos técnicos completos disponibles para la solución de fijación y el anclaje se haya seleccionado correctamente.

(3) Desde 2014, la EOTA  
(European Organisation  
for Technical Assessment)  
está trabajando en la  
adaptación de ETAGs  
en EADs (European  
Assessment Documents)  
siguiendo los requisitos  
establecidos en el  
Reglamento de Productos  
de la Construcción (EU)  
305/2011.

## Correcto diseño de las uniones metálicas para evitar problemas de corrosión

### > Corrosión galvánica

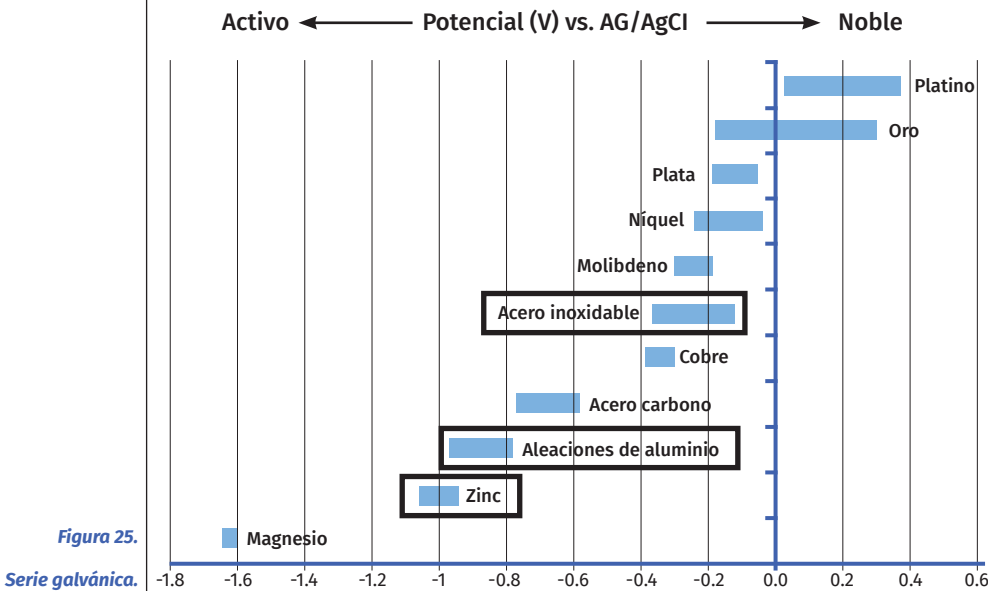
Se trata de un proceso electroquímico en el que un metal sufre corrosión por encontrarse en contacto directo con otro metal distinto y de mayor nobleza. Para que esto ocurra se precisa además que ambos metales se encuentran inmersos en un electrolito o medio húmedo, que hace posible la transmisión de iones del ánodo (el metal con menor potencial de reducción, que se corroe) al cátodo (el de mayor potencial de reducción).

Adicionalmente a los potenciales, entra en juego el volumen, es decir, el área expuesta, de cada uno de los metales, aumentando o reduciendo su capacidad de atacar al otro.

El acero galvanizado (recubrimiento de Zn) y el aluminio se encuentran muy próximos en la escala de potenciales (o serie galvánica) y eso lleva a que, en igualdad de condiciones, es difícil que ocurra la corrosión galvánica.

Sin embargo, en la realidad de las fachadas ventiladas con estructuras de aluminio ocurre que éste, que tiene un potencial ligeramente superior al del zinc (y por tanto el aluminio “ganaría”, por muy poco, al acero galvanizado), tiene una superficie expuesta al exterior infinitamente mayor que la de los elementos de acero (conexiones de tipo tornillo y anclajes). Esto significa que un efecto que a igualdad de condiciones sería mínimo, en el caso de una fachada ventilada puede ser muy significativo, teniendo en cuenta que existe un alto grado de probabilidad de que exista el electrolito necesario para que se forme una celda galvánica (agua, humedad ambiental...).

Por tanto, si esas fijaciones se realizan con acero galvanizado, pueden sufrir corrosión galvánica, mientras que si se hacen con acero inoxidable quedan protegidas frente a la corrosión galvánica. Puede darse el caso de que las conexiones de acero atacasen, por ser más noble, al aluminio, pero la diferencia de tamaños es tan grande que el aluminio no suele presentar problemas de corrosión en estas uniones.

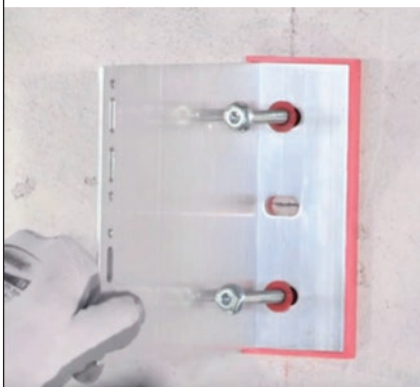


| Figura 26.<br>Impacto de la corrosión<br>galvánica en la vida<br>útil de las fijaciones, en<br>función del material del<br>elemento fijado y de las<br>fijaciones.                                                                                                                                                                                                                                                       | Fijación (área pequeña)               |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Parte de la fijación<br>(área grande) | Electro<br>galvanizado                                                              | Dúplex - acero al<br>carbono recubierto                                             | Galvanizado en<br>caliente                                                          | Acero<br>inoxidable                                                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Electro galvanizado                   |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Galvanizado en caliente               |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Aluminio                              |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Acero estructural o fundido           |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Acero inoxidable (CrNi o CrNiMo)      |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Estaño                                |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Cobre                                 |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Latón                                 |  |  |  |  |
| <div> Sin impacto en la vida.</div> <div> Impacto moderado en la vida útil, técnicamente aceptable en muchos casos.</div> <div> Fuerte impacto en la vida</div> |                                       |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                       |



Si se utilizan elementos galvanizados (por ejemplo, tacos de acero galvanizado) es preciso evitar el contacto con los componentes de aluminio mediante elementos plásticos.

También las piezas plásticas utilizadas como rotura de puente térmico sirven para evitar el par galvánico existente entre el aluminio y el acero estructural, o incluso en los apoyos sobre hormigones, donde también pueden darse fenómenos de corrosión galvánica.



**Figura 27.**

**Funda de anclajes que evita el contacto acero-aluminio.**

### > Elección de los grados de protección de los metales en función de los ambientes

Como en cualquier otro de los elementos constructivos que están expuestos al ambiente exterior, hay que prestar especial atención al grado de protección frente a la corrosión ambiental de sus componentes metálicos, pues tiene una relación directa con su vida útil.

| CATEGORÍA DE CORROSIVIDAD | AMBIENTE                                                                                                                | PÉRDIDA ANUAL DE ESPESOR DE ZINC ESTIMADA (µm) |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| C1 Muy baja               | Interior: seco                                                                                                          | 0,1                                            |
| C2 Baja                   | Interior: condensación ocasional                                                                                        | 0,1 a 0,7                                      |
| C3 Media                  | Interior: Humedad elevada y alguna contaminación del aire.<br>Exterior: Urbano no marítimo y marítimo de baja salinidad | 0,7 a 2,1                                      |
| C4 Alta                   | Interior: piscinas, plantas químicas, etc.<br>Exterior: Industrial no marítimo y urbano marítimo                        | 2,1 a 4,2                                      |
| C5 Muy alta               | Exterior: Industrial muy húmedo o con elevado grado de salinidad                                                        | 4,2 a 8,4                                      |

A continuación, se muestran las recomendaciones de grados de protección de las fijaciones en fachadas ventiladas en función del metal de los elementos metálicos fijados y el ambiente exterior.

| APLICACIONES DE FACHADAS                             |                                                                                                                                       |        | ANCLAJES                                                    |                     |                                    |                 |                           |                      |                                          |         |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------|------------------------------------------|---------|
| Fachadas de pantalla de lluvia abiertas y ventiladas |                                                                                                                                       |        | Protección contra la corrosión                              | Electro galvanizado | Electro galvanizado → Betún (=ETA) | Multicapa       | HDG/ sherardized 45-50 um | A2 Al SI 304 CRC II  | A4 Al SI 316 CRC IV                      | HCR     |
|                                                      |                                                                                                                                       |        | Anclajes                                                    | HSA, HUS, HST, HRD  | Solo ancla de plástico HRD         | HU S3-HF S-CD C | HSA-F                     | HSA-R2 S-MD S S-CD S | HUS-R, HSA-R, X-CR, X-BT S-AD SS S-MD SS | HST HCR |
| CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES                         |                                                                                                                                       |        | Parte fijada                                                |                     |                                    |                 |                           |                      |                                          |         |
|                                                      | Ambiente al aire libre, rural o urbano con contaminación.                                                                             |        | Acero (Zinc recubierto, pintado) Aluminio                   | -                   | ■                                  | □               | □                         | ■                    | ■                                        | ■       |
|                                                      |                                                                                                                                       |        | Acero inoxidable                                            | -                   | -                                  | -               | -                         | -                    | -                                        |         |
|                                                      | Ambiente al aire libre, rural o urbano con contaminación moderada de contaminantes o sal de agua de mar.                              | 1-10km | Acero (Zinc recubierto, pintado) Aluminio                   | -                   | ■                                  | □               | □                         | ■                    | ■                                        | ■       |
|                                                      |                                                                                                                                       |        | Acero inoxidable                                            | -                   | -                                  | -               | -                         | -                    | -                                        |         |
|                                                      | Zonas costeras < 1 km de distancia del mar                                                                                            | 0-1km  | Acero (Zinc recubierto, pintado) Aluminio                   | -                   | ■                                  | -               | -                         | -                    | ■                                        | ■       |
|                                                      |                                                                                                                                       |        | Acero inoxidable                                            | -                   | -                                  | -               | -                         | -                    | -                                        |         |
|                                                      | Muy cerca de carreteras, donde se utiliza sales de deshielo                                                                           |        | Acero (Zinc recubierto, pintado) Aluminio, Acero inoxidable | -                   | ■                                  | -               | -                         | -                    | ■                                        | ■       |
|                                                      |                                                                                                                                       |        |                                                             |                     |                                    |                 |                           |                      |                                          |         |
|                                                      | Ambiente al aire libre, zonas con alta contaminación industrial, cerca de plantas < 1 km (por ejemplo industria petroquímica, carbón) |        | Acero (Zinc recubierto, pintado) Aluminio, Acero inoxidable | -                   | ■                                  | -               | -                         | -                    | ■                                        | ■       |
|                                                      |                                                                                                                                       |        |                                                             |                     |                                    |                 |                           |                      |                                          |         |

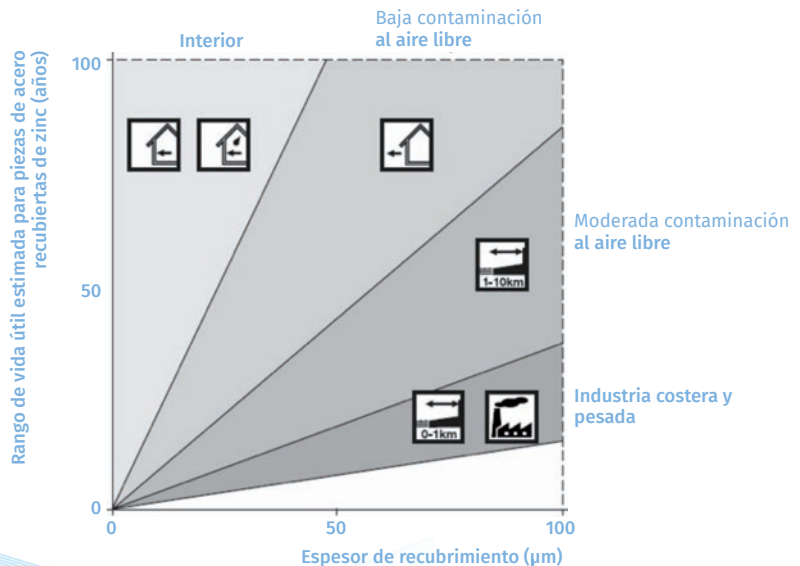
Figura 28.

#### Recomendaciones de grados de protección.

- La vida útil esperada de los elementos de fijación hechos de este material es típicamente satisfactoria en el entorno especificado en función de la vida útil esperada de un edificio. La vida de servicio asumida en las Evaluaciones Técnicas Europeas es de 50 años para anclajes y de 25 años para fijaciones accionadas por energía, acero y tornillos de panel.
- Se debe tener en cuenta una disminución en la vida útil esperada de las fijaciones no inoxidables en estas aplicaciones. El tiempo de vida se extiende, cuando los sujetadores se mantienen secos. (p.ej. cubierto por material aislante).

Figura 29.

#### Relación entre espesores de protección de zinc y su vida útil estimada en función del tipo de ambiente.



Existen aerosoles bituminosos que permiten aportar una protección adicional superficial en las partes expuestas de las fijaciones de acero ante el ambiente exterior, especialmente útil si se trata de aceros no inoxidables.



**Figura 30.**  
**Aerosol bituminoso de**  
**protección frente a la**  
**corrosión ambiental.**

## 2.1.2 Ménsulas

Para el correcto comportamiento de una subestructura para fachada ventilada en cuanto a control de dilataciones se refiere, las ménsulas cobran un papel protagonista dentro del conjunto de elementos que componen los diferentes tipos de sistemas.

Es en la unión ménsula-perfil donde se pueden controlar estas dilataciones mediante el establecimiento de puntos fijos o deslizantes al situar los tornillos en los taladros circulares o rasgados (colisos) según se determine previamente en el cálculo y diseño de la propia subestructura. Es por ello que las ménsulas presentan en su extremo distintas configuraciones de taladros, de manera que puedan recibir los tornillos en número, métrica y posición correctos, siempre previa determinación a través del cálculo.

De la misma manera, en su base generalmente se presentan taladros con distintas métricas y configuraciones para recibir el correcto tipo y número de anclajes en función del diseño.

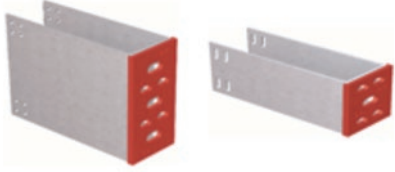
Las ménsulas de aluminio son también los componentes que permiten realizar el aplomado de la fachada ventilada. Algunos modelos disponen de pinzas de sujeción que facilitan el montaje y permiten absorber desplomes.

Las medidas y configuraciones varían en función del fabricante, si bien constituyen una pieza común para todos los tipos de sistemas de fachada ventilada existentes en el mercado.

A continuación, y a modo de resumen, se indican distintos tipos de ménsulas que se encuentran habitualmente en las subestructuras para fachada ventilada, variando ligeramente en función del sistema que se desee configurar.

Es conveniente pedir asesoramiento a la persona encargada del diseño de la subestructura para determinar el sistema que mejor se adapta a la solución de fachada ventilada prevista, pues los sistemas vienen condicionados por diferentes circunstancias, como puede ser la condición del material base existente en la obra, la geometría del edificio sobre el que se van a realizar los trabajos, el peso del panel que se desea colocar, el propio formato del mismo, etc.

**Figura 31.**  
**Tipos de ménsulas.**

| CARACTERÍSTICAS                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ménsulas para sistemas verticales</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cada ménsula de aluminio funciona como punto fijo o punto deslizante en función de la disposición de los tornillos (taladros circulares o colisos respectivamente).</li> <li>- El perfil vertical se inserta en la pinza de sujeción y una vez aplomado, es atornillado.</li> <li>- Pieza plástica preinstalada en su base para reducir los puentes térmicos y evitar el par galvánico.</li> </ul>                                                       |
| <b>Ménsulas para sistemas horizontales</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ménsula de aluminio diseñada para absorber por sí misma las dilataciones del sistema.</li> <li>- No presenta taladros circulares o colisos.</li> <li>- Tornillo de fijación premontado en el extremo.</li> <li>- El perfil horizontal se inserta en la ranura y una vez aplomado, es atornillado.</li> <li>- Pieza plástica preinstalada en su base para reducir los puentes térmicos y evitar el par galvánico.</li> </ul>                              |
| <b>Ménsulas Passivhaus</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pieza plástica intermedia para romper totalmente los puentes térmicos.</li> <li>- Soluciones Passivhaus o edificios de bajo consumo energético.</li> <li>- Ménsulas de aluminio tanto para soluciones verticales como horizontales en función del modelo.</li> <li>- Menor capacidad portante.</li> </ul>                                                                                                                                                |
| <b>Ménsulas de acero inoxidable</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ménsulas de acero inoxidable.</li> <li>- No necesita piezas de rotura/reducción de puentes térmicos al presentar un coeficiente de conductividad térmica muy inferior al del aluminio.</li> <li>- Cada ménsula de aluminio funciona como punto fijo o punto deslizante en función de la disposición de los tornillos (taladros circulares o colisos respectivamente).</li> </ul>                                                                         |
| <b>Ménsulas de forjado a forjado</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ménsulas de aluminio con pieza plástica preinstalada en su base para reducir los puentes térmicos y evitar el par galvánico.</li> <li>- El perfil vertical se inserta en la ménsula y una vez aplomado, es atornillado.</li> <li>- Se instalan en los cantos de forjado a modo de puntos fijos, si bien existen también ménsulas con taladros colisos para puntos deslizantes. Normalmente las dilataciones se controlan mediante conectores.</li> </ul> |

## **Ménsulas para sistemas verticales**

Las ménsulas se diseñan como puntos fijos o deslizantes en función del cálculo de la subestructura de manera que permitan la correcta dilatación del perfil. Los puntos fijos son los encargados de asumir las cargas verticales debidas al peso de los paneles y de la subestructura, así como las cargas horizontales debidas la parte proporcional de viento que reciben. Los puntos deslizantes por otro lado, asumen únicamente las cargas horizontales debidas al viento.

## Ménsulas para sistemas horizontales

Con estas ménsulas ya no es necesario distinguir entre puntos fijos y deslizantes ya que la propia ménsula absorbe las dilataciones del perfil, siempre bajo un cálculo estático en el que se determine la correcta longitud del perfil en función del tamaño de las juntas determinado en la modulación de paneles. Es por ello que la instalación de esta ménsula no sólo es más sencilla, sino que también es más segura, ya que se evitan por completo los posibles errores de montaje de puntos fijos y deslizantes.

## Ménsula para sistemas forjado a forjado

En este tipo de sistema, cada perfil está conectado al siguiente a través de un conector. Este conector se fija únicamente a uno de los dos perfiles generando una junta entre ambos, de manera que el perfil libre de tornillos deslice sobre el conector en el momento en que dilate.

En este sistema, únicamente es necesaria una ménsula por perfil, la cual va fijada a los cantos de forjado del edificio. Las ménsulas funcionan como puntos fijos y asumen tanto las cargas verticales debidas al peso como las horizontales debidas al viento.

Este sistema es especialmente recomendable para soportar fachadas ventiladas en edificaciones que presentan un material base con un mal comportamiento frente a los esfuerzos de tracción (viento, o para aquellos edificios en los que, debido a la tipología de cerramiento existente, conviene evitar las fijaciones en el mismo para no comprometer la estanqueidad de la envolvente, como puede ocurrir con un cerramiento de tabique seco).

Por otro lado, este sistema permite un ahorro en los tiempos de ejecución muy importante en comparación con los sistemas tradicionales, lo cual garantiza un ahorro económico en la mano de obra.

## Diseño de los sistemas para su correcta dilatación

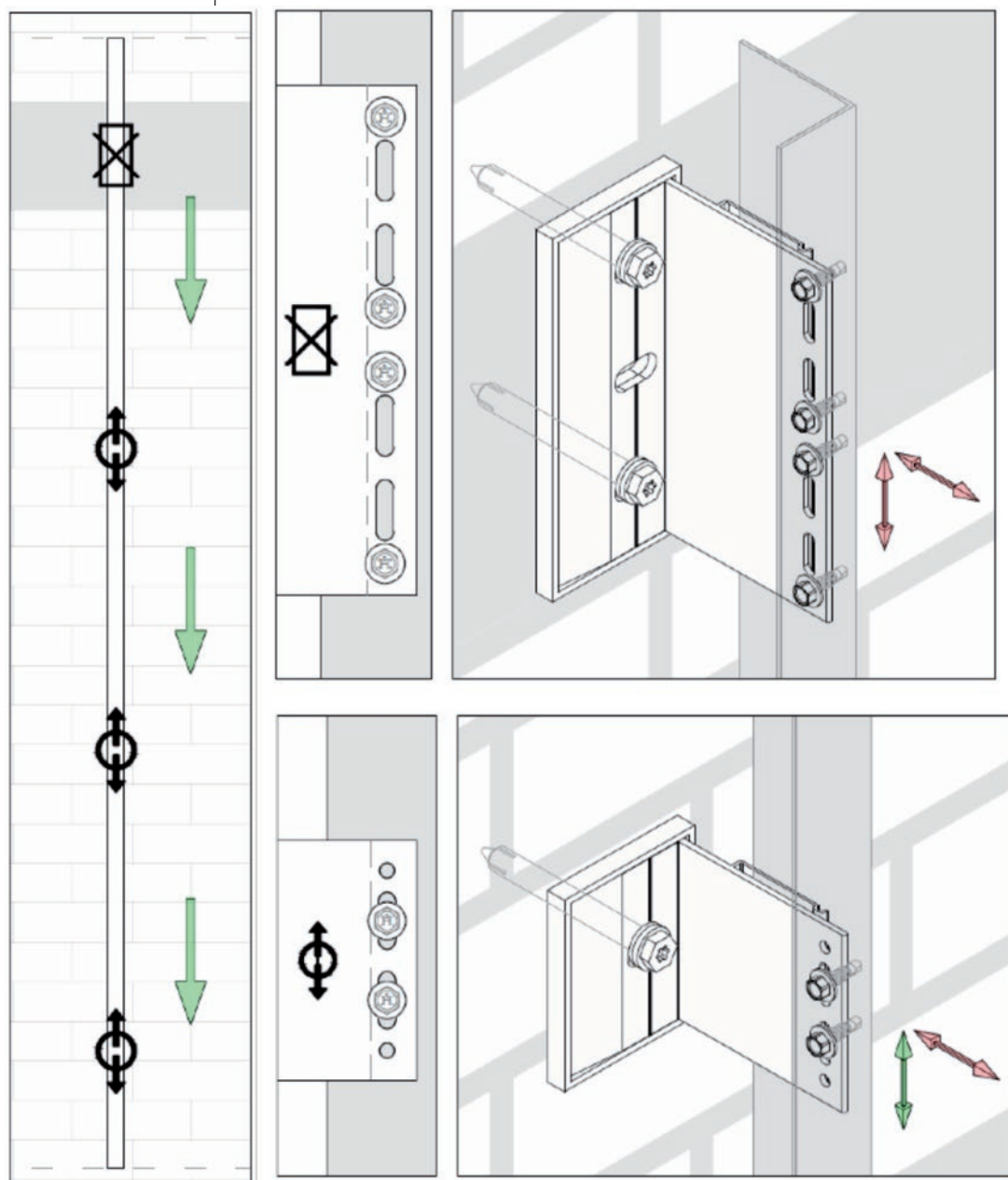
Deben tenerse en cuenta los siguientes criterios:

- Si la longitud de los perfiles de aluminio es excesiva en contraste con el dimensionado de las juntas del revestimiento o entre perfiles, puede ocasionar que los elementos choquen y generen tensiones indeseadas. Se recomienda, como norma general, que la longitud de los perfiles sea igual a la altura de cada una de las plantas, en el entorno de los 3 a 3,5 m, si se trata de sistemas de aluminio, los más habituales (los perfiles de acero dilatan aproximadamente la mitad).
- Es de vital importancia que se realice una instalación correcta que permita la libre dilatación de la perfilera. Si no se instala el sistema ejecutando puntos fijos y deslizantes, se hace incorrectamente, todas las uniones pasan a comportarse de manera rígida, y cuando los perfiles dilatan y varían su tamaño solo pueden retorcerse y generar tensiones indeseadas.

Figura 32.

**Incorrecta conexión de ménsulas y perfiles que ocasiona el sistema no pueda dilatar libremente y conforme a lo calculado.**





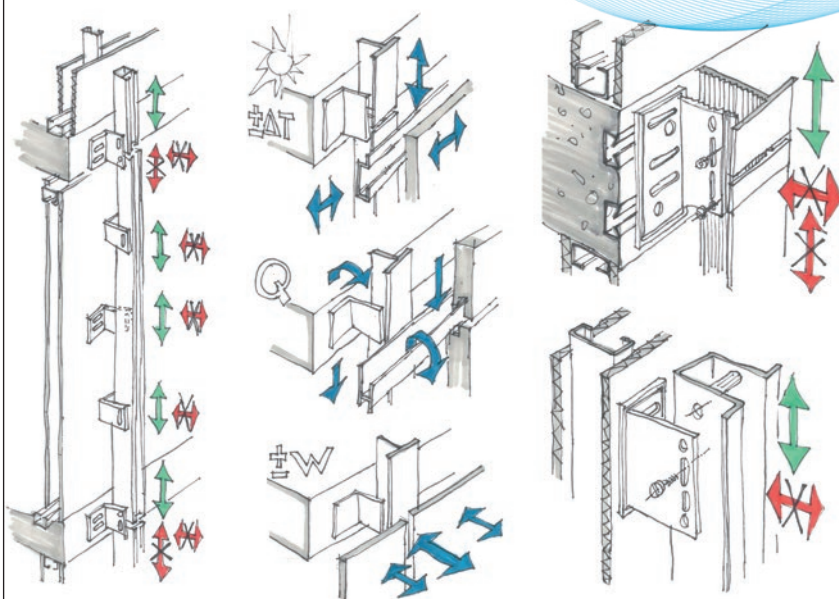
**Figura 33.**

**Correcta conexión de  
mensulas y perfiles,  
mediante ménsulas de  
sustentación (arriba a la  
derecha) y de retención  
(abajo a la derecha),  
permitiendo la libre  
dilatación del perfil.**

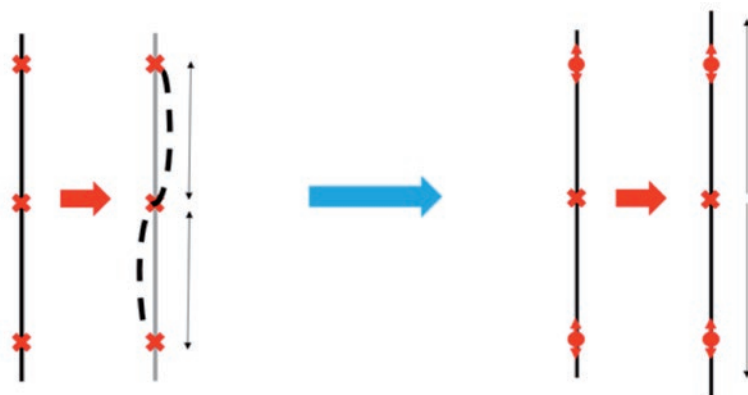
Obviamente, la dilatación del perfil se produce de manera longitudinal partiendo de su punto fijo (ménsula de sustentación) hacia sus extremos, pasando por los sucesivos puntos deslizantes existentes (ménsulas de retención).



**CROQUIS N°10**  
Esquema de las cargas  
y comportamiento  
estructural de la  
subestructura de  
soporte.



**Figura 34.**  
Dilatación de perfil  
con fijaciones rígidas  
en contraste con la  
libre dilatación de un  
perfil con ménsulas de  
retención y sustentación.



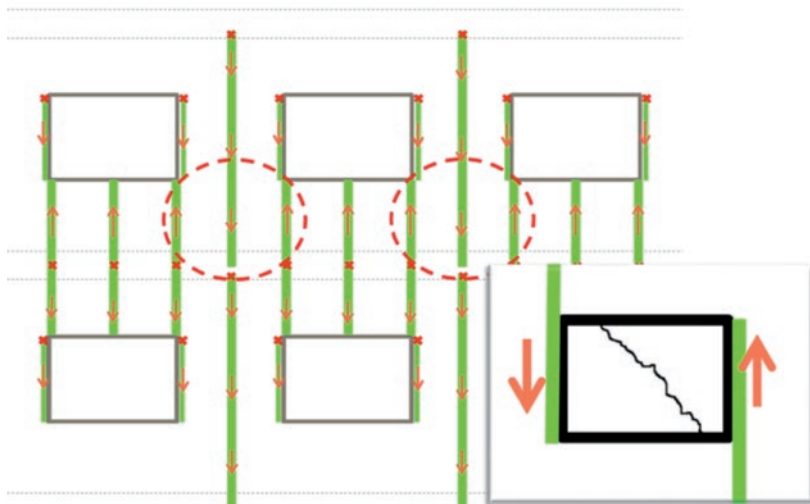
**Figura 35.**  
Ejemplo real de perfiles  
dilatando unidos de  
manera rígida.



- También debe tenerse en cuenta la compatibilidad de dilataciones en el diseño, es decir que no existan dilataciones adversas de los perfiles. De lo contrario, puede existir un problema cuando, aun permitiéndose la libre dilatación de cada perfil, existen dilataciones en sentidos opuestos en perfiles de un mismo panel. Esto puede generar deformaciones visuales en las juntas y, en el peor de los casos, tensiones indeseadas que incluso pueden ocasionar roturas de paneles.

**Figura 36.**

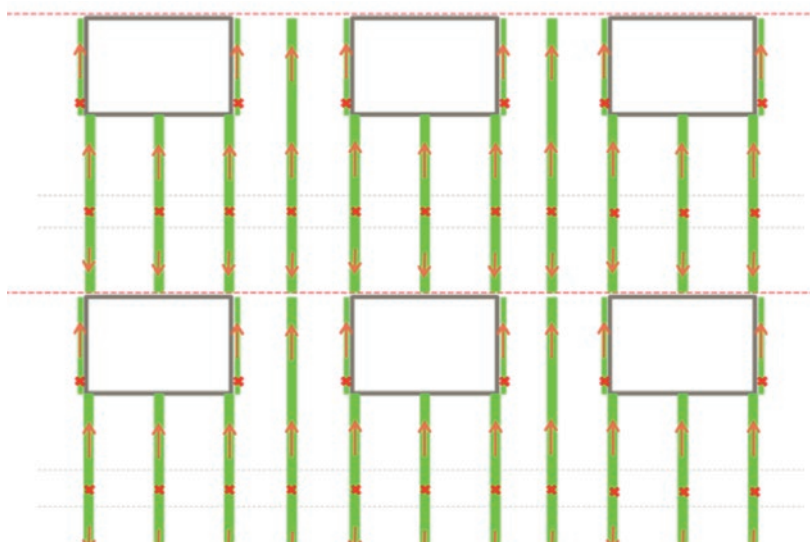
*Ejemplo de perfiles dilatando en sentidos adversos sujetando placas en común, donde sus puntos fijos se marcan con una X.*



El correcto criterio de diseño pasa por controlar unas juntas estructurales continuas en la perfilería, ejecutando franjas de perfiles en las que todo dilate siempre en la misma dirección:

**Figura 37.**

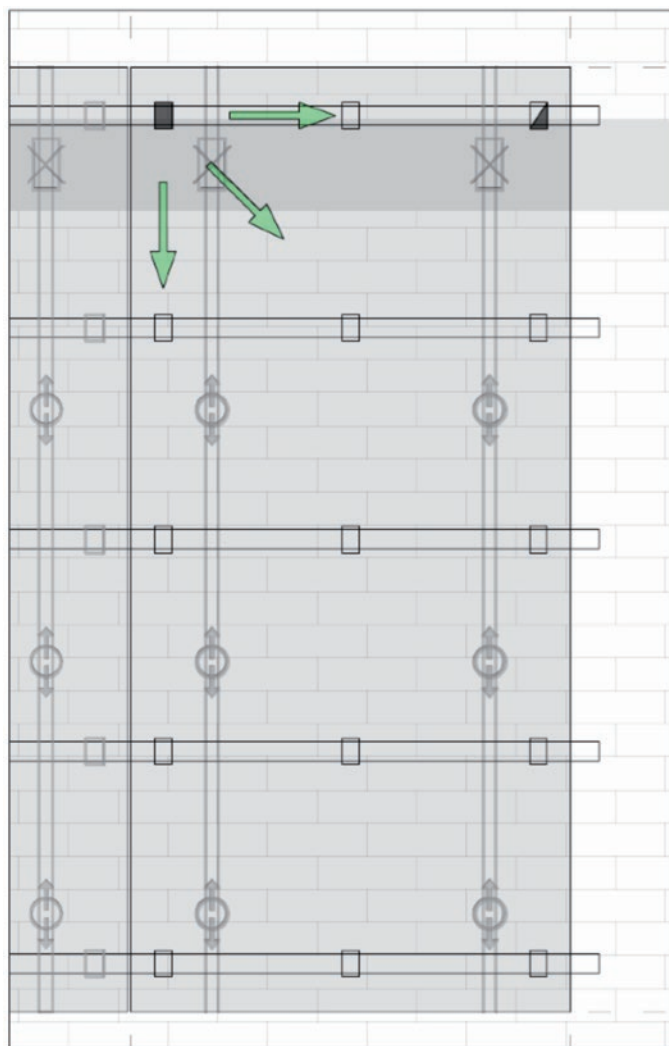
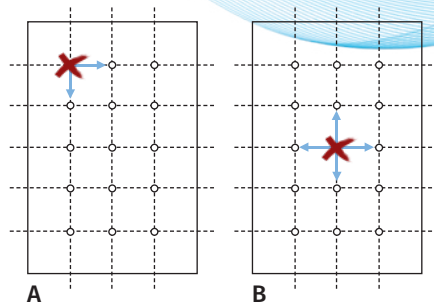
*Ejemplo real de perfiles dilatando todos en la misma dirección, sin crear conflictos y siguiendo un criterio de juntas horizontales corridas comunes a perfilería y a revestimiento.*



- De igual modo, debe existir una compatibilidad ante cambios dimensionales (por cambios de temperatura e incluso humedad) entre los paneles y la perfilería. Por ejemplo, los paneles de gran formato, deben tener sus puntos fijos y deslizantes igualmente ejecutados entre panel y perfilería, mediante ciertas holguras en los sistemas, al tiempo que permiten la correcta retención de los paneles frente al viento y transmiten correctamente las cargas a la estructura. Esto ocurre por ejemplo en paneles de gran formato remachados (donde existen fijaciones de remache con y sin holgura) o en los sistemas fijados a una perfilería horizontal mediante clips de cuelgue (clips fijos y deslizantes).

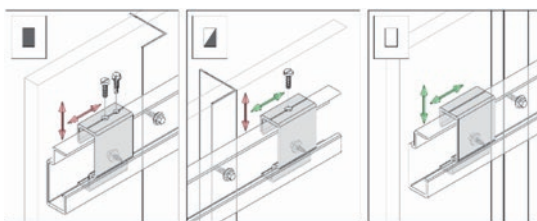
No obstante, existe infinidad de sistemas de fijación de los paneles a la subestructura, y en cada caso se tiene que tener en cuenta esta compatibilidad de libertad de movimientos entre panel y perfilería.

En el siguiente croquis se muestran diferentes posiciones de la fijación, factor que influye en las deformaciones de la pieza; dilatación en A es el doble que en B.



**Figura 38.**

*Ejemplo de paneles dilatando libremente al ejecutar sus puntos de unión a la subestructura como fijos y deslizantes.*



**Figura 39.**  
Ejemplo real de  
patología por uniones  
rígidas entre perfilería y  
revestimiento.



### 2.1.3 Perfiles

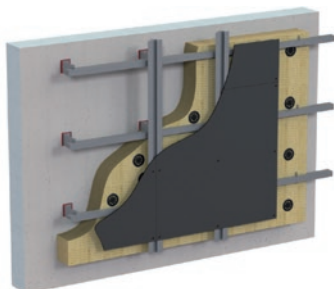
Los perfiles o rastreles que se utilizan usualmente son de madera o metálicos.

**Madera:** listones de pino, abeto, meranti, etc., de escuadrías rectangulares, cepillados por los cuatro lados. Las maderas deben ser lo suficientemente durables para la construcción. El contenido máximo de humedad de la madera debe ser del 18% (secado clase II, aire seco). Puede contener conservantes, basados en sales de zinc y cobre de acuerdo con la norma EN 3251 (sales Wolman y Celcure, por ejemplo).

**Metal:** aluminio (anodizado y en bruto) o acero (galvanizado) planos, secos y lisos. Deben contar con protección contra la corrosión, conforme a la norma EN 6702. Los metales esmaltados son adecuados, no obstante, pueden requerir diferentes instrucciones de uso. Dada la diversidad de proveedores de rastreles, se recomienda siempre efectuar una prueba de adherencia para sistemas químicos o híbridos.

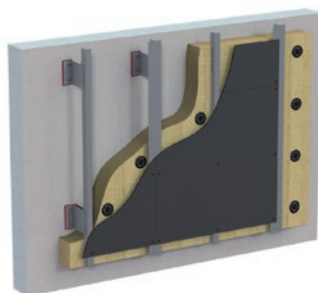
Lo más habitual son las extrusiones de aluminio, geometrías en sección T, L, secciones rectangulares cerradas u omegas, dependiendo del sistema a emplear (dependiendo de la fijación de los paneles a ellos, de las ménsulas en las que encajen, etc.). También existen geometrías más complejas, generalmente en los perfiles horizontales, para soluciones de cuelgue o machihembradas.

**Figura 40.**  
Sistemas con doble capa  
de perfilería horizontal/  
vertical.



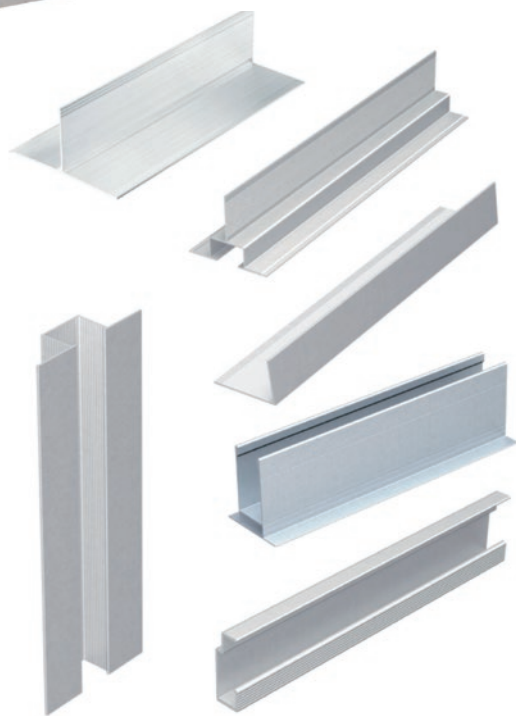
**Figura 41.**

**Sistemas con una única  
capa de perfilería  
(vertical u horizontal).**



**Figura 42.**

**Tipologías de perfiles de  
aluminio.**



## 2.1.4 Sistemas de fijación del revestimiento

Los sistemas de fijación del revestimiento a la subestructura son los elementos que fijan el revestimiento exterior de la fachada a la subestructura trasera, siendo esta fijación completamente mecánica, totalmente química, o ser un sistema de fijación mixto que complemente los sistemas anteriores.

Puede verse el esquema incluido en el apartado 1.3 donde se relacionan los materiales de revestimiento y los sistemas de perfilería y fijaciones (vistas u ocultas) que le son de aplicación.

### Tipos de sistema:

Las fijaciones mecánicas a subestructura pueden ser puntuales (tornillos, remaches, garras, clips de inserto en panel u otros sistemas similares) o lineales (raíles horizontales y verticales, perfiles de inserto en panel, etc.).

En el documento EAD 090062-00-0404<sup>(4)</sup> se muestran los diferentes tipos de fijación y se clasifican los sistemas de fachada ventilada según el tipo de fijación de los paneles de revestimiento.

(4) EAD 090062-00-0404

Kits para revestimientos  
exteriores de fachada  
fijados mecánicamente.



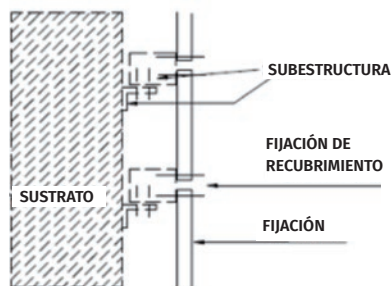


Figura 1.1a: Kit de revestimiento de la familia A

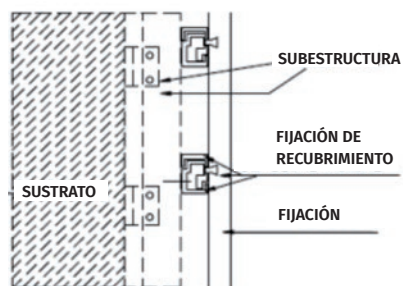


Figura 1.1b: Kit de revestimiento de la familia B

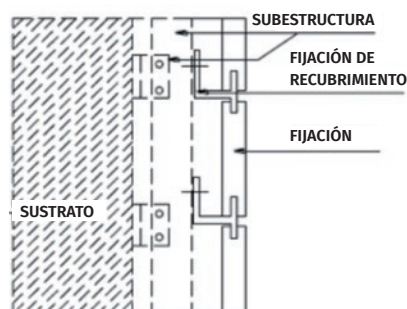


Figura 1.1c: Kit de revestimiento de la familia C

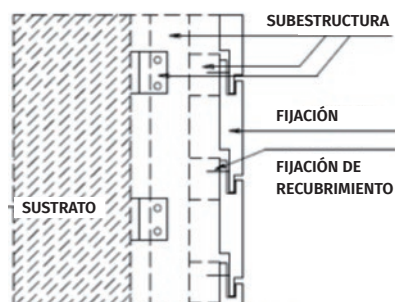


Figura 1.1d: Kit de revestimiento de la familia D

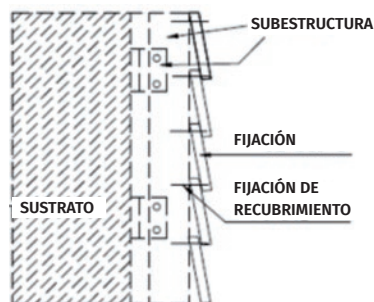


Figura 1.1e: Kit de revestimiento de la familia E

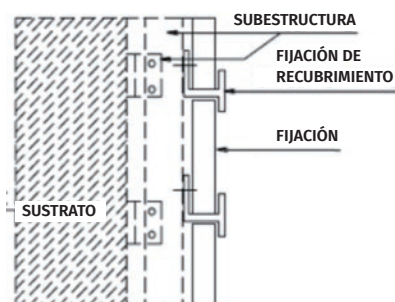


Figura 1.1f: Kit de revestimiento de la familia F

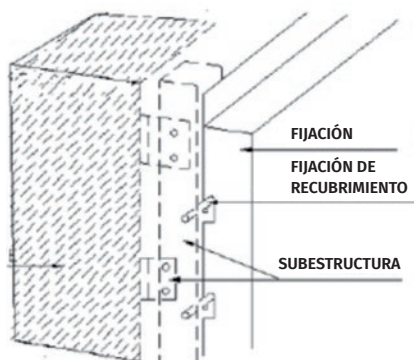


Figura 1.1g: Kit de revestimiento de la familia G

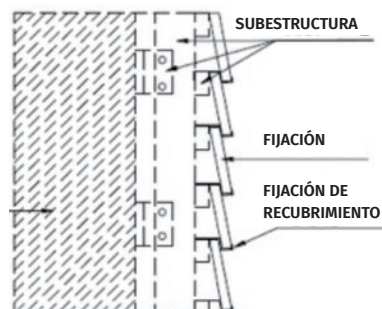


Figura 1.1h: Kit de revestimiento de la familia H

Figura 43.

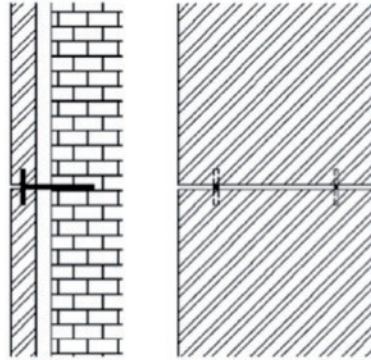
Familias de kits de  
fachada ventilada según  
el sistema de fijación del  
revestimiento. Fuente:

EAD 090062-00-0404.

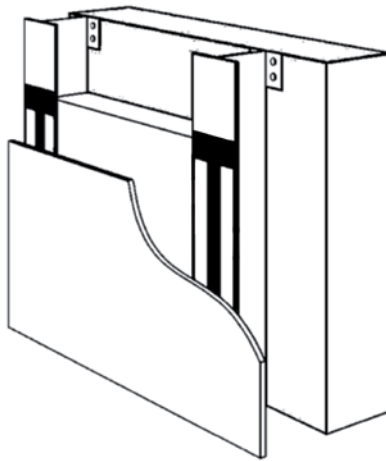


En cuanto a las fijaciones químicas, éstas pueden ser lineales a lo largo de varios lados del panel o alrededor de todo su perímetro.

No obstante, existen a día de hoy otros sistemas de fijación de paneles de fachada ventilada fuera de los descritos en el EAD 090062-00-0404, como son los sistemas de fijación química sobre la perfilería, o los sistemas de anclaje puntual (fijados directamente al material base como anclaje químico).



**Figura 44.**  
**Sistema anclaje de bulón**  
**en junta horizontal.**



**Figura 45.**  
**Sistema para el pegado**  
**elástico de paneles en**  
**fachadas ventiladas.**

Se describen a continuación las particularidades de los sistemas de fijación según el tipo de revestimiento.

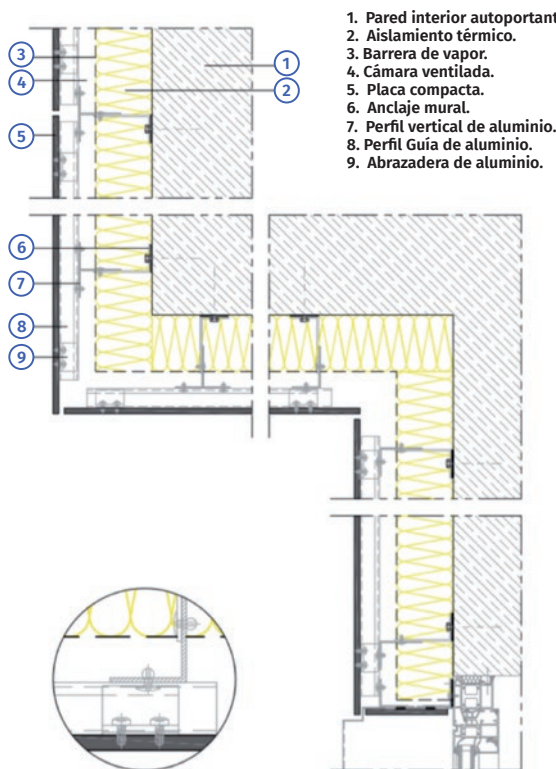
### 2.1.4.1 Sistema de fijación de placas compactas y HPL

Las placas compactas y HPL tienen diferentes sistemas de fijación divididos en sistemas vistos y ocultos.

#### 2.1.4.1.1. Fijación oculta mecánica mediante abrazaderas

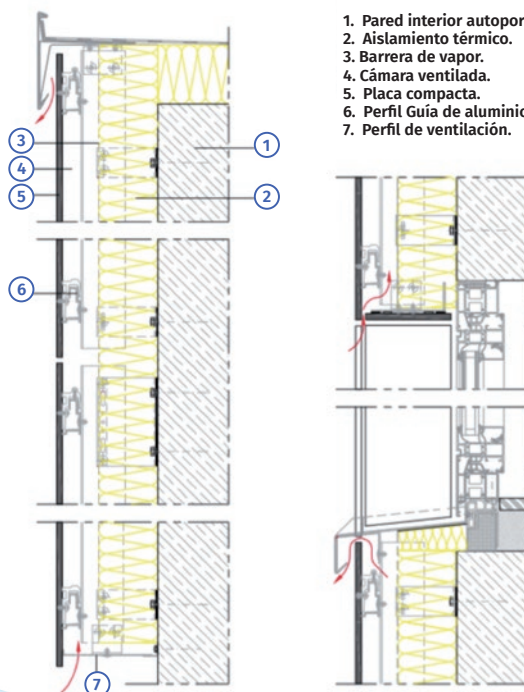
Sistema de fijación en aluminio compuesto por unas ménsulas al muro portante, una subestructura primaria de perfiles T y L y una segunda línea de perfiles horizontales sobre la que descansan unas abrazaderas que sujetan las placas por la cara inferior mediante fijaciones mecánicas ocultas.

## SECCIÓN HORIZONTAL



1. Pared interior autoportante (hormigón, mampostería).
2. Aislamiento térmico.
3. Barrera de vapor.
4. Cámara ventilada.
5. Placa compacta.
6. Anclaje mural.
7. Perfil vertical de aluminio.
8. Perfil Guía de aluminio.
9. Abrazadera de aluminio.

## SECCIÓN VERTICAL



1. Pared interior autoportante (hormigón, mampostería).
2. Aislamiento térmico.
3. Barrera de vapor.
4. Cámara ventilada.
5. Placa compacta.
6. Perfil Guía de aluminio.
7. Perfil de ventilación.

Figura 46.

Sección horizontal y  
vertical fijación oculta  
mediante abrazaderas.

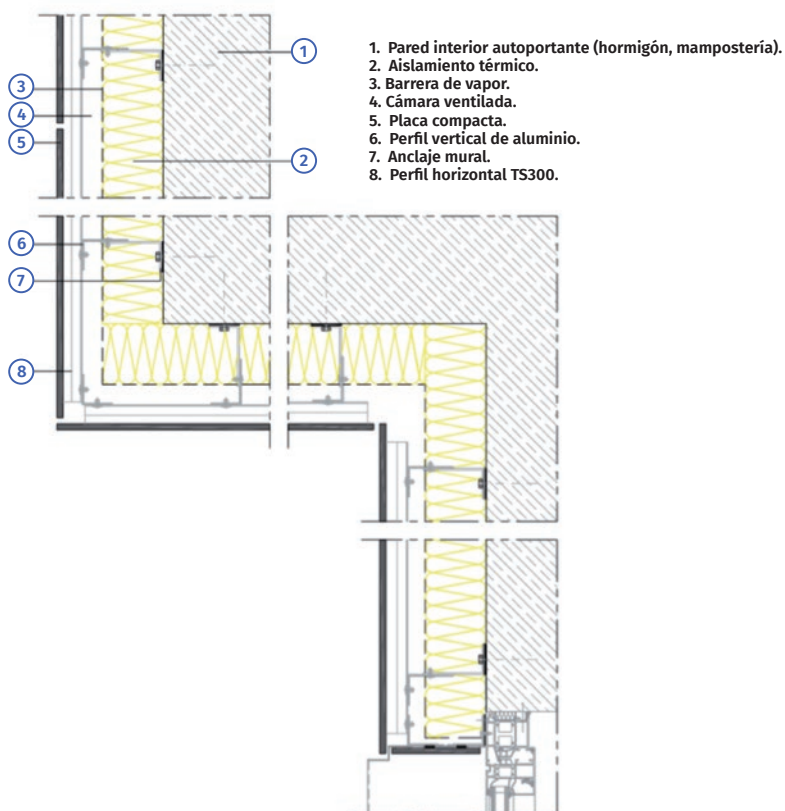
**Figura 47.**  
**Club David Lloyd Aravaca**  
**en Madrid. Fijación**  
**oculta mecánica.**



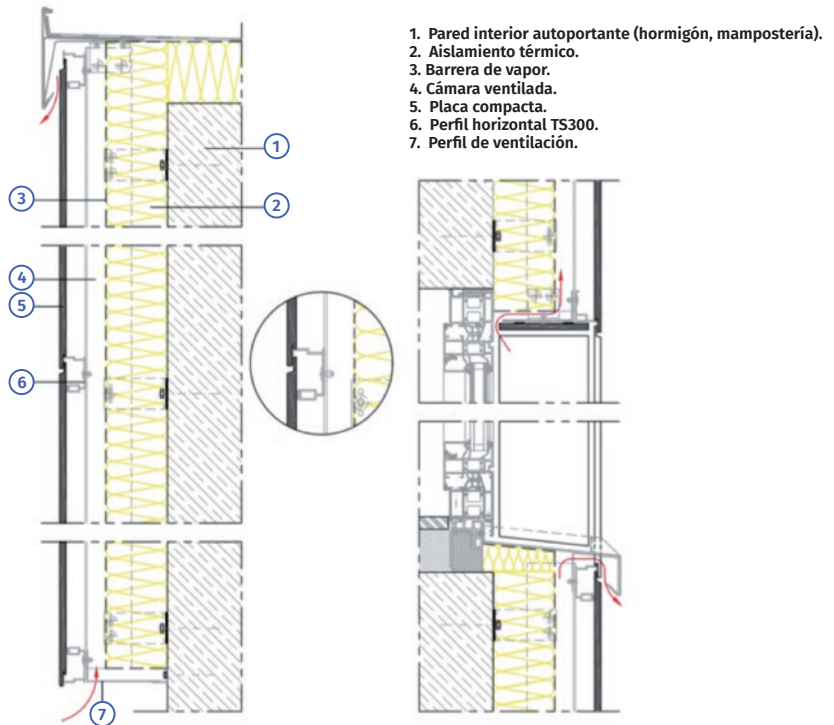
### 2.1.4.1.2. Fijación oculta modular

Sistema de fijación en aluminio compuesto por unas ménsulas al muro portante, una subestructura primaria de perfiles T y L y una segunda línea de perfiles horizontales que permanecen ocultos tras una mecanización continua en el canto superior e inferior de la placa.

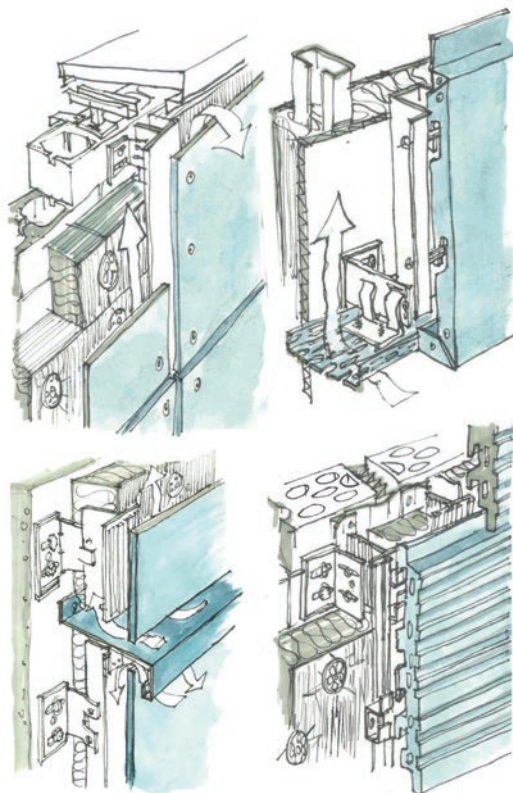
#### SECCIÓN HORIZONTAL



## SECCIÓN VERTICAL



**Figura 48.**  
Sección horizontal y  
vertical fijación oculta  
modular.



**CROQUIS Nº11**  
Puntos singulares.  
Coronación,  
arranque, coronación,  
compartimentación  
vertical de la cámara,  
junta de dilatación  
estructural.



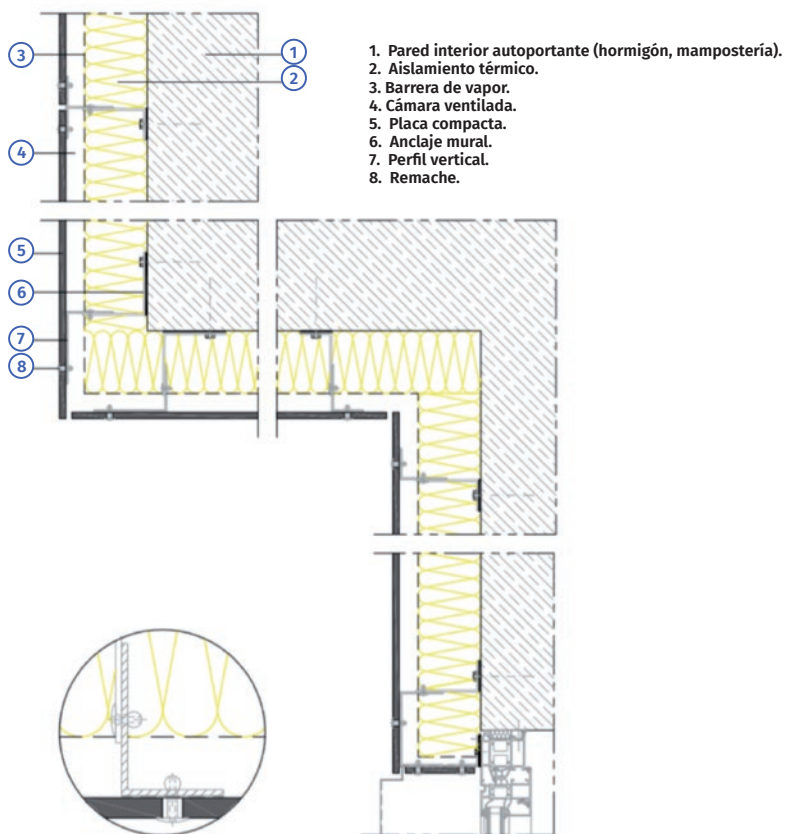
**Figura 49.**  
**Rehabilitación Clínica El**  
**Ángel de Málaga. Fijación**  
**oculta modular.**



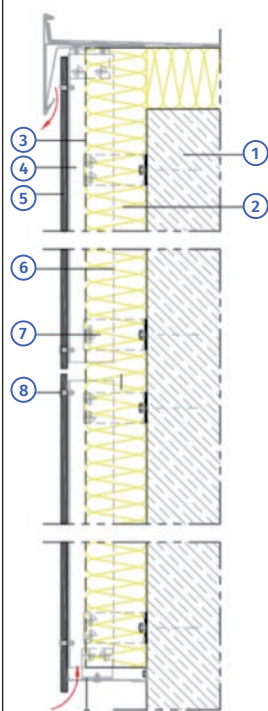
### 2.1.4.1.3. Fijación vista

Sistema de fijación en aluminio compuesto por unas ménsulas al muro portante, una subestructura primaria de perfiles T y L y fijaciones vistas puntuales en la placa mediante remaches ciegos.

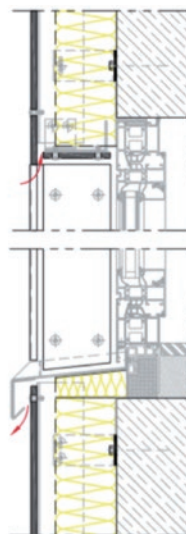
#### SECCIÓN HORIZONTAL



## SECCIÓN VERTICAL



1. Pared interior autoportante (hormigón, mampostería).
2. Aislamiento térmico.
3. Barrera de vapor.
4. Cámara ventilada.
5. Placa compacta.
6. Perfil vertical.
7. Anclaje mural.
8. Remache.
9. Perfil de ventilación.



**Figura 50.**  
**Sección horizontal y**  
**vertical fijación vista.**



**Figura 51.**  
**Hotel Donna en**  
**Castelldefels, Barcelona.**  
**Fijación vista.**



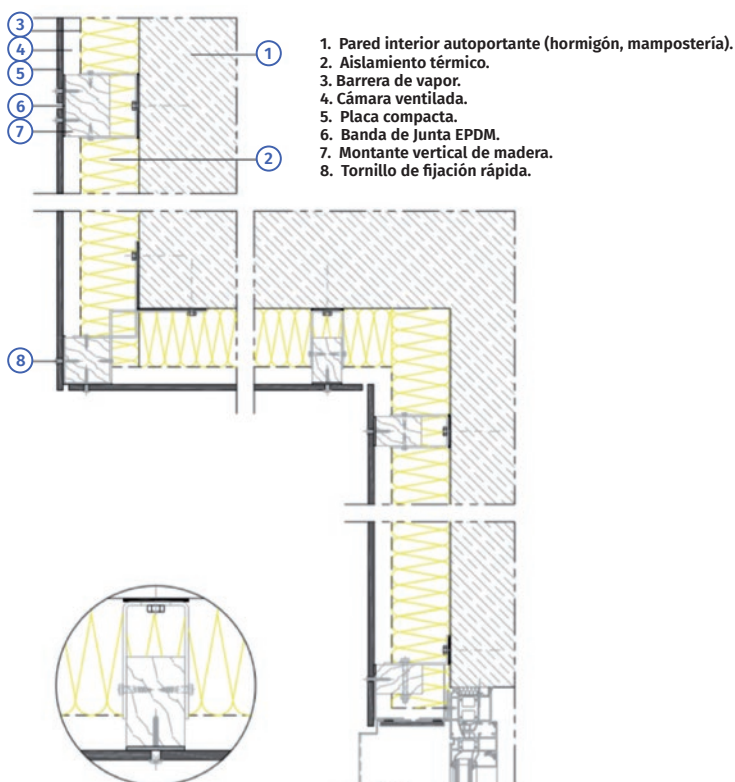
**Figura 52.**  
**Hotel BLUE Coruña en**  
**A Coruña. Sistema**  
**fijación vista mediante**  
**remaches.**



#### 2.1.4.1.4. Sistema visto sobre subestructura de madera tratada

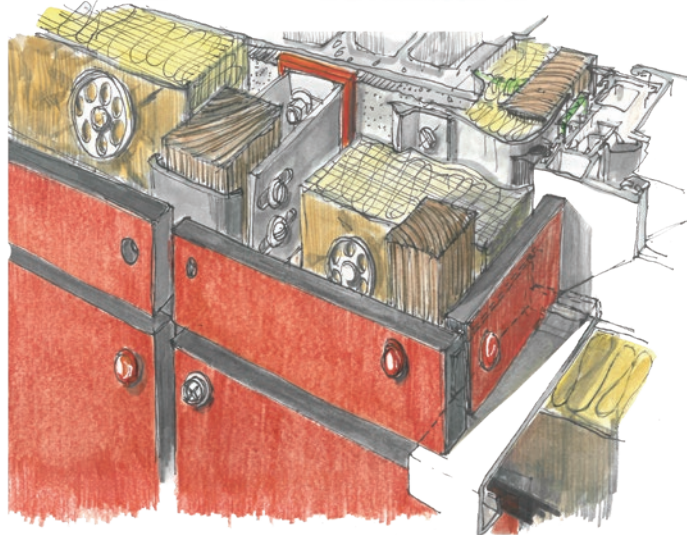
Sistema de fijación con subestructura de madera tratada compuesto por unas ménsulas al muro portante, una subestructura primaria de perfiles de madera y fijaciones vistas puntuales en la placa mediante tornillos.

##### SECCIÓN HORIZONTAL

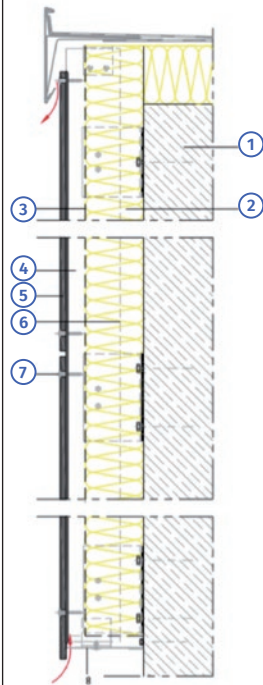


##### CROQUIS Nº12

Detalle de jamba y alféizar. Panel de resinas fenólicas HPL de 10 mm. de espesor fijado con tornillos pasantes. Subestructura vertical de madera tratada. Carpintería de aluminio con RPT, montado sobre premarco de madera. Muro interior de bloque de hormigón.



## SECCIÓN VERTICAL



1. Pared interior autoportante (hormigón, mampostería).
2. Aislamiento térmico.
3. Barrera de vapor.
4. Cámara ventilada y rastrel de madera.
5. Placa compacta.
6. Rastrel vertical de madera.
7. Tornillo de fijación rápida.
8. Perfil de ventilación.

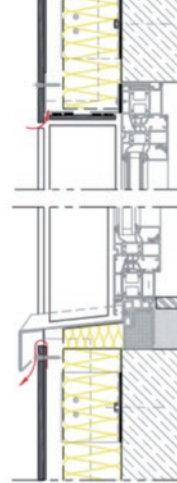


Figura 53.

Sección horizontal y vertical sistema visto sobre subestructura de madera tratada.

Figura 54.

Facultad de Química en el Campus de Bellaterra, Barcelona 1992. Sistema visto sobre subestructura de madera tratada.



### 2.1.4.1.5. Fijación oculta mediante adhesivo estructural (ver fijación química)

Sistema de fijación en aluminio o madera tratada compuesto por unas ménsulas al muro portante, una subestructura primaria de perfiles T y L y la fijación de la placa compacta mediante un sistema de adhesivo estructural.

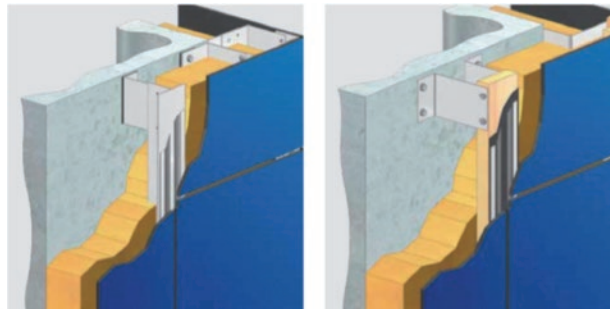
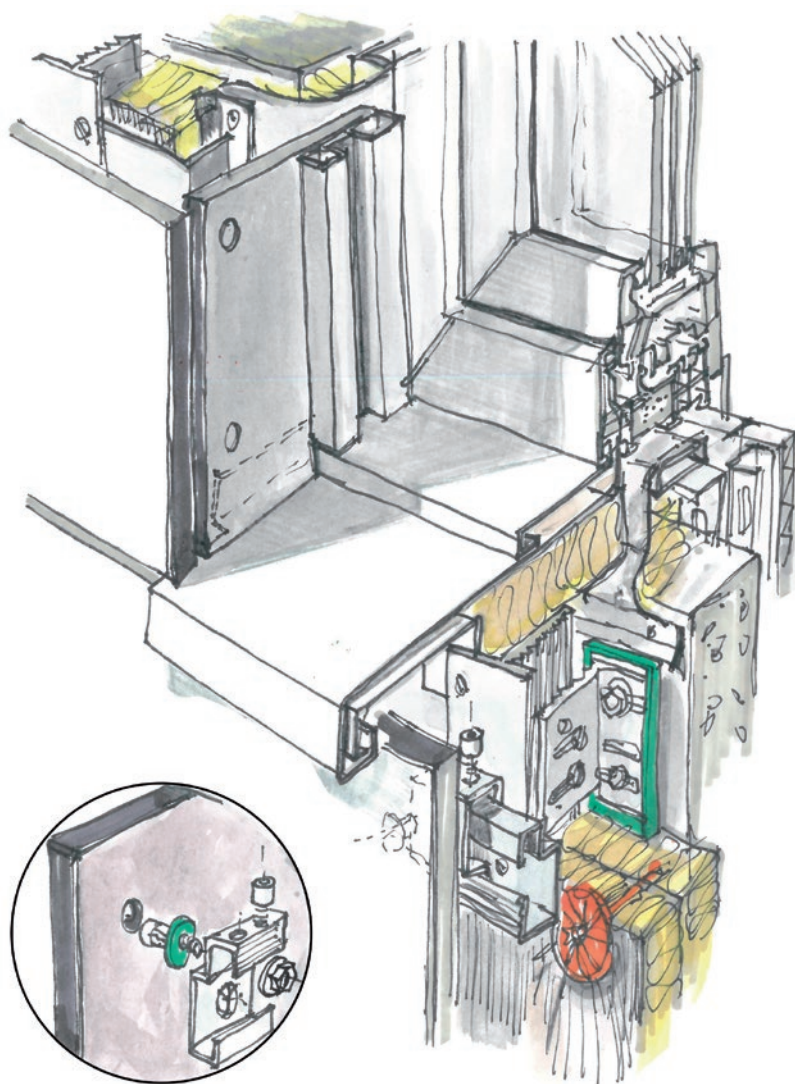


Figura 55.

Fijación oculta mediante adhesivo estructural.

**Figura 56.**

**Seis villas en Vista**  
**Palma, Gran Canarias.**



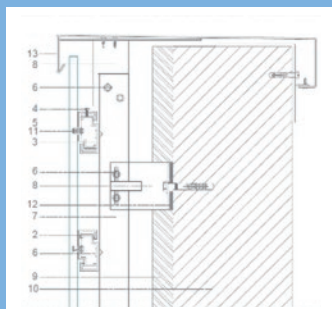
**CROQUIS Nº13**  
**Detalle de jamba**  
**y alféizar. Panel**  
**ultracompacto de 12 mm.**  
**de espesor fijado por**  
**puntos. Taladro rebajado**  
**truncocónico. Gancho.**  
**Rastrel horizontal**  
**continuo. Carpintería**  
**de PVC con guías de**  
**persiana, montado sobre**  
**premarco. Muro interior**  
**de hormigón in-situ.**



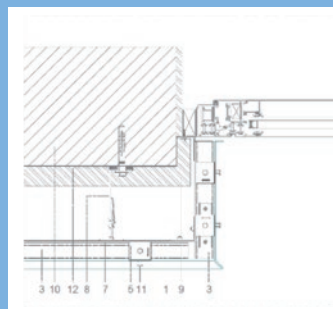
## 2.1.4.2 Sistema de fijación de superficies ultracompactas

### > *Sistemas de taladros destalonados ocultos en la cara trasera y anclaje tipo gancho.*

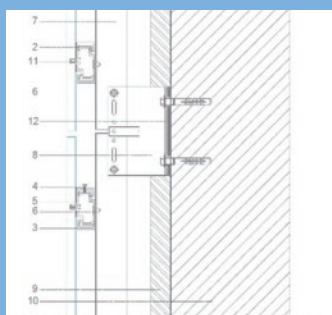
- ① Material ultracompacto
- ② Clip de fijación
- ③ Perfil horizontal
- ④ Tornillo taladrante
- ⑤ Grapa ajustable
- ⑥ Tornillo auto-taladrante
- ⑦ Perfil vertical
- ⑧ Separador "L"
- ⑨ Aislamiento térmico
- ⑩ Muro soporte
- ⑪ Anclaje destalonado
- ⑫ Rotura puente térmico
- ⑬ Albardilla



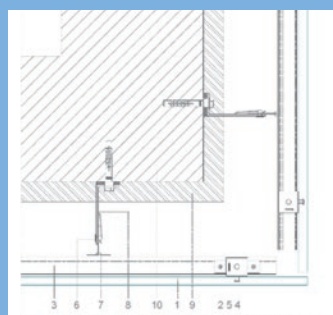
Detalle 1 - Sección vertical



Detalle 2 - Sección horizontal



Detalle 3 - Sección vertical



Detalle 4 - Sección horizontal

**Figura 57.**  
**Sistemas de taladros**  
**destalonados ocultos en**  
**la cara trasera y anclaje**  
**tipo gancho (DKT1).**

La estructura se compone de perfiles y grapas. Dichas grapas se fijan sobre el soporte existente, por medio de tacos de dimensiones oportunas y aptas para dicho soporte. Sobre los perfiles montantes se fijan posteriormente los perfiles horizontales, sobre los que se cuelgan las piezas.

El cálculo de la estructura debe contemplar la absorción de dilataciones y contracciones térmicas, así como posibles movimientos del soporte, sin que el revestimiento se vea afectado por las tensiones.

Este tipo de sistemas requieren una cuidada y correcta ejecución de los taladros en la cara trasera de la pieza mediante un control de calidad que asegure que cada taladro se encuentra dentro de las tolerancias indicadas por el fabricante.

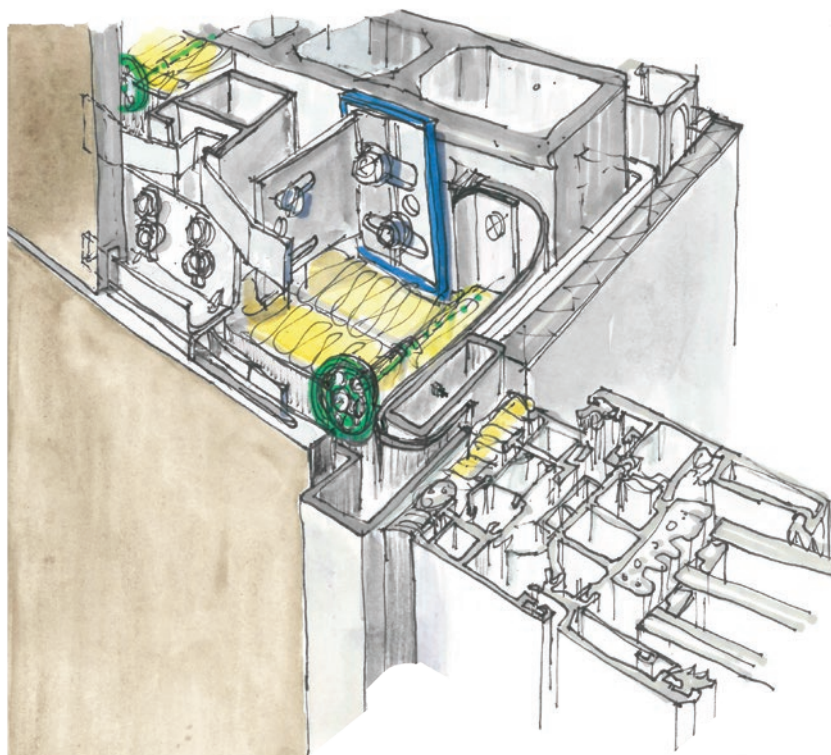


**Figura 58.**  
**Ejemplo de fachada**  
**realizada con sistema de**  
**taladros destalonados**  
**ocultos y anclajes tipo**  
**gancho en paneles**  
**ultracompactos (DKT1).**  
**Proyecto Porsche Design**  
**boutique. Illinois, USA.**

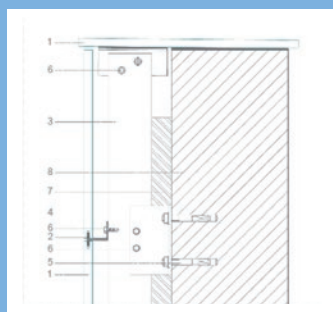
> **Sistemas de ranura continua en canto y anclaje con perfil continuo o discontinuo.**

**CROQUIS N°14**

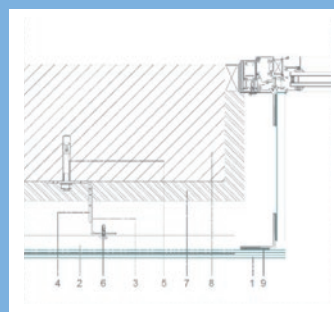
*Detalle de jamba. Placa de 10 mm de espesor fijada por grapas puntuales ocultas en la ranura del canto. Rastrel vertical con grapa y fleje de presión. Carpintería de aluminio con rotura de puente térmico, montada sobre premarco en voladizo, para enrasar la ventana en el plano exterior de la fachada.*



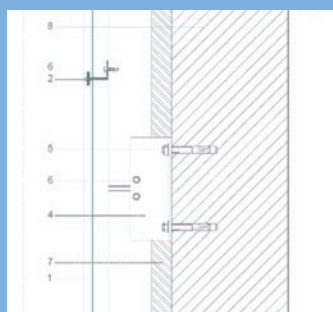
- ① Material ultracompacto
- ② Perfil horizontal
- ③ Perfil vertical
- ④ Separador "L"
- ⑤ Anclaje mecánico
- ⑥ Tornillo auto-taladrante
- ⑦ Aislamiento térmico
- ⑧ Muro soporte
- ⑨ Adhesivo



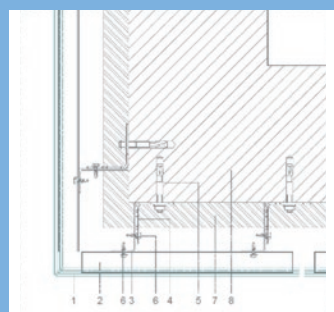
Detalle 1 - Sección vertical



Detalle 2 - Sección horizontal



Detalle 3 - Sección vertical



Detalle 4 - Sección horizontal

**Figura 59.**  
**Sistemas de ranura**  
**continua en canto**  
**y anclaje con perfil**  
**continuo o discontinuo**  
**(DKT2 y DKT3).**

La estructura se compone de perfiles y ménsulas. Los perfiles verticales se anclan directamente al soporte existente mediante ménsulas y perfiles horizontales que se encajan en las ranuras practicadas en las piezas con este objetivo. No es necesario ningún sistema adhesivo para su fijación.

La adopción de este sistema está directamente relacionada con el formato de la pieza, ya que las fijaciones van sólo a bordes.

El cálculo de la estructura debe contemplar la absorción de dilataciones y contracciones térmicas, así como posibles movimientos del soporte, de modo que el revestimiento no se vea afectado por las tensiones.

**Figura 60.**

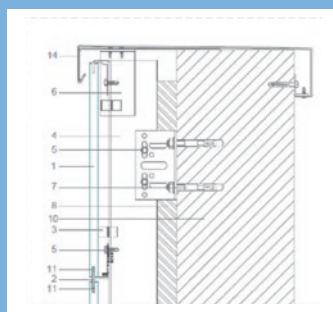
**Vivienda en Aravaca con paneles ultracompactos.**

**Sistema de ranura continua en canto de piezas con perfil continuo (DKT2).**

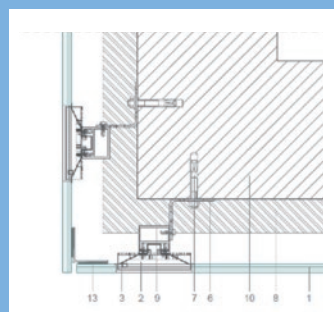


## > **Sistemas de ranura continua en canto con anclaje puntual de grapas**

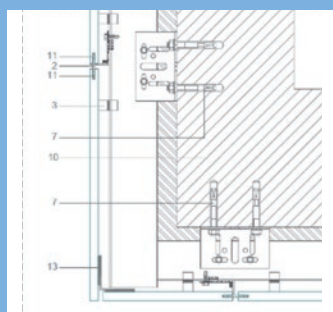
- ① Material ultracompacto
- ② Grapa de acero inoxidable
- ③ Muelle presión
- ④ Muelle presión
- ⑤ Tornillo autotaladrante
- ⑥ Separador "L"
- ⑦ Anclaje mecánico
- ⑧ Aislamiento térmico
- ⑨ Escuadra
- ⑩ Muro soporte
- ⑪ Sujeción en ranura
- ⑫ Jamba de aluminio
- ⑬ Adhesivo
- ⑭ Albardilla



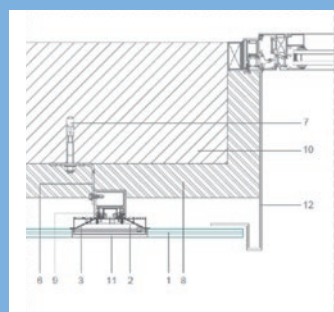
**Detalle 1 - Sección vertical**



**Detalle 2 - Sección horizontal**



**Detalle 3 - Sección vertical**



**Detalle 4 - Sección horizontal**

**Figura 61.**

**Sistemas de ranura en canto con anclaje puntual de grapas (DKT3).**



### Grapa visible:

En este sistema las piezas quedan fijadas por grapas vistas, que se atornillan a los perfiles verticales fijados a la pared mediante ménsulas.

Las piezas no necesitan mecanizado con lo que no se generan puntos débiles. Por otra parte, la grapa queda visible y expuesta a la intemperie.

### Grapa oculta:

El funcionamiento es similar al sistema de grapa vista, salvo que en este caso las piezas se ranuran generalmente en su canto inferior y superior para anclar la grapa en ellas.

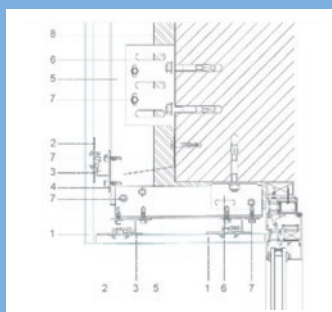
## > **Sistemas mecánicos o híbridos químico-mecánicos con ranurado en cara trasera y anclaje con perfiles tipo gancho**

Se componen de perfiles longitudinales de gancho y cierre o en clip unidos a la cara trasera de la pieza, previamente mecanizada con dos ranuras continuas e inclinadas en forma de cola de milano.

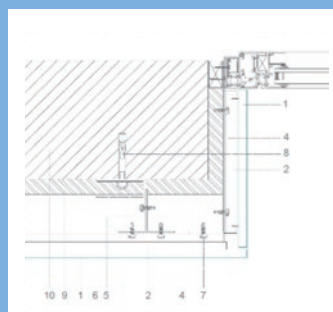
Una vez fijados los perfiles de percha y cierre o perfil en clip en la pieza, ésta se cuelga sobre el perfil horizontal previamente atornillado a los perfiles verticales fijados mediante ménsulas al muro o forjado soporte.

- ① Material ultracompacto
- ② Perfil percha superior
- ③ Perfil percha inferior
- ④ Perfil horizontal
- ⑤ Perfil vertical
- ⑥ Separador "L"
- ⑦ Tornillo autotaladrante
- ⑧ Anclaje mecánico
- ⑨ Aislamiento térmico
- ⑩ Muro soporte

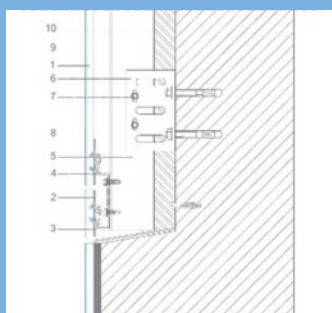
**Figura 62.**  
**Sistemas híbridos**  
**químico-mecánicos**  
**con ranura continua en**  
**cara trasera y anclaje**  
**con perfil continuo tipo**  
**gancho(DKM).**



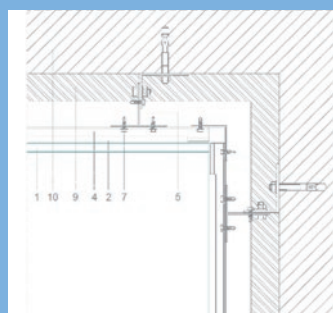
Detalle 1 - Sección vertical



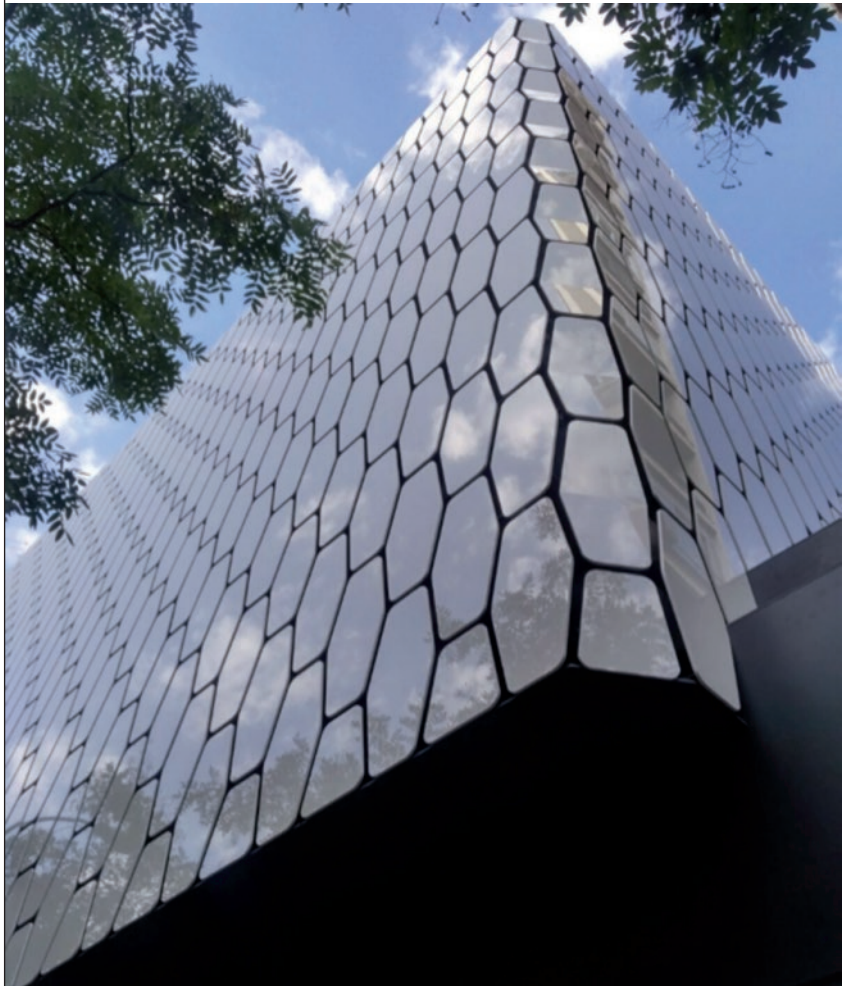
Detalle 2 - Sección horizontal



Detalle 3 - Sección vertical



Detalle 4 - Sección horizontal



**Figura 63.**

**Fachada Gunni&Trentino  
HQ (Madrid). Sistema  
híbrido químico-  
mecánico (DKM) y  
paneles ultracompactos.**

### **> Sistemas mecánicos de ranura discontinua en cara trasera y anclaje con perfil discontinuo tipo gancho**

La estructura se compone de perfiles y ménsulas.

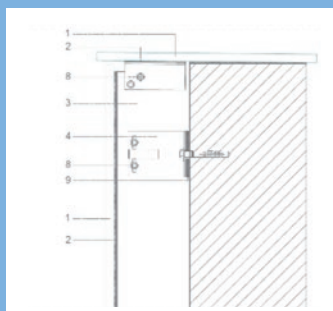
Los perfiles verticales se anclan directamente al soporte existente mediante ménsulas, sobre el que se atornillan perfiles horizontales continuos. En la parte trasera de las piezas se realizan ranuras discontinuas inclinadas en forma de cola de milano, sobre la que se encajan mediante clip y cierre los perfiles horizontales discontinuos que sirven de gancho para colgar la pieza. Este sistema no emplea adhesivo en la fijación de los perfiles a la pieza.

El cálculo de la estructura debe contemplar la absorción de dilataciones y contracciones térmicas, así como posibles movimientos del soporte, sin que el revestimiento se vea afectado por las tensiones en el sistema.

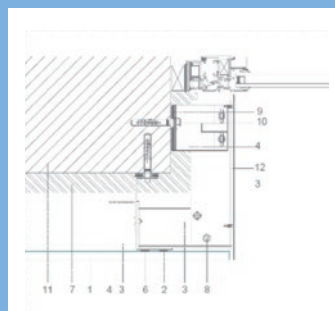
### **> Fijación química**

Estos sistemas fijan los paneles a la subestructura mediante adhesivo estructural, sin emplear fijaciones mecánicas.

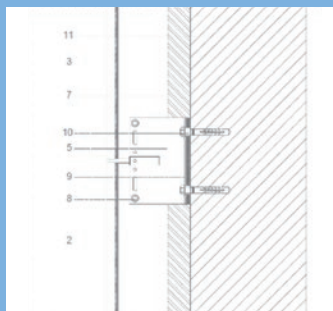
- ① Material ultracompacto
- ② Adhesivo
- ③ Perfil vertical
- ④ Separador secundario
- ⑤ Separador primario
- ⑥ Cinta doble cara
- ⑦ Aislamiento térmico
- ⑧ Tornillo auto-taladrante
- ⑨ Rotura puente térmico
- ⑩ Anclaje mecánico
- ⑪ Muro soporte
- ⑫ Jamba aluminio



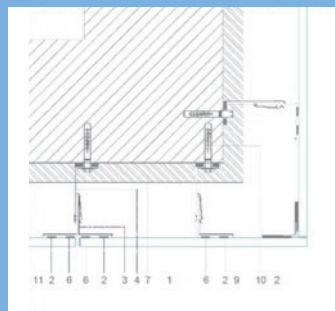
Detalle 1 - Sección vertical



Detalle 2 - Sección horizontal



Detalle 3 - Sección vertical



Detalle 4 - Sección horizontal

**Figura 64.**  
**Fijación química.**

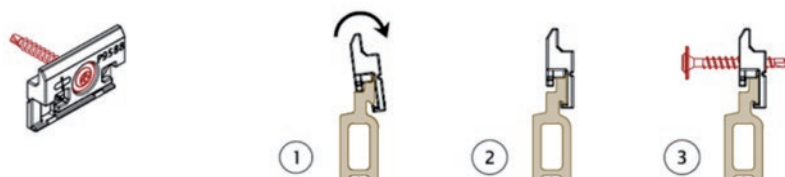


**Figura 65.**  
**Fachada Juwelier**  
**Geers, Bélgica. Sistema**  
**químico (DKC) y paneles**  
**ultracompactos.**

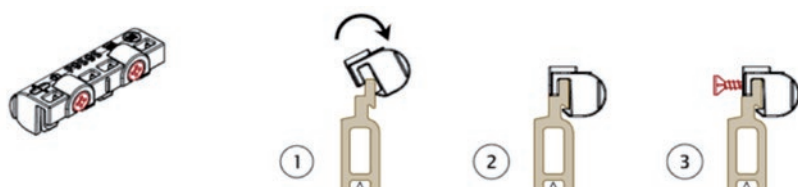
### 2.1.4.3 Sistema de fijación de fachadas ventiladas de composite y PVC, Polipropileno y PVC compactados

Las fachadas ventiladas de composite están compuestas por una subestructura autoportante de madera o aluminio anclada a la estructura soporte.

Para unión entre perfiles, se utiliza un clip que mantiene la placa perfil de composite en su lugar, mientras permite su expansión en longitud y ancho. Este clip se fija fácilmente en la lama de composite y en cualquier abrazadera. Una vez colocado, se fija a la abrazadera utilizando su tornillo (ambos disponibles en los kits de montaje).



Para garantizar la expansión simétrica en ambos lados de la placa, se dispone de un clip especial que bloquea el perfil.



Para asegurar una expansión idéntica en ambos lados de los perfiles, se fija en el centro de los perfiles (o el medio más cercano al centro) con 2 clips, uno a cada lado del rastrel.

Los perfiles de composite se suministran en longitudes de hasta 6 metros.

La serie se completa con perfiles de acabado en el mismo color para esquinas exteriores, interiores, rejillas de ventilación para los alféizares, etc.

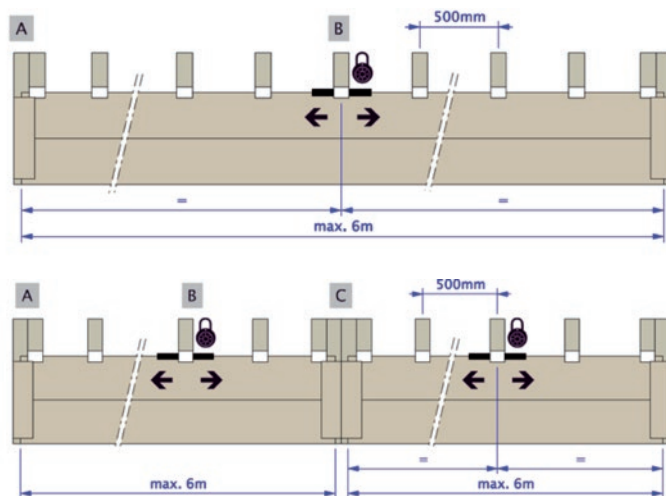


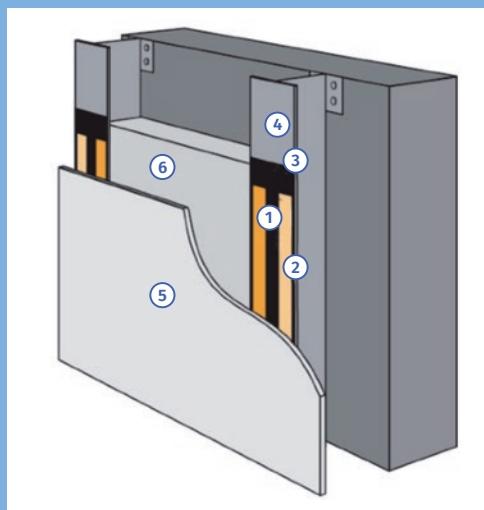
Figura 67.

Ejemplo de fijación del perfil en su centro con el clip de bloqueo, que dirige la dilatación de forma lineal a izquierda y derecha.

### 2.1.4.4 Fijación química

Los paneles se pueden fijar a un rastrel sin necesidad de fijaciones mecánicas y permitiendo una libertad de diseño al arquitecto. La permanente naturaleza elástica del adhesivo, junto con la buena adhesión a una gran variedad de sustratos, hacen que los sistemas de unión químicos se adapten a los movimientos originados por los cambios de temperatura.

- ① Adhesivo estructural monocomponente de curado por humedad
- ② Cinta- espuma de polietileno de célula cerrada con adhesivo sensible a la presión para la fijación inicial del panel
- ③ Limpiadores e imprimadores (según recomendación del fabricante)
- ④ Rastrel de aluminio (anodizado y en bruto)
- ⑤ Panel de fachada
- ⑥ Material aislante



**Figura 68.**

**Sistema para el pegado elástico de paneles en fachadas ventiladas.**

Estos sistemas de unión pueden utilizarse para la fijación de paneles compuestos, cerámicos, HPL, laminados y base cemento, así como paneles metálicos y con recubrimiento.

#### > **Características de los sistemas de fijación química por medio de adhesivos elásticos:**

- Pegado elástico – distribución uniforme de tensiones a lo largo de todo el panel y, por lo tanto, sin flexión en el panel. En los paneles, se ejercen fuerzas causadas por el movimiento (contracción y expansión) del panel, el peso del panel y las cargas de viento. Debido a que el adhesivo se aplica en una superficie relativamente grande, no hay carga puntual. Las fuerzas que actúan sobre el panel se distribuyen en toda la longitud del adhesivo y se transfieren favorablemente a la construcción de soporte. No hay rotura en la conexión elástica (adhesivo) y se logra una alta resistencia a la fatiga.
- Instalación rápida
- La capa de adhesivo evita la corrosión galvánica
- Aplicación de paneles más delgados. Debido a que los paneles están pegados sobre una superficie mayor, la distribución de esfuerzos es más uniforme y por lo tanto se pueden usar paneles más delgados.
- La unión elástica tiene la capacidad de absorber vibraciones como resultado de, por ejemplo, tráfico pesado o movimientos sísmicos.



> **Para la utilización de este tipo de sistemas se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:**

- Experiencia requerida: formado y experimentado. Algunos fabricantes pueden distinguir los aplicadores con certificados de excelencia.
- El aplicador debe tener suficiente conocimiento del sistema adhesivo, las condiciones bajo las cuales puede aplicarlo y la cantidad de adhesivo a aplicar. Si este conocimiento es insuficiente, esto puede llevar a errores durante la aplicación. El aplicador debe establecer un sistema de control de calidad.
- Los paneles adheridos no se suelen poder ajustar, aunque existe algún adhesivo que sí permite ajustar algunos milímetros tras la adhesión inicial.
- Una vez que el panel está unido y el adhesivo se ha curado, el ajuste del panel ya no es posible. Por ello, es importante que el panel esté posicionado correctamente.
- Condiciones climáticas: dependiendo de la tecnología (MS, PU, o silicona), el rango de temperatura de aplicación puede variar.
- La instalación de paneles por unión no puede realizarse en todas las condiciones climáticas. En ciertas condiciones la aplicación no puede tener lugar sin tomar medidas de precaución. Por ejemplo, en casos de lluvia, niebla, temperaturas por debajo de 5 °C o viento fuerte.

> **El sistema de pegado:**

El sistema adhesivo consiste en varios tratamientos y productos que usados correctamente aseguran una perfecta unión de los paneles. La composición de dicho sistema depende de los materiales utilizados (el panel de revestimiento, la construcción de soporte y tipo de adhesivo). Los sistemas constan normalmente de los siguientes componentes:

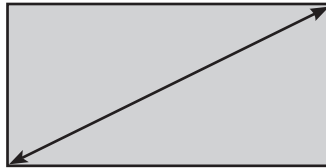
- **Limpiador:** su función principal es eliminar la suciedad y las impurezas de la superficie a adherir, (tanto en el perfil/ rastrel y en el panel), con ello se evita que restos de materiales sueltos o polvo queden entre cualquiera de los elementos, disminuyendo la superficie a adherir.
- **Activador/ promotor de adherencia:** muchas veces puede ser el mismo limpiador u otro producto diferente, su función es la de ser un promotor de adherencia entre las superficies.
- **Imprimación:** son capas intermedias que se emplean sobre los sustratos para mejorar la resistencia y durabilidad de las uniones adhesivas; otra función también es regularizar a nivel microscópico la superficie para así aumentar la superficie de adherencia.
- **Cinta doble cara:** es una cinta de polietileno de espesor específico la cual posee un adhesivo en ambos lados, su función es mantener adheridos ambos soportes hasta que el adhesivo haya curado en su totalidad, además de ser una guía para el espesor necesario del adhesivo.
- **Adhesivo:** es la sustancia que “une”, adhiere ambas superficies a pegar, puede ser de diferentes composiciones y estados de materia; en este caso específico estos adhesivos están compuestos de poliuretanos o siliconas generalmente.

Un aspecto relevante en el caso de la colocación de fachadas ventiladas con métodos químicos es el cálculo de la distancia entre los rastreles y la cantidad de cordones de adhesivo por panel.

Depende del tipo de adhesivo que se quiera utilizar y el tipo de norma con la cual se quiere calcular.

### > Consideraciones sobre los paneles

Es importante considerar el tamaño máximo que se puede pegar con cada tipo de adhesivo.



Para ello, el tamaño del panel se determina mediante la máxima longitud posible de su diagonal, en el cálculo de la cual se consideran los siguientes factores:

**MMP:** Movimiento Máximo Permitido del adhesivo (este dato puede variar en función de la tecnología del adhesivo).

**ED:** Estabilidad Dimensional del panel.

El cálculo de dicha longitud se efectúa mediante la siguiente relación:

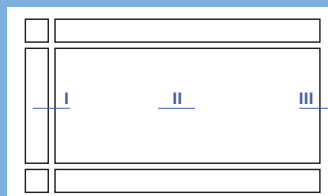
Longitud máxima de la diagonal =  $MMP \text{ (mm)} / (0.5 \times ED \text{ (mm)/m})$ .

### >> NOTA:

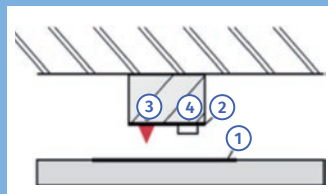
*Los paneles han de estar totalmente planos en el momento del encolado. En este sentido, los paneles de mayor tamaño son más críticos que los de tamaño reducido. Se sugiere extremar los cuidados en el momento de almacenar y manipular los paneles.*

### > Esquemas de montaje

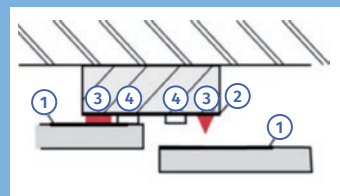
- ① Pretratamiento del panel
- ② Pretratamiento de los soportes
- ③ Adhesivo
- ④ Cinta adhesiva doble cara



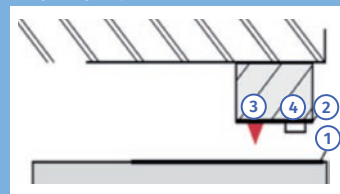
Fachada / muro (vista frontal)



II. Soporte intermedio



I. Soporte para juntas



III. Soporte en extremos

**Figura 69.**

**Fachada oficinas en  
Roermond, Países Bajos.**

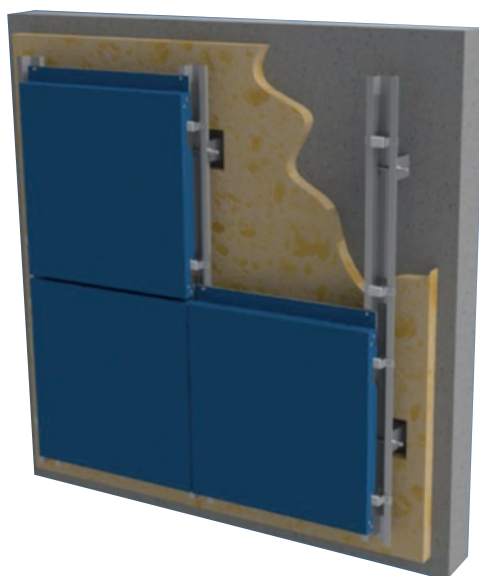
**Sistema fijación oculta  
mediante sistema  
adhesivo con placa de  
lana de roca.**



### 2.1.4.5 Sistema de fijación de paneles composite

Los paneles composite tienen diferentes sistemas de fijación, que se pueden dividir principalmente en sistemas vistos y ocultos.

#### 2.1.4.5.1. Fijación oculta colgada / bandejas o cassettes

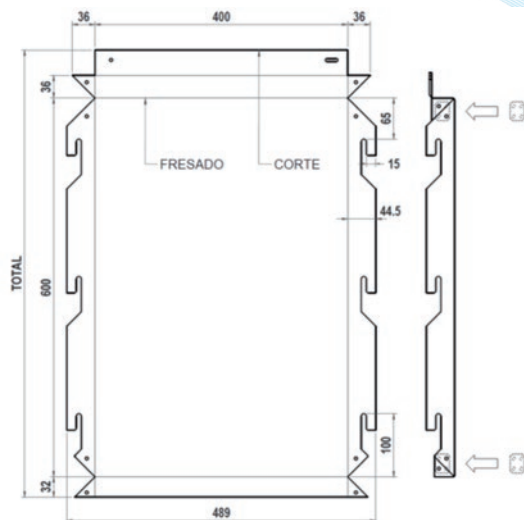


**Figura 70.**

**Sistemas de fijación de  
paneles composite en  
bandejas.**

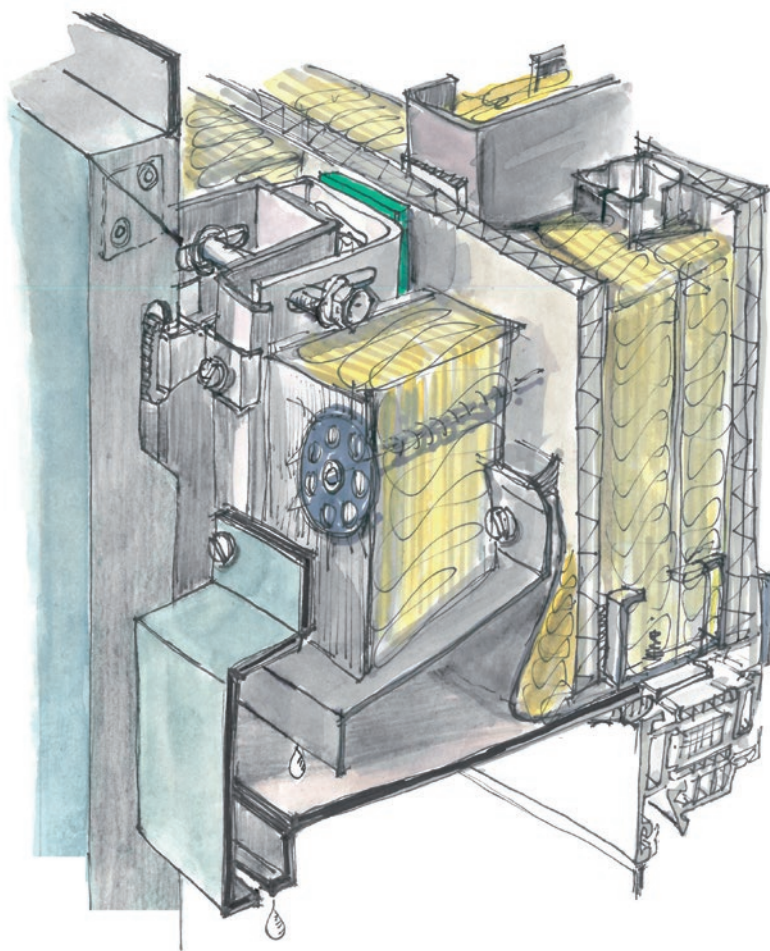
Este sistema se basa en la conformación de los paneles composite en BANDEJAS, normalmente con los dos cantos verticales en torno a 40-50 mm, un canto horizontal inferior algo más pequeño, y un canto horizontal superior formado por un doble pliegue en Z (ver figuras inferiores para una mejor comprensión).

**Figura 71.**  
**Mecanización de un**  
**panel para el sistema de**  
**bandejas.**

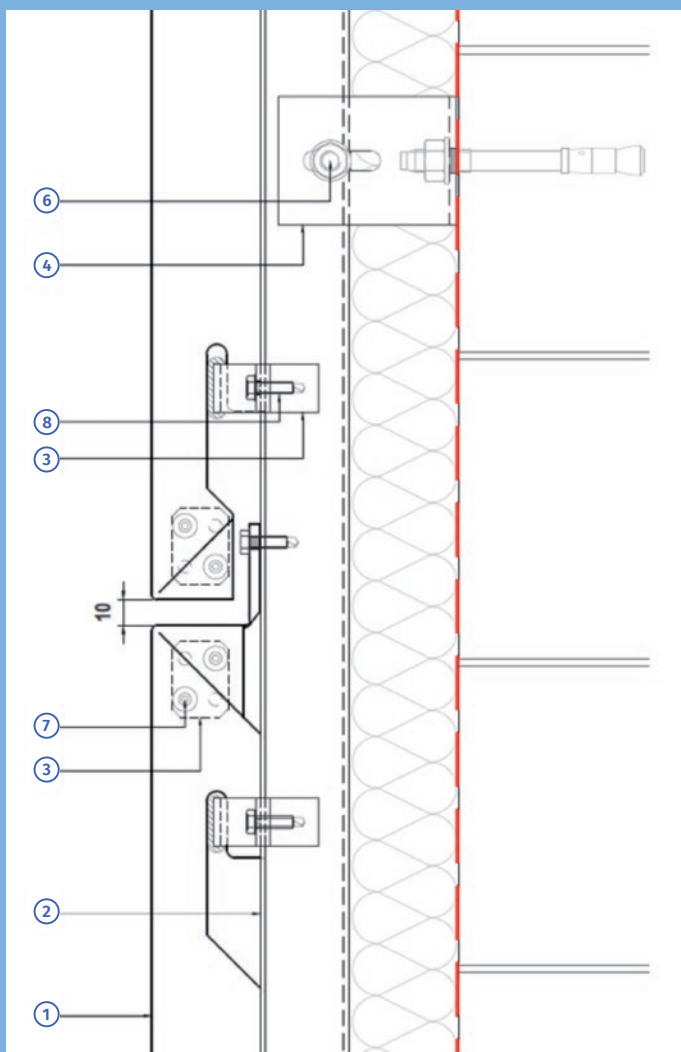


Estas bandejas se 'arman' con unas pequeñas pletinas generalmente de aluminio que se remachan en las cuatro esquinas.

**CROQUIS N°15**  
**Detalle de dintel.**  
**Sistema de bandejas**  
**conformadas a 4 lados,**  
**de panel composite,**  
**colgada en mainel**  
**vertical. Carpintería de**  
**aluminio con rotura de**  
**punto térmico montada**  
**en muro interior de**  
**construcción seca con**  
**panel hidrófugo.**



- ① Panel Composite
- ② Perfil
- ③ Pieza LC-3 con goma
- ④ Ménsula LCH-2
- ⑤ Chapa de aluminio 3 mm
- ⑥ Tornillo de cabeza hexagonal  
ISO 4017-M8x80 (DIN 931)  
Arandela
- ⑦ Remache ciego  
ISO 15977-4,8x12 AIA/St (dk=9,5mm)  
(DIN 7337)
- ⑧ Tornillo auto-taladrante  
ISO 15480 St 4,8x19 (DIN 7504K)



**Figura 72.**

**Sección vertical sistema  
fijación oculta colgada.**

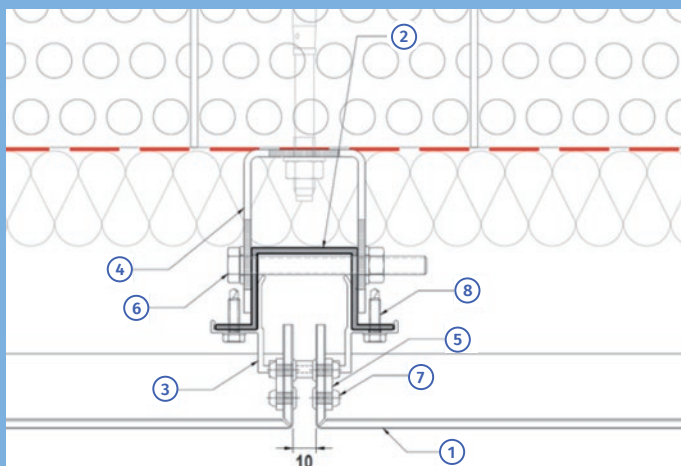
El doble pliegue superior sirve por un lado para dificultar por gravedad y geometría la entrada del agua a la cámara, y por el otro para fijar mecánicamente las bandejas a los perfiles verticales, impidiendo su 'descabalgamiento' de los cuelgues, y controlando y dirigiendo las dilataciones horizontales de los paneles.

Los cuelgues o 'botas de cuelgue' son geometrías mecanizadas en los cantos verticales tal y como puede verse en la sección vertical aportada.

En el caso de que la bandeja tenga una modulación horizontal con una anchura suficiente, se necesitan sujeciones intermedias, para lo que se pegan a la cara interna de la bandeja unos elementos denominados PCIs (Pieza de Cuelgue Intermedio) o rigidizadores, por lo general mecanizados sobre despuntes del mismo panel, y que también incorporan botas de cuelgue para conseguir esta fijación intermedia necesaria y por lo tanto buscada.



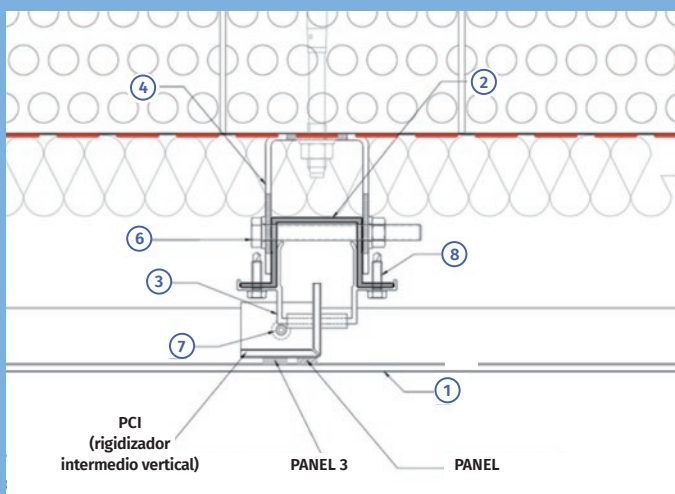
- ① Panel Composite
- ② Perfil
- ③ Pieza LC-3 con goma
- ④ Ménsula LCH-2
- ⑤ Chapa de aluminio 3 mm
- ⑥ Tornillo de cabeza hexagonal  
ISO 4017-M8x80 (DIN 931)  
Arandela  
ISO 7089-8 200HV (DIN 125)  
Tuerca hexagonal  
ISO 4032-M8-8 (DIN 934)
- ⑦ Remache ciego  
ISO 15977-4,8x12 AIA/St (dk=9,5 mm)  
(DIN 7337)
- ⑧ Tornillo auto-taladrante  
ISO 15480 St 4,8x19 (DIN 7504K)



**Figura 73.**

**Sección horizontal  
sistema fijación oculta  
colgada.**

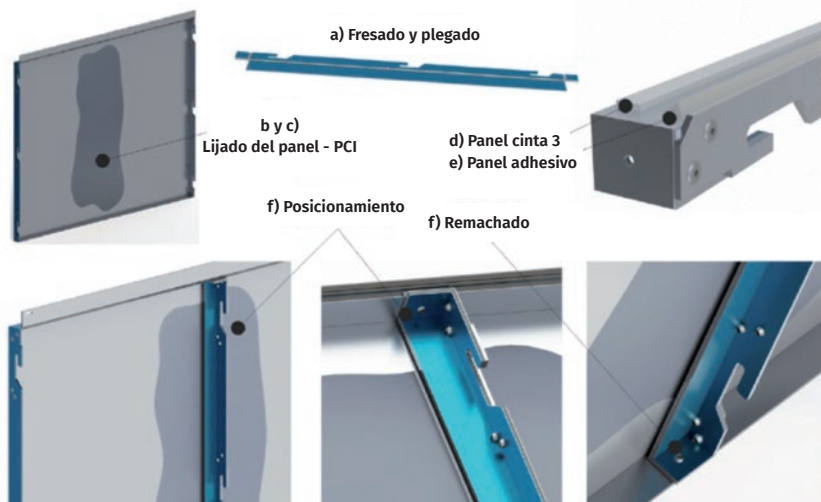
- ① Panel Composite
- ② Perfil
- ③ Pieza LC-3 con goma
- ④ Ménsula LCH-2
- ⑥ Tornillo de cabeza hexagonal  
ISO 4017-M8x80 (DIN 931)  
Arandela  
ISO 7089-8 200HV (DIN 125)  
Tuerca hexagonal  
ISO 4032-M8-8 (DIN 934)
- ⑦ Remache ciego  
ISO 15977-4,8x12 AIA/St (dk=9,5 mm)  
(DIN 7337)
- ⑧ Tornillo auto-taladrante  
ISO 15480 St 4,8x19 (DIN 7504K)



**Figura 74.**

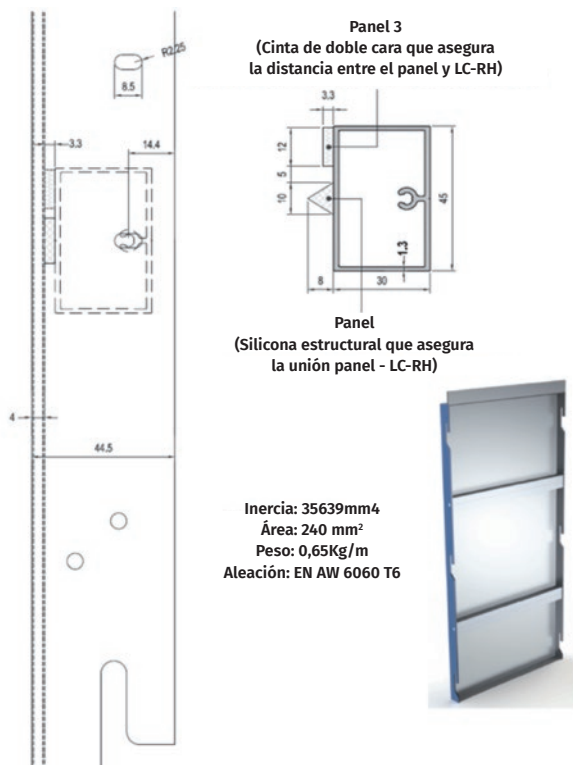
**Sección horizontal  
cuelgue intermedio (PCI)  
en el sistema.**

**Figura 75.**  
Esquema en 3D  
colocación cuelgue  
intermedio (PCI).



En el caso de modulaciones verticales, en las bandejas, dependiendo de la carga de viento y de su anchura, se pueden sustituir estos PCs (que implican un montante extra para cada uno de ellos) por rigidizadores horizontales, normalmente de extrusión de aluminio, adhesivados también a la cara interior del panel, y que en este caso NO se conectan a la subestructura de soporte del sistema, ahorrando por lo tanto la inclusión de montantes intermedios. Estos rigidizadores se solidarizan a los cantos verticales mediante un tornillo de cabeza plana que garantiza la fijación mecánica redundante. Para este fin el rigidizador puede llevar de extrusión un portatornillos (ver figura 76) que facilita esta operación.

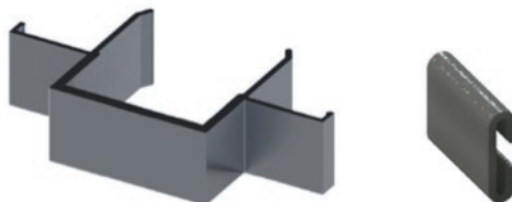
**Figura 76.**  
Sección vertical  
rigidizador horizontal  
LC-RH.



El sistema se completa con una perfilera vertical, normalmente de aluminio y con una sección en forma de omega, a la que se atornillan las ‘piezas de cuelgue’ puntuales (denominadas ‘3’ en las figuras anteriores), también mecanizadas a partir de barras extruidas de aluminio, que deben incluir un elemento elastomérico para asegurar el ajuste de la unión e impedir vibraciones y ruidos.

**Figura 77.**

**Pieza de cuelgue  
y elastómero  
antivibraciones.**



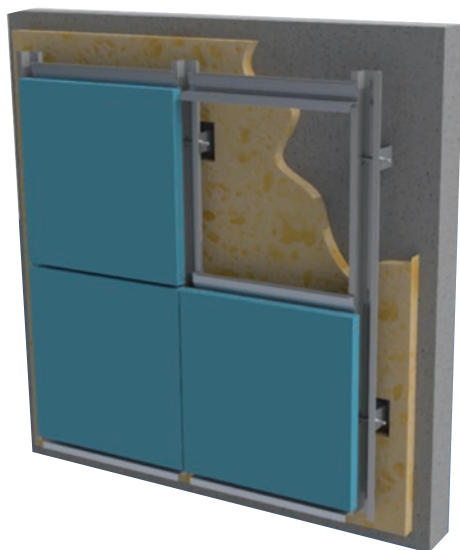
Estos perfiles verticales se conectan a la hoja principal del edificio a través de unas ménsulas, normalmente también de aluminio, que se encargan de transmitir las acciones que llegan a los paneles (por lo general peso propio y viento) a la estructura principal del edificio.



**Figura 78.**

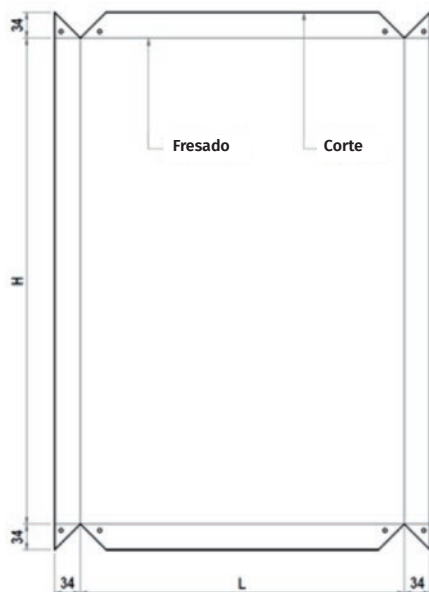
**Viviendas Torre Australis  
en Madrid (España).  
Sistema oculto colgado,  
panel composite.**

### 2.1.4.5.2. Fijación oculta machihembrada



**Figura 79.**  
*Fijación oculta  
machihembrada.*

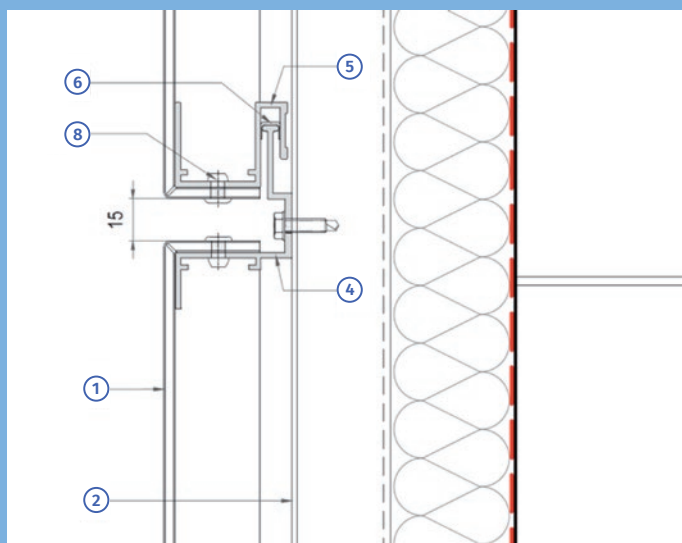
Este sistema también se basa en la conformación de bandejas, aunque en este caso los cuatro cantos son de igual dimensión, algo menor además que para el sistema de bandejas (en torno a los 30 mm).



**Figura 80.**  
*Desarrollo en plano de  
la bandeja tipo para el  
sistema machihembrado.*

El sistema consta por un lado de dos perfiles horizontales de extrusión de aluminio macho / hembra, que van remachados a los cantos horizontales de las bandejas. Uno de ellos, el superior (4), se atornilla además a los perfiles montantes verticales (2) para fijar las bandejas a la subestructura. El perfil inferior o 'hembra' (5) cabalga en el superior o 'macho' para fijar así la bandeja por ambos cantos horizontales.

- ① Panel Composite
- ② Perfil
- ③ Ménsula
- ④ Perfil
- ⑤ Perfil
- ⑥ Espuma de poliuretano de doble cara con adhesivo de caucho
- ⑦ Tornillo de cabeza hexagonal ISO 4017-M8x80 (DIN 931)  
Arandela ISO 7089-8 200HV (DIN 125)  
Tuerca hexagonal ISO 4032-M8-8 (DIN 934)
- ⑧ Remache ciego ISO 15977-4,8x12 AIA/St (dk=9,5 mm) (DIN 7337)



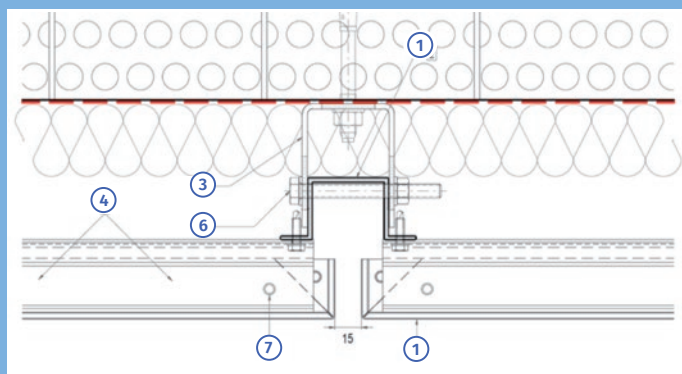
**Figura 81.**

**Sección vertical del sistema machihembrado.**

El armado de las bandejas en este caso se hace aprovechando los perfiles horizontales, parte intrínseca del sistema (ver sección horizontal en la figura 82). No son necesarias, por lo tanto, las chapitas metálicas que se utilizaban como extra en el sistema anterior.

En los cantos verticales, y dependiendo tanto de la altura de las bandejas como de las cargas de viento actuantes, lo más probable es que sea necesaria la presencia de unos perfiles rigidizadores para evitar el pandeo de estos cantos libres cuando el viento succione con fuerza. Estos perfiles se solidarizan a los cantos verticales mediante remaches.

- ① Panel Composite
- ③ Ménsula
- ④ Perfil
- ⑥ Espuma de poliuretano de doble cara con adhesivo de caucho
- ⑦ Tornillo de cabeza hexagonal ISO 4017-M8x80 (DIN 931)  
Arandela ISO 7089-8 200HV (DIN 125)  
Tuerca hexagonal ISO 4032-M8-8 (DIN 934)

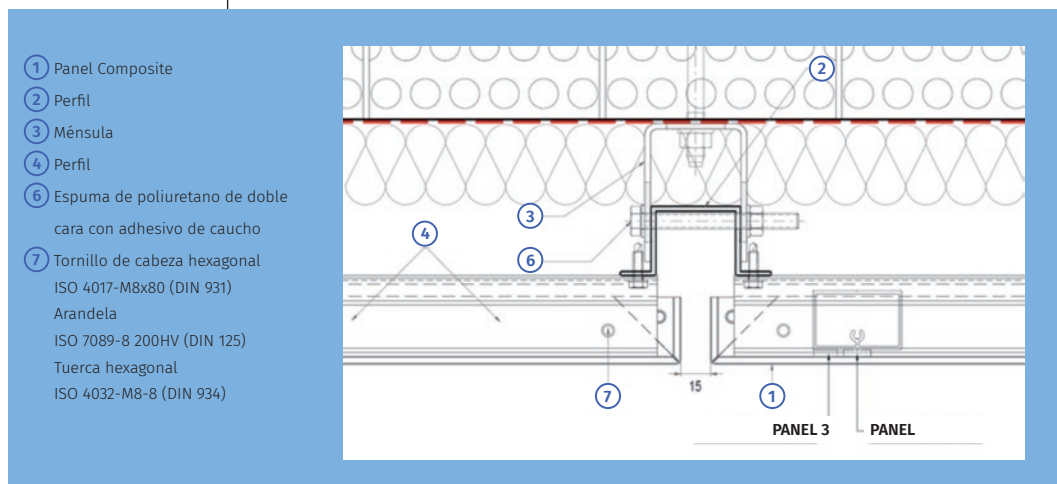


**Figura 82.**

**Sección horizontal del sistema machihembrado.**

Dada la naturaleza propia del sistema, las bandejas sólo se fijan a los perfiles montantes verticales posteriores a través de los perfiles macho/hembra solidarizados como ya se ha visto antes mediante remaches a los cantos horizontales. Por lo tanto, para bandejas con modulaciones relativamente altas o cargas de viento elevadas, es probable que se necesiten rigidizadores intermedios (siempre irán colocados en posición vertical).





**Figura 83.**

**Sección horizontal del sistema machihembrado con rigidizador vertical**

El resto del sistema, los montantes verticales y las ménsulas que los sujetan a la hoja interior del sistema constructivo, es similar al del sistema anterior.

**LC-RH.**

**Figura 84.**

**Hospital General Universitario Santa Lucía en Murcia (España). Sistema oculto machihembrado, panel composite.**



### 2.1.4.5.3. Fijación vista remachada vertical

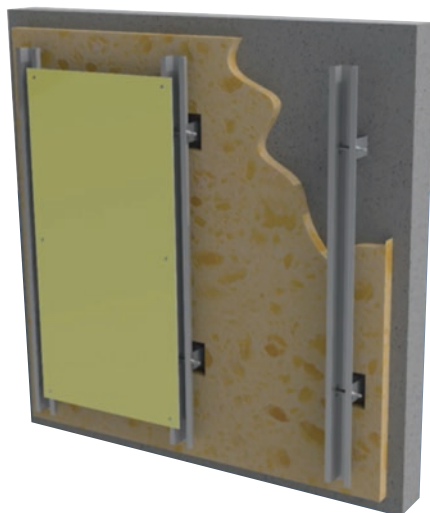


Figura 85.

Fijación vista remachada  
vertical.

Este sistema se basa en paneles planos, simplemente cortados a su dimensión de proyecto largo x ancho; no es necesario realizar fresados ni conformados como en los casos anteriores. Se necesita, eso sí, mecanizar los agujeros ('pequeños' para punto(s) fijo(s), 'grandes' para puntos móviles) a través de los cuales se remachan los paneles a la subestructura de montantes posterior.

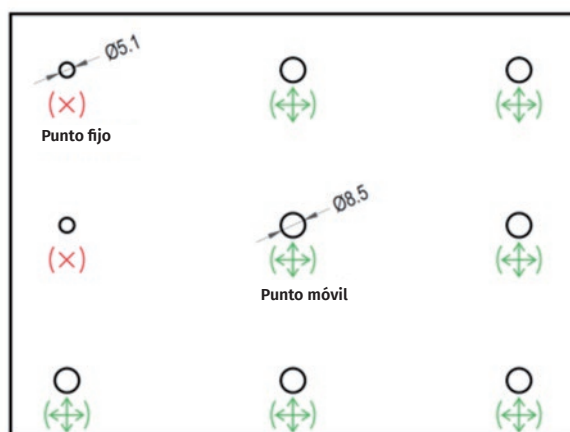


Figura 86.

Ejemplo explicativo  
de la mecanización  
de agujeros para  
control y permisión  
de dilataciones en el  
sistema de remachado  
vertical.

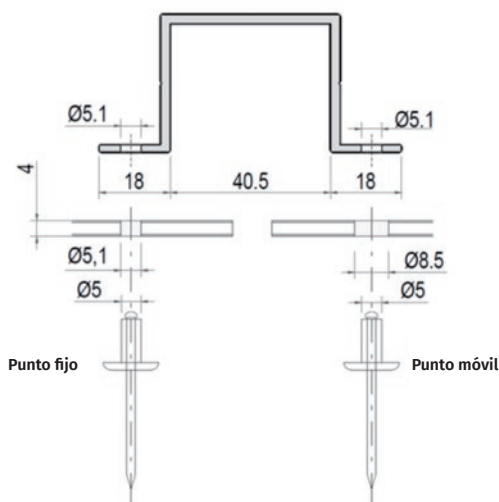


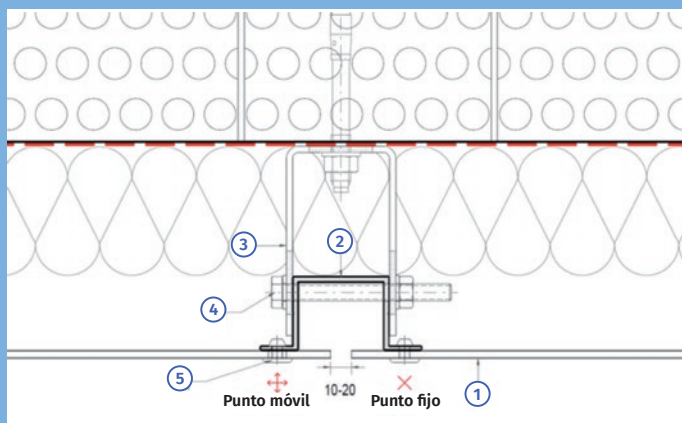
Figura 87.

Ejemplo de mecanización  
de punto fijo (izquierda) y  
punto móvil (derecha) en  
sistema de remachado  
vertical.

La subestructura posterior es idéntica a la vista en los puntos anteriores (montantes verticales de aluminio extruido, sección en omega por lo general, ménsulas en U de aluminio).

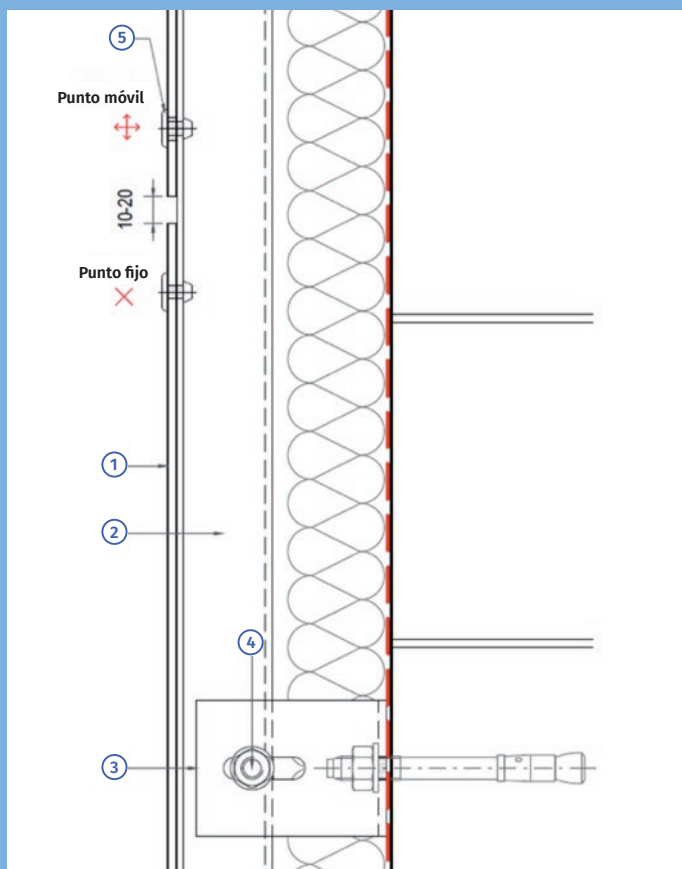
- ① Panel Composite
- ② Perfil
- ③ Ménsula
- ④ Perfil
- ⑤ Perfil

**Figura 88.**  
**Sección horizontal**  
**sistema de remachado**  
**vertical.**



- ① Panel Composite
- ② Perfil
- ③ Ménsula
- ④ Tornillo de cabeza hexagonal  
ISO 4017-M8x80 (DIN 931)  
Arandela  
ISO 7089-8 200HV (DIN 125)  
Tuerca hexagonal  
ISO 4032-M8-8 (DIN 934)
- ⑤ Remache ciego  
ISO 15977-4,8x12 AIA/St (dk=9,5 mm)  
(DIN 7337)

**Figura 89.**  
**Sección vertical sistema**  
**de remachado vertical .**

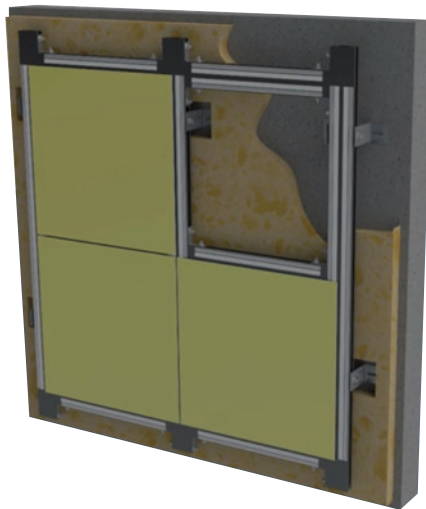


**Figura 90.**  
**Cité des Civilisations**  
**Du Vin en Bordeaux**  
**(Francia). Sistema Visto**  
**Remachado Vertical**  
**panel composite.**



#### 2.1.4.5.4. Fijación oculta adhesiva

**Figura 91.**  
**Sistema fijación oculta**  
**adhesivada.**



Sistema en el que se sustituye la fijación mecánica empleada en todos los anteriores por un adhesivado químico, normalmente a través de una silicona estructural monocomponente. Las planchas de panel composite no requieren mecanizado alguno, más allá del corte en sus dimensiones finales.

Las planchas se pegan directamente sobre los perfiles soporte, que pueden ser sólo verticales, o verticales y horizontales. Estos perfiles son especiales, ya que deben tener una

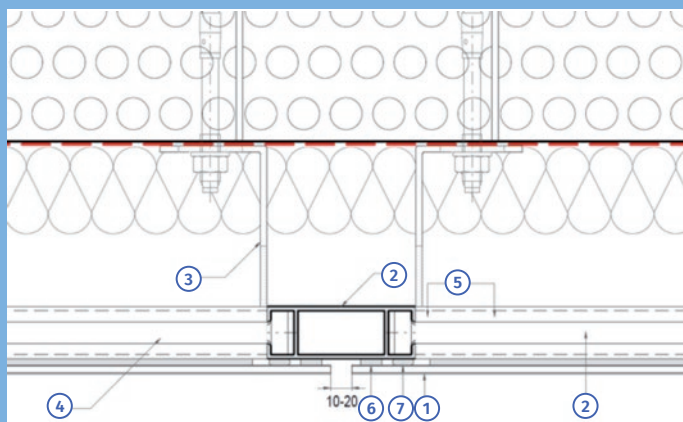
parte frontal con un ancho suficiente para permitir el posicionamiento de los cordones de silicona y también de la cinta de doble cara que suele utilizarse para la sujeción del panel mientras cura la silicona, y para asegurar un espesor mínimo al cordón.

Tanto la parte posterior del panel como la frontal de los perfiles deben lijarse, limpiarse y imprimirse según procedimiento indicado por el fabricante del adhesivo para garantizar la adherencia entre ambos elementos.

Una vez instaladas las ménsulas y la perfilaría portante, se ejecutan estas tareas de preparación de las superficies, se aplica la cinta de doble cara y el adhesivo, y se colocan las planchas.

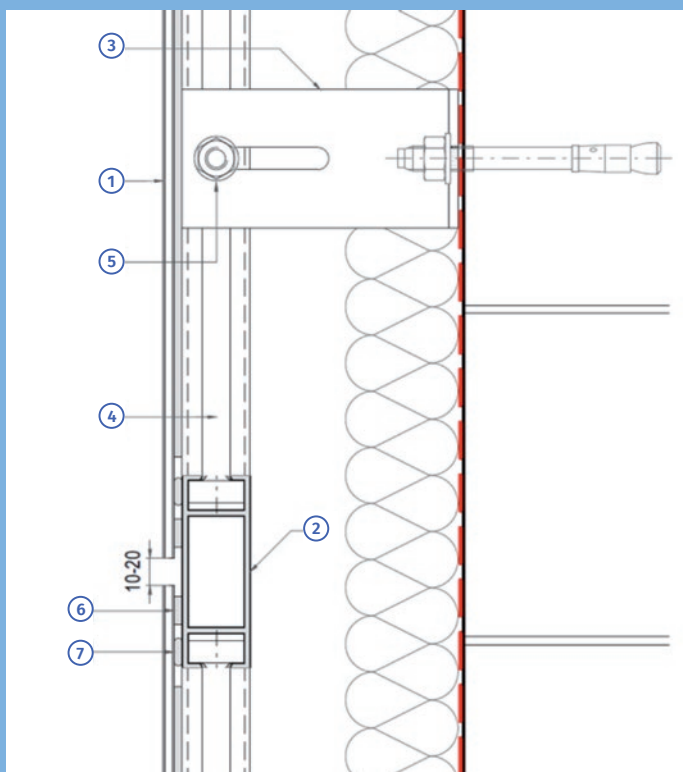
- ① Panel Composite
- ② Perfil
- ③ Ménsula
- ④ Angular de aluminio
- ⑤ Perfil
- ⑥ Cinta
- ⑦ Imprímación

**Figura 92.**  
**Sección horizontal**  
**sistema adhesivado**  
**oculto.**



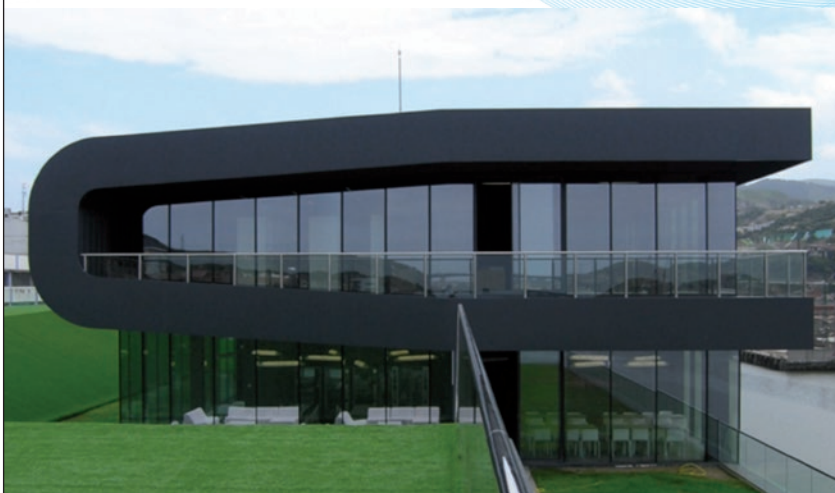
- ① Panel Composite
- ② Perfil
- ③ Ménsula
- ④ Angular de aluminio
- ⑤ Perfil
- ⑥ Cinta
- ⑦ Imprímación

**Figura 93.**  
**Sección vertical sistema**  
**adhesivado oculto.**





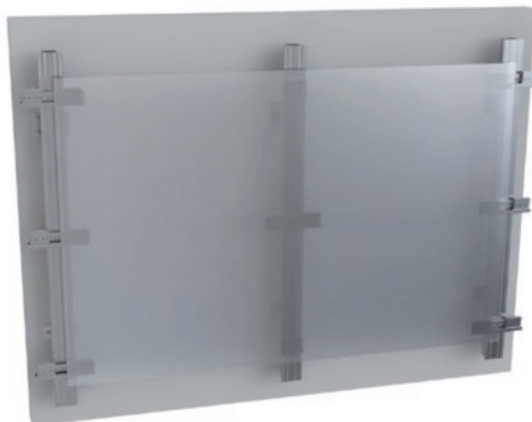
**Figura 94.**  
**IDOM Headquarters en**  
**Bilbao (España). Sistema**  
**adhesivado oculto con**  
**panel composite.**



### 2.1.4.6 Sistema de fijación de paneles nido de abeja (HoneyComb)

Los paneles honeycomb diferencian su instalación principalmente frente a los paneles composite en que han de asegurar la estanqueidad de su núcleo intermedio. Esto implica, por lo tanto, que los sistemas utilizados para los paneles composite no sirvan para el panel honeycomb, que tiene sus propios sistemas de cuelgue.

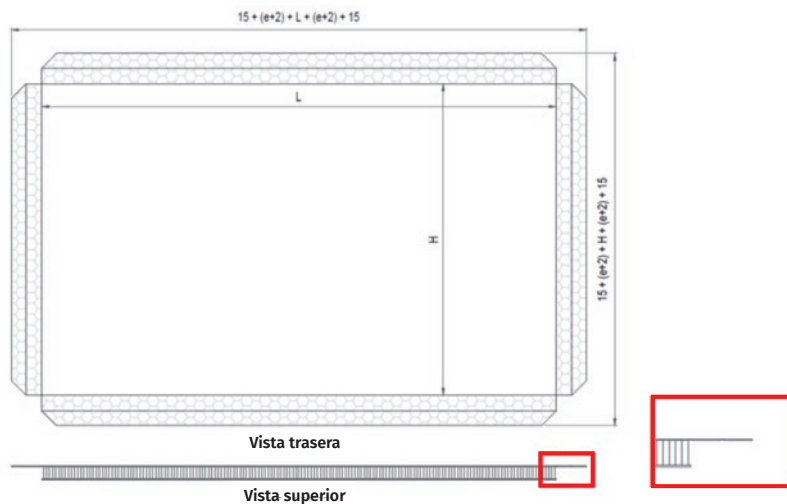
#### 2.1.4.6.1. Fijación oculta a través de clips



**Figura 95.**  
**Fijación oculta a través**  
**de clips.**

La estanqueidad del núcleo se consigue a través de un procedimiento que nada tiene que ver con el sistema de cuelgue: un doble canteado remachado, que también proporciona una fijación mecánica de la piel exterior, evitando así que se pueda desprender en caso de que un incendio quemase el adhesivo.

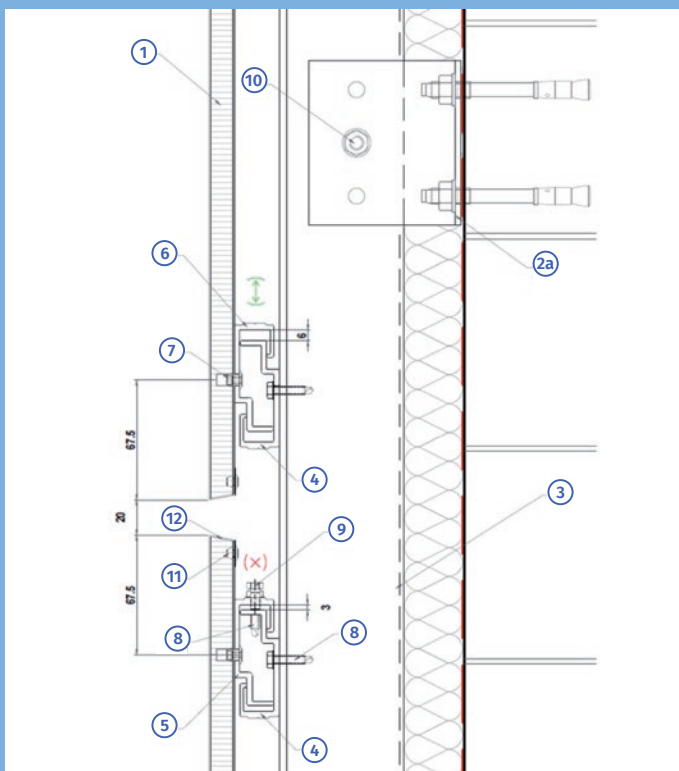
**Figura 96.**  
**Ejemplo mecanización**  
**de piel interior y núcleo**  
**para el conformado del**  
**doble canteado. Medidas**  
**de descuentos.**



Una vez realizado, se remachan por la parte trasera del panel las grapas o cuelgues de extrusión de aluminio.

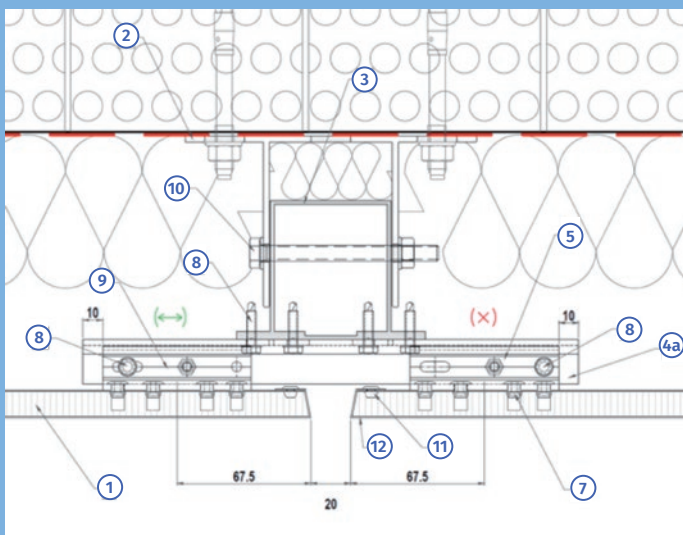
En la hoja interior de la obra se fijan las ménsulas y se posicionan los montantes verticales, que suelen llevar ya fijados los cuelgues donde apoyan las grapas remachadas al panel.

- ① Panel A2
- ②a Ménsula peso + viento
- ③ Perfil montante
- ④ Gancho
- ⑤ Grapa regulación
- ⑥ Grapa estándar
- ⑦ Remache
- ⑧ Tornillo autotaladrante DIN 7504-K  
Ø4,8x22 mm A2/50
- ⑨ Tornillo cabeza hexagonal DIN 933  
M5x12 mm A2/50
- ⑩ Tornillo cabeza hexagonal DIN 933  
M8x90 + arandela DIN + tuerca DIN 934
- ⑪ Remache ISO 15981 Ø4x6 mm
- ⑫ Doble canteado remachado con  
pendiente



**Figura 97.**  
**Sección vertical sistema.**

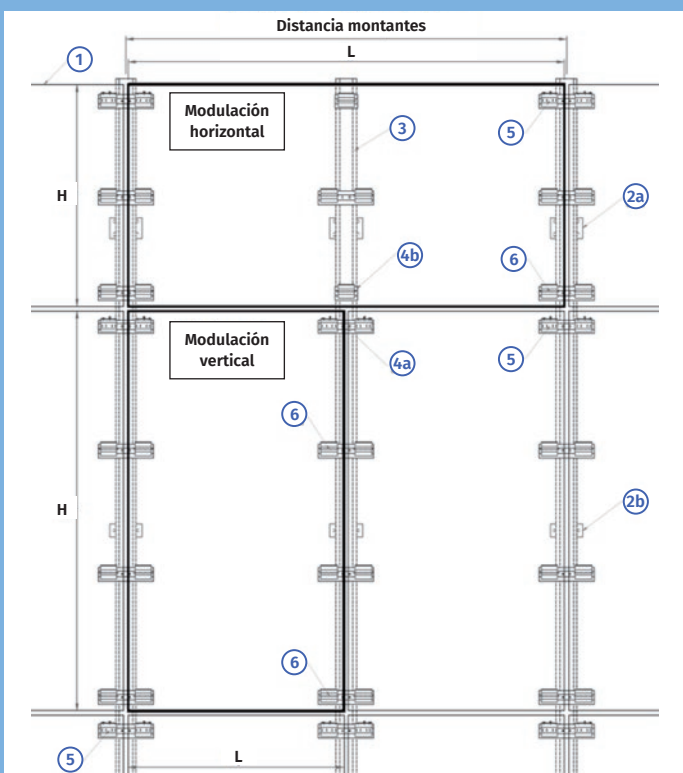
- ① Panel A2
- ② Ménsula
- ③ Perfil montante
- ④a Gancho largo (250 mm)
- ⑤ Grapa regulación
- ⑦ Remache
- ⑧ Tornillo autotaladrante DIN 7504-K  $\varnothing 4,8 \times 22$  mm A2/50
- ⑨ Tornillo cabeza hexagonal DIN 933 M5x12 mm A2/50
- ⑩ Tornillo cabeza hexagonal DIN 933 M8x90 + arandela DIN + tuerca DIN 934
- ⑪ Remache ISO 15981  $\varnothing 4 \times 6$  mm
- ⑫ Doble canteado remachado con pendiente



**Figura 98.**

**Sección horizontal  
sistema.**

- ① Panel A2
- ② Ménsula
- ③ Perfil montante
- ④a Gancho largo (250 mm)
- ⑤ Grapa regulación
- ⑦ Remache
- ⑧ Tornillo autotaladrante DIN 7504-K  $\varnothing 4,8 \times 22$  mm A2/50
- ⑨ Tornillo cabeza hexagonal DIN 933 M5x12 mm A2/50
- ⑩ Tornillo cabeza hexagonal DIN 933 M8x90 + arandela DIN + tuerca DIN 934
- ⑪ Remache ISO 15981  $\varnothing 4 \times 6$  mm
- ⑫ Doble canteado remachado con pendiente



**Figura 99.**

**Alzado con paneles  
ausentes.**

Figura 100.

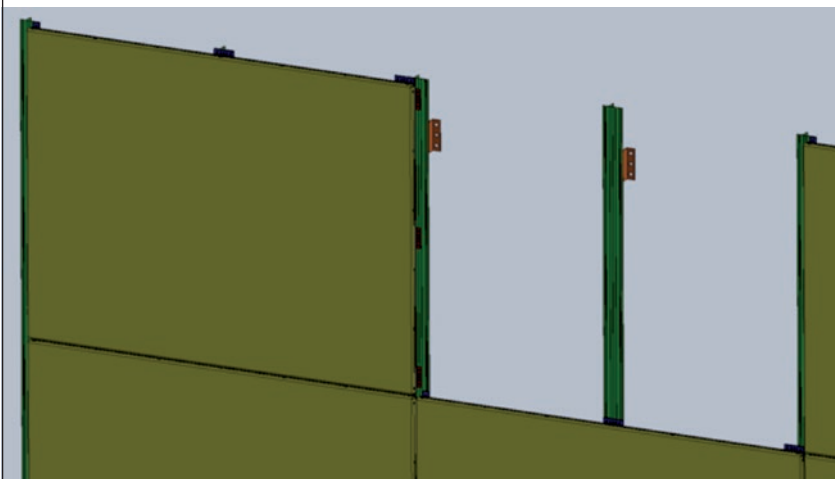
Hotel Marriott Courtyard  
en Batumi (Georgia).

Sistema oculto panel  
honeycomb.



#### 2.1.4.6.2. Fijación oculta perimetral

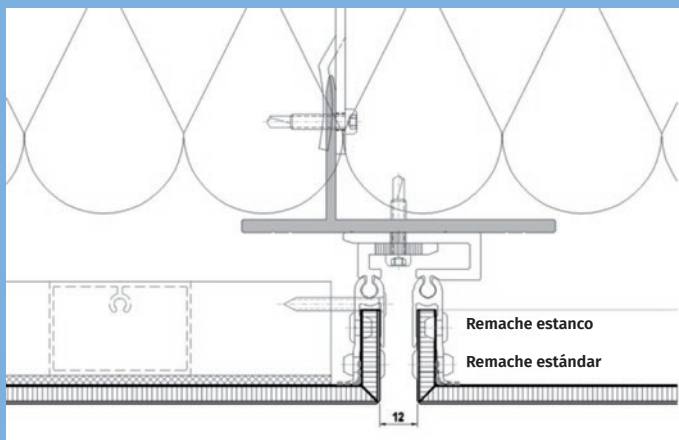
Figura 101.  
Fijación oculta  
perimetral.



En este sistema los paneles honeycomb se conforman como bandejas, y el cierre perimetral para evitar la entrada de agua por el canto se hace con un perfil continuo clipado. Este perfil perimetral tiene tres funciones:

- Impedir la entrada de agua a través del canto del perfil.
- Al ir remachado cada cierta distancia establecida al panel honeycomb, es el punto de fijación mecánica para conectar panel con subestructura portante.
- Como sucede con los perfiles horizontales en el caso del sistema machihembrado de panel composite, se utiliza también para armar la bandeja e impedir que se abra al recibir las cargas de viento.

La zona del fresado necesario para realizar los pliegues se protege a través de una cinta de estanqueidad externa.

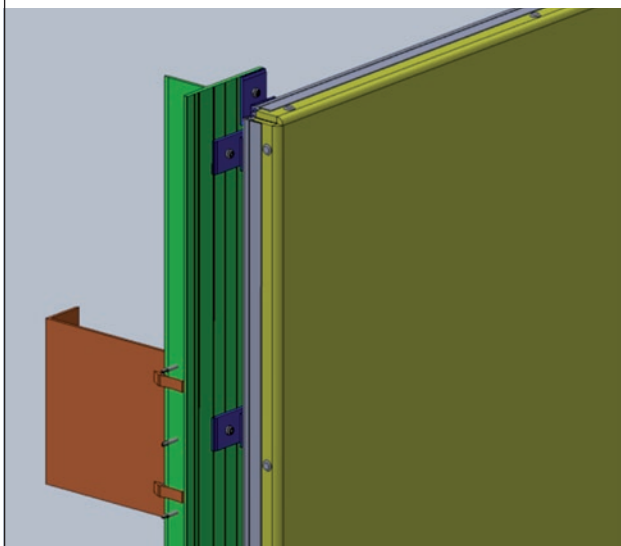


**Figura 102.**  
**Sección horizontal.**

Unas grapas puntuales fijadas al carril por geometría dentro del perfil perimetral se encargan de conectar la bandeja de panel honeycomb con los perfiles montantes verticales extruidos en aluminio de sección en T, tanto a través de los cantos horizontales como verticales.

El sistema por lo tanto es de fijación perimetral, y para los casos en que se necesita aumentar la resistencia/rigidez de la bandeja, se utilizan rigidizadores tubulares que se adhieren a la cara interior de la bandeja a través de sistemas de silicona estructural. Un tornillo de cabeza plana a través del perfil perimetral aumenta la seguridad añadiendo una fijación mecánica.

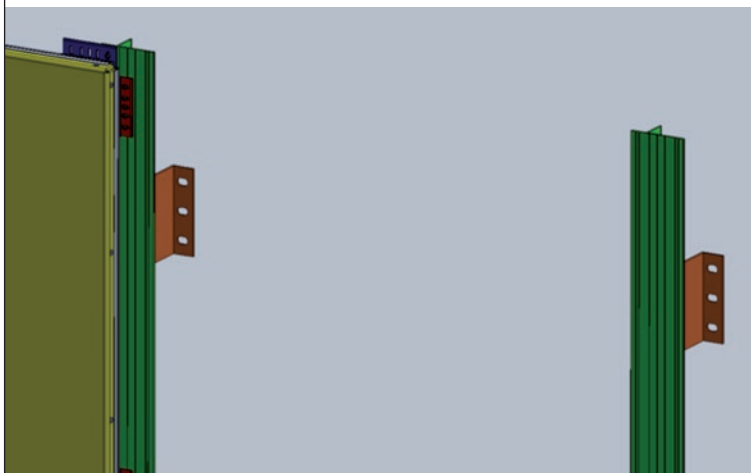
Por último, unas ménsulas también de aluminio extruido y sección en L conectan estos montantes verticales a la hoja interior de la fachada.



**Figura 103.**  
**Detalle esquina superior.**



**Figura 104.**  
**Detalle grapas y**  
**montantes.**

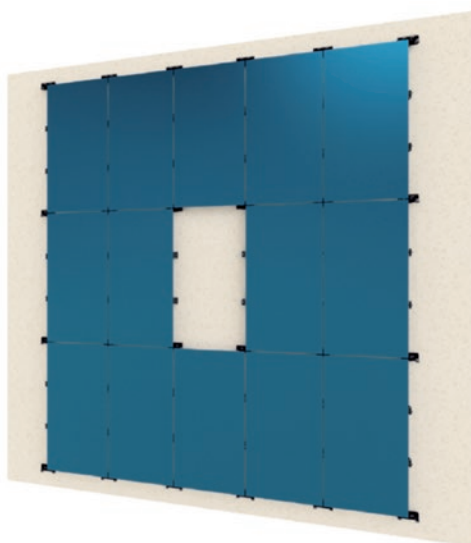


**Figura 105.**  
**Deakin University**  
**Burwood Campus**  
**(Melbourne - Australia).**  
**Sistema oculto**  
**perimetral con panel**  
**honeycomb.**



### 2.1.4.6.3. Fijación oculta puntual

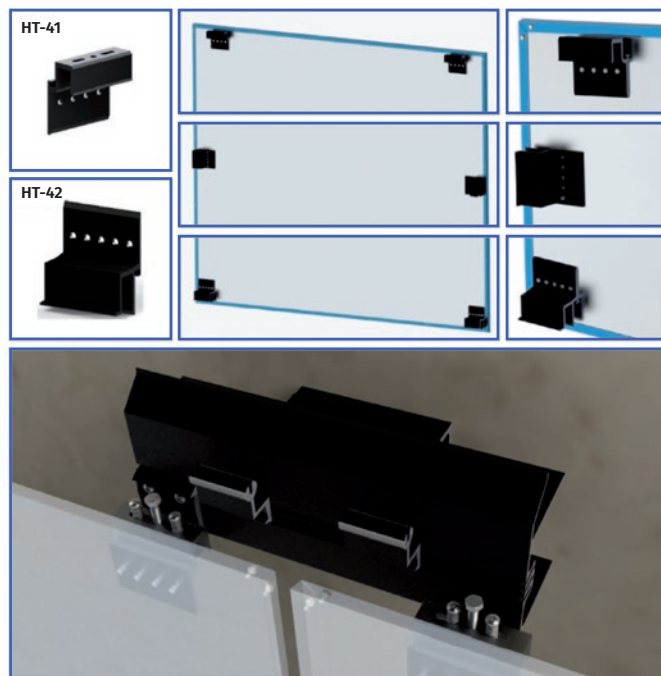
**Figura 106.**  
**Fijación oculta puntual.**



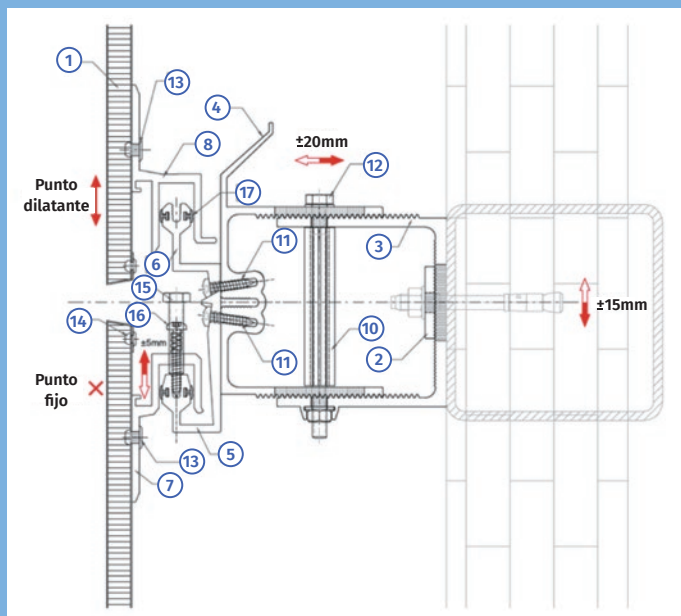
Este sistema prescinde de la subestructura basada en perfiles continuos tan común en el resto de sistemas. La típica configuración ménsula – perfil – cuelgue se convierte aquí en un ‘pack’ o anclaje que concentra las propiedades de los tres elementos que sustituye (regulación, resistencia y geometría para el cuelgue).

Al panel se le remachan por la parte posterior unas grapas o 'clips' de extrusión de aluminio.

El borde del panel se protege de la entrada de agua a través de un doble canteado remachado, que también proporciona una fijación mecánica de la piel exterior, evitando así que se pueda desprender en caso de que un incendio quemase el adhesivo.



**Figura 107.**  
Detalle de las grapas  
o clips. Las superiores  
se utilizan para  
regulación fina, anti-  
descabalgamiento y  
control de dilataciones.



**Figura 108.**  
Sección vertical del  
sistema.



### 2.1.4.7 Sistema de fijación de piedra natural

A continuación, se exponen sistemas y soluciones de anclaje para piedra natural habituales en el mercado. La solución de anclaje a elegir para cada proyecto depende de diversos factores, entre otros:

- > El tipo de piedra a utilizar y su resistencia mecánica y capacidad de mecanización
- > Los formatos a emplear (espesores, tamaños de placa, etc.)
- > La solución global del cerramiento:
  - Cámara de aire necesaria
  - Espesor y tipo de aislamiento
  - Material base al que fijar la fachada ventilada
- > Condiciones de instalación (paños sencillos o complejos, planos inclinados...)
- > El despiece. A continuación, se muestran algunos ejemplos de cómo según el despiece puede que sea más idóneo un sistema u otro:

#### > **Despiece a traba con fijaciones de bulón en juntas horizontales**

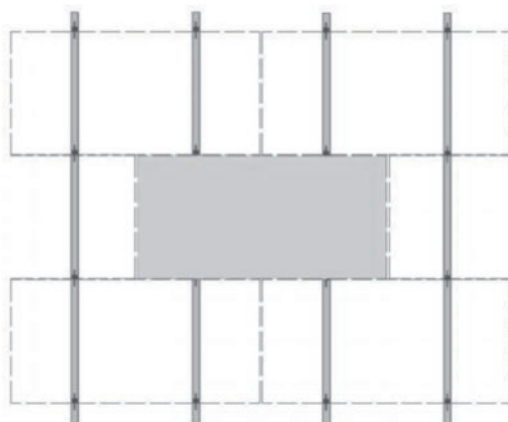


Figura 112.

Despiece a traba.

#### > **Despiece en cuadrícula con fijaciones de bulón en juntas horizontales**

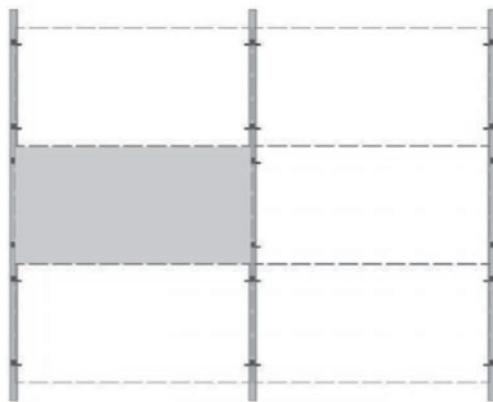
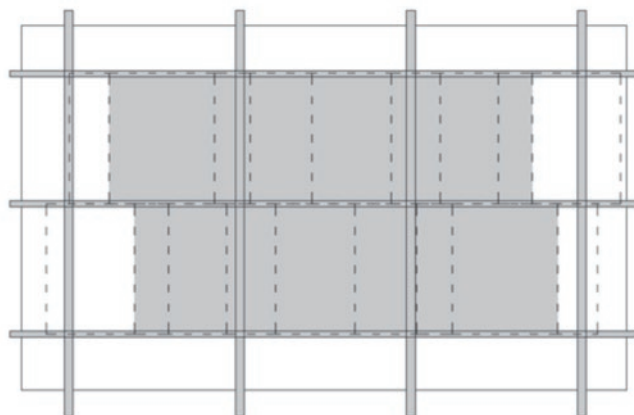


Figura 113.

Despiece en cuadrícula.

> **Despiece a largo libre con fijación mediante grapa corrida:**



**Figura 114.**  
**Despiece a largo libre.**

En definitiva, la complejidad del proyecto y el presupuesto destinado a la fachada pueden ocasionar que se opte desde una solución puntual muy sencilla, hasta sistemas de perfilería bastante tecnificados.

> **Sistemas sin perfilería, mediante anclajes puntuales directos**

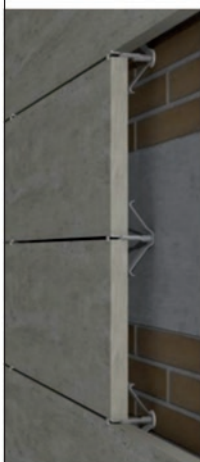
Todos los sistemas de fijaciones puntuales en principio son utilizados para fachadas sencillas con poca cámara de aire o poco espesor de aislante (generalmente proyectados, pues tiene difícil compatibilidad con mantas y paneles aislantes), o sin aislamiento.

**Soluciones vistas:**

**Anclajes puntuales autoportantes:**

- **Mecanización en la piedra: ninguna.**

En este caso, el sistema de resorte por la parte posterior es lo que posibilita que la piedra se mantenga en su posición, ya que en este caso las fijaciones no encastran dentro de un mecanizado.



**Figura 115.**  
**Sistema de anclaje**  
**puntual autoportante**  
**visto.**

La unión al material base se realiza mediante resina (varilla + tamiz, si se trata de material hueco). En cualquier caso, independientemente de buscar la salida y plomo de la fachada, siempre debe garantizarse la longitud de empotramiento mínima.



En las soluciones vistas es habitual proceder al lacado de las grapas, o al menos de las pestañas que quedan visibles, en un tono similar al de la placa.

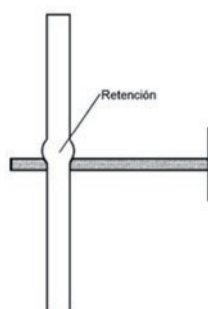


## Soluciones ocultas:

### Anclajes puntuales autoportantes:

- *Mecanización en la piedra: taladros en los cantos (verticales/horizontales) si se trata de fijaciones mediante bulones. Ranuras en cantos (horizontales) si se trata de fijaciones mediante uñetas.*

En cualquier solución que fije la piedra mediante bulones, es importante tener en cuenta que una longitud excesiva de los taladros puede originar que el bulón (que no está unido físicamente al resto de la varilla, sino que funciona como un pasador) se introduzca totalmente en una de las placas, y deje sin fijar la otra. Los casquillos plásticos (de paredes de 1 mm aproximadamente) además de garantizar un correcto apoyo (sin concentración de tensiones, evitando vibraciones y garantizando holguras elásticas) también pueden garantizar por su forma que dicho bulón no va a poder colarse en un taladro excesivamente largo.



**Figura 116.**  
**Bulón con retención.**

También, puede ser que sea el propio bulón el que tenga modificada su geometría para controlar su posición exacta en el anclaje y que este no descienda demasiado.

En este tipo de anclajes la regulación dentro-fuera se hace de manera manual a la hora de instalar la fijación química, durante el tiempo de manipulación de la resina. No permiten mayor regulación espacial, por lo que existe una mayor exigencia de destreza y precisión durante la ejecución y los resultados tienden a no ser tan perfectos como con otros sistemas más sofisticados.

Es importante tener en cuenta que todo lo que sean fijaciones químicas implica un tiempo de curado, durante el cual los anclajes no deben entrar en carga, algo que puede ser bastante relevante para las fases de ejecución de la fachada.

Para lograr separaciones mayores, mejorando el vuelo del anclaje y el apoyo del mismo (sobre todo con piedras pesadas), así como su replanteo en las tres direcciones del espacio, existen anclajes como el de la figura 118. El ajuste fino puede llevarse a cabo mediante el juego de tuercas de la fijación.

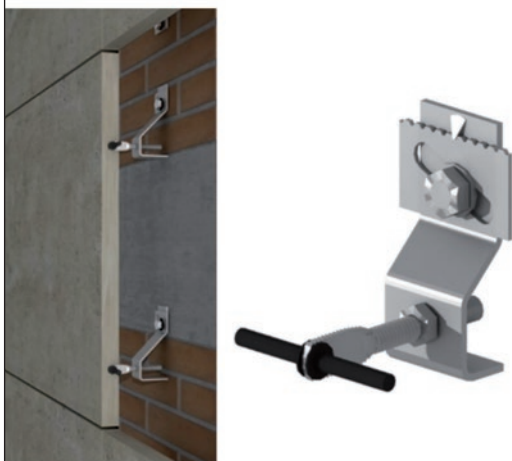


**Figura 117.**  
**Sistema de anclaje puntual autoportante de bulón.**



En este tipo de anclajes, la fijación que se realiza al cerramiento base, puede realizarse con tacos plásticos en la mayoría de ocasiones, ya que ahora no se necesita del juego de la varilla química para regular la salida.

**Figura 118.**  
**Sistema de anclaje**  
**puntual autoportante de**  
**bulón.**



### > **Sistemas con perfilera:**

Si bien históricamente las soluciones de fijaciones puntuales eran las más habituales en las fachadas ventiladas de piedra, el desarrollo de sistemas cada vez más complejos y tecnificados de perfilera permite llegar a soluciones más sofisticadas que, entre otras cosas, facilitan conseguir una planeidad de la fachada más exacta y fácil de lograr gracias a la sencillez del aplomado de los perfiles. También facilitan la compatibilidad con aislantes de lanas minerales y de mayores espesores, así como claras ventajas en las cuestiones relacionadas con el mantenimiento y reposición de piezas en fachada.

#### **Soluciones vistas:**

##### **Fijación de la piedra mediante grapas vistas fijadas a la perfilera**

- **Mecanización en la piedra: ninguna.**

**Figura 119.**  
**Sistema de subestructura**  
**con fijación de grapa**  
**vista.**

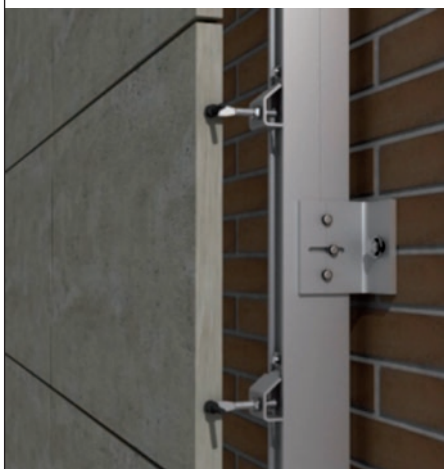


Pueden emplearse con piedras de reducido espesor, como las pizarras, que no admiten el mecanizado en ranura.

## **Soluciones ocultas:**

### **Fijación de la piedra mediante bulones en taladros**

- Mecanización en la piedra: taladros en los cantos (verticales/horizontales)



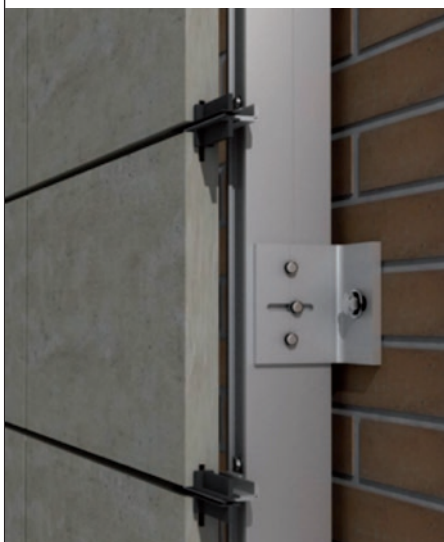
**Figura 120.**

**Sistema de subestructura  
con fijación oculta de  
bulones.**

Compatibiliza el sistema de bulones tradicional de los anclajes puntuales con los sistemas de perfilería y sus ventajas.

### **Fijación de la piedra mediante grapas puntuales en ranuras**

- Mecanización en la piedra: ranuras puntuales / continuas (en juntas horizontales).



**Figura 121.**

**Sistema de subestructura  
con fijación de grapa  
oculta.**

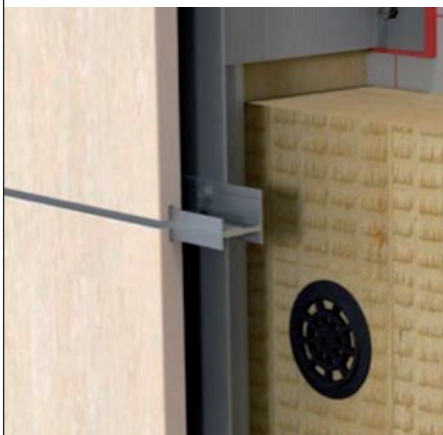
Los elementos de goma suelen ser una ayuda para evitar los contactos acero-piedra.

### **Fijación de la piedra mediante perfil corrido horizontal**

- Mecanización en la piedra: ranura continua en los cantos (horizontales).

**Figura 122.**

**Sistema de subestructura  
con perfil corrido para  
piedra con ranura  
continua.**



El perfil corrido, por norma general de aluminio, permite que no existan concentraciones de tensiones en zonas puntuales de la placa, sino que las tensiones se reparten en todo el borde de la misma. Igualmente, se precisa realizar los mecanizados y la instalación de manera adecuada en lo referente a las holguras necesarias, para que cada placa transmita las cargas de manera adecuada (siguiendo la lógica de los anclajes puntuales en junta horizontal).

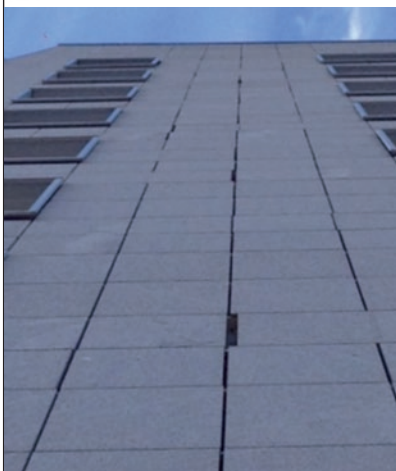
Es importante tener en cuenta que la fachada va a sufrir movimientos y vibraciones (viento, cambios térmicos, etc.), por lo que si se instala piedra (u otros materiales de revestimiento) con estos sistemas sobre grapa corrida, es preciso colocar puntualmente retenciones (mecánicas o químicas) que impidan que las placas puedan deslizarse horizontalmente a lo largo de la grapa corrida durante su vida útil. Son habituales las fachadas en las que se pueden apreciar juntas verticales muy irregulares debido a no haber tenido en cuenta esto durante la instalación.

**Figura 122a.**

**Hotel AC Forum  
Barcelona. Josep Lluís  
Mateo- Map Architects.  
Proceso de construcción  
de la fachada ventilada.  
Premarcos para  
replanteo integral  
del cerramiento. Hoja  
interior con tabique  
seco. Hoja exterior  
granito montado sobres  
rastres con fijaciones  
puntuales.**



**Figura 123.**  
**Movimiento de placas**  
**horizontalmente sobre**  
**perfil corrido por no**  
**colocar sujeciones**  
**o topes durante**  
**instalación.**



**Fijación de la piedra mediante clips de cuelgue fijados en la parte posterior de la piedra con anclajes destalonados.**

- **Mecanización en la piedra: taladros en la parte posterior cónicos, no pasantes.**

**Figura 124.**  
**Sistema de subestructura**  
**con perfiles y clips**  
**de cuelgue fijados a**  
**la piedra con tacos**  
**destalonados.**



Este tipo de fijaciones lo que permite es liberar a la piedra de ir fijada únicamente en su perímetro, por lo que posibilita llegar a formatos mayores, con fijaciones puntuales repartidas por toda su superficie. El sistema de clips tiene capacidad de regulación en sus clips superiores (mediante tornillos autorroscantes), por donde se transmite el peso de cada placa a la perfilera.

También en la parte superior se fija un solo clip, para que cada placa no pueda deslizar horizontalmente. El resto de clips funcionan de retención frente a las cargas de viento, dejando libertad de movimiento a piedra y estructura para las dilataciones, pero quedando al mismo tiempo debidamente sujeta.

Este sistema mediante clips de cuelgue es el que se utiliza habitualmente en los sistemas de paneles de gran formato ultraligeros de composites con piedra natural, aunque las fijaciones no se hacen con tacos destalonados sino mediante remaches u insertos enresinados en la parte posterior del panel.



## > **Criterios de diseño de fachadas ventiladas con piedra natural (UNE 22203:2011)**

### • **Diseño de las fijaciones:**

Las fijaciones que sujeten la piedra deben diseñarse teniendo en cuenta que deben hacer frente a:

#### > **Cargas:**

- *Horizontales de presión y succión de viento y de sismo*
- *Verticales de peso propio*

#### > **Deformaciones/movimientos provocados por:**

- *Cambios térmicos*
- *Movimientos estructurales (edificio/subestructura de fachada)*

La solución de anclaje también debe cumplir otros criterios de diseño óptimos, tales como tener un nivel de protección idóneo según la agresividad del ambiente (por norma general, se usa acero inoxidable en fijaciones puntuales y aluminio en grapas corridas). La oxidación de elementos insertados dentro de los mecanizados puede por un lado perder su capacidad resistente, por pérdida de sección, o por otro lado generar aumentos de volumen que hagan partir la piedra justo en sus zonas de sujeción. Este mismo efecto también puede darse por la acumulación de agua en los mecanizados, y su posterior congelación, situación que debe tenerse en cuenta y controlarse.

El sistema permite la correcta nivelación en las tres direcciones del espacio y el correcto aplomado de la fachada.

Existen elementos auxiliares fabricados con materiales como gomas o plásticos, que cumplen funciones separadoras, pero que, o bien deben retirarse posteriormente si son solo ayudas para la ejecución (cuñas separadoras, crucetas...), o bien deben tener flexibilidad suficiente para no transmitir cargas indeseadas de unas placas a otras (como ocurre con los casquillos de los bulones). Dichos elementos elásticos también pueden ayudar a evitar la presencia de agua dentro de los mecanizados y el consiguiente riesgo durante las heladas.



**Figura 125.**  
**Rotura ocasionada en**  
**taladro rellenado con**  
**masilla rígida.**

Las soluciones de anclaje puntual directo (piedras con taladros ejecutados en sus cantos verticales u horizontales para introducir en los mismos bulones y permitir la sujeción mecánica de la placa) aparecieron como sistema constructivo mucho antes que las soluciones sofisticadas de fachadas ventiladas con perfilaría existentes a día de hoy. Por tanto, el largo recorrido en el tiempo que tienen hace que la gran mayoría de la norma desarrollada para piedra natural en fachadas se base en este modo de sujeción de la piedra.

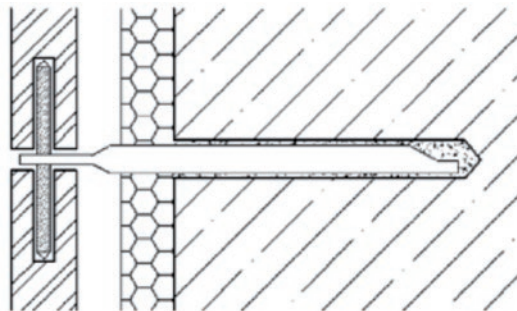


Figura 126.

Anclaje puntual directo.

Es importante tener en cuenta que, si bien en un sistema con perfilaría probablemente se tenga la posibilidad de descargar el peso en los forjados, un sistema mediante anclajes puntuales directos traslada el peso de cada placa directamente al material base al que se fija (obra de fábrica mayoritariamente).

Según la norma UNE 41957-1:2000 "Anclajes para revestimientos de fachadas de edificios", es preciso tener en cuenta:

- > Los efectos de la excentricidad generada en la fábrica por el peso del revestimiento.
- > La flexión inducida al transmitir cargas horizontales cada anclaje al paño en el que se fijan.
- > La estabilidad del anclaje y la propia integridad de la fábrica en fijaciones con proximidad a huecos y a bordes.

De acuerdo con la norma UNE 22203:2011, si se colocan fijaciones de tipo bulones (4 por placa) en las juntas horizontales o verticales, se establece el siguiente criterio para compensar momentos negativos y positivos, y con ello generar la menor flecha y el menor estado tensional posible en la piedra:

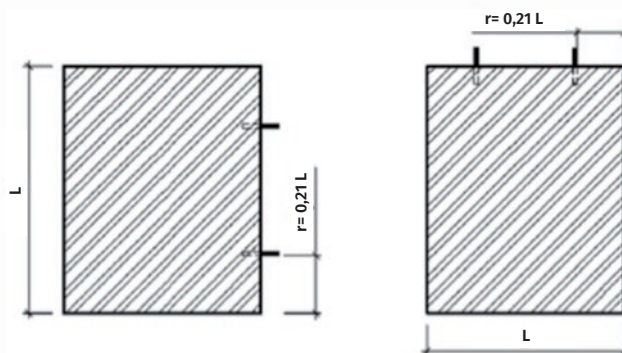


Figura 127.

Situación ideal de los bulones.

Con esta configuración de 4 anclajes por placa, si van a situarse en su lado largo, la relación máxima entre sus lados es de  $L1/L2=2,41$ .

El diámetro del bulón debe ser como mínimo de 4 mm (UNE 41957-1:2000) y cumplir que el orificio en el que se aloja debe tener un diámetro al menos 3 mm mayor.

La penetración del bulón debe ser mayor o igual a 25 mm, y el fondo de ese taladro debe ser al menos 5 mm mayor, y una longitud  $\geq 30$  mm.

Los taladros deben realizarse de manera automatizada y nunca manual.

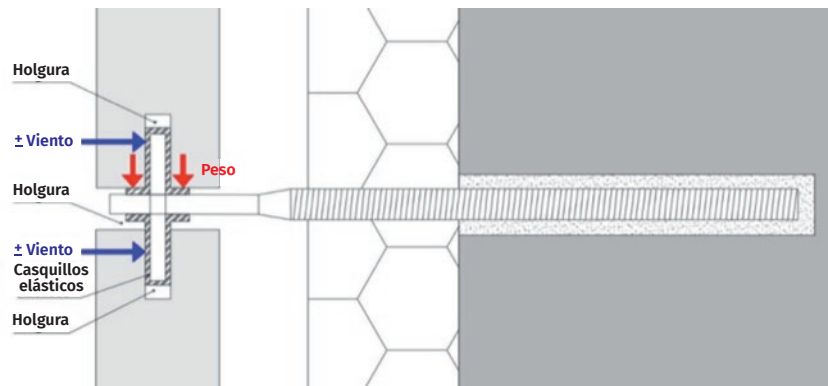
La resistencia de la piedra en la zona del anclaje debe ensayarse en diferentes espesores de acuerdo con la UNE-EN 13364:2002. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la carga de rotura para anclajes.

El espesor de la piedra si se fija por el sistema de bulones o pasadores en taladro mecanizado es siempre de 30 mm mínimo (UNE 41957-1:2000)

### Colocación de anclajes puntuales en juntas horizontales

Cada placa descansa toda su carga de peso en los dos anclajes sobre los que apoya en su parte inferior (transmite  $W_p/2$  a cada uno). Debe existir holgura para que las placas superiores no transmitan carga de peso a las que tienen debajo.

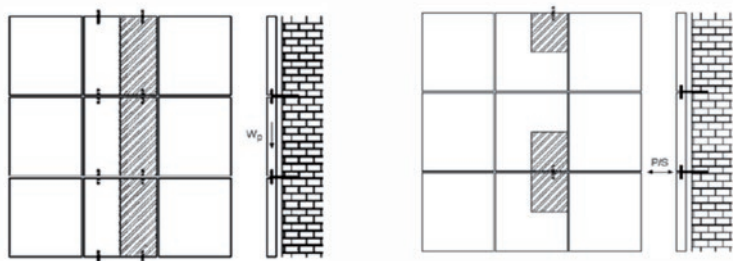
**Figura 128.**  
**Esquema de trabajo**  
**de anclaje puntual de**  
**bulones.**



Evidentemente, cualquier material rígido que ocupe dichas holguras las anula, por lo que si se utilizan elementos permanentes que llenen esos espacios siempre deben ser flexibles.

Como se ha indicado, cada placa descansa su peso solo en sus anclajes inferiores, pero dicha placa transmite a su vez las cargas horizontales de presión y succión de viento a todos los bulones que se introducen en sus taladros, tal como muestra la figura siguiente.

**Figura 129.**  
**Reparto de cargas con**  
**sistema de anclajes**  
**puntuales por bulones en**  
**juntas horizontales.**



### Colocación de anclajes puntuales en juntas verticales:

Por no poder controlar habitualmente del modo anterior el juego de holguras, en esta disposición puede resultar que el peso no descansa estrictamente en los anclajes inferiores, sino que se reparta en los cuatro bulones de manera más o menos regular. En cualquier caso, seguir la misma lógica anterior, considerando para todos los anclajes con  $W_p/2$  de carga cortante, se está del lado de la seguridad. Las cargas horizontales de viento siguen el mismo criterio.

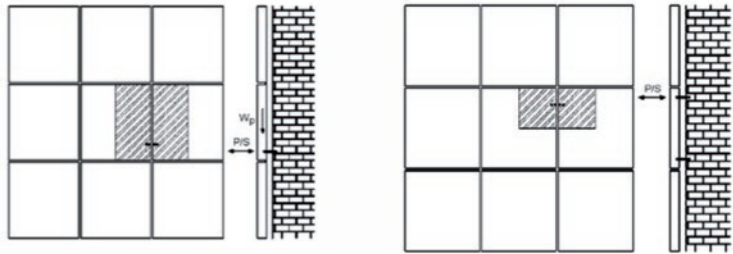


Figura 130.

Reparto de cargas con sistema de anclajes puntuales por bulones en juntas verticales.

Por otro lado, la fijación por bulones en los laterales presenta mayores garantías de que no van a cargar unas piedras sobre otras, ya que tendrían que llegar a unirse hasta cerrar la junta para que existiese transmisión de cargas de una placa a otra.

Para métodos de fijación distintos (grapas corridas para ranurados continuos, por ejemplo), no se ha desarrollado tanta normativa desde el punto de vista del cálculo de la piedra. No obstante, siempre pueden desarrollarse ensayos tecnológicos en laboratorios acreditados para garantizar la idoneidad de las soluciones, estableciendo las EAD de kits de fachada ventilada un marco bastante amplio para tal justificación.

Importante es mencionar que existen piedras que por su naturaleza presentan planos de esquistosidad (como las pizarras), o planos de estratificación (algunas calizas o mármoles). Estas piedras no admiten mecanizados de fijaciones ocultas en sus cantos (ranuras o taladros), por lo que deben colocarse con soluciones vistas (UNE 22203:2011).

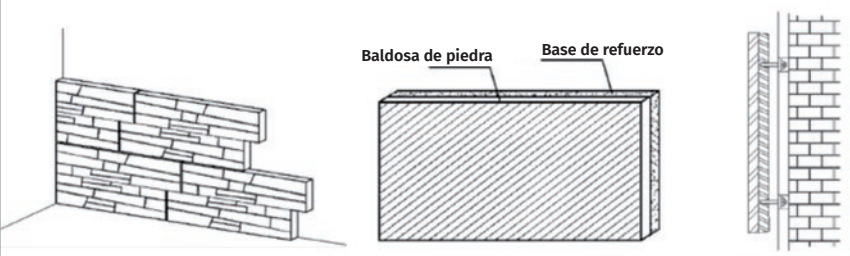


Figura 131.

Rotura y caída de placa de pizarra colocada con grapa oculta en ranura del canto.

En ocasiones, cuando las piedras no admiten fijación oculta, ya sea por tratarse de espesores muy limitados, o por no admitir taladros o ranuras en cantos debido a su esquistosidad, algunos fabricantes optan por fabricar paneles compuestos, existiendo una unión química de la piedra a una base de refuerzo, donde ya se ejecuta una fijación mecánica para sujetar el revestimiento.

**Figura 132.**  
**Paneles compuestos.**



### > **Diseño del espesor de la piedra natural**

El mismo está determinado por las tensiones de flexión que pueda soportar la placa en sus vanos, así como las tensiones concentradas de cortante que pueda soportar en las zonas de las fijaciones. Estos esfuerzos son los que vienen propiciados por las cargas de viento, peso, impacto y sismo.

Como norma general, se recomienda trabajar con los siguientes espesores mínimos (UNE 22203:2011):

| TIPO DE PIEDRA NATURAL          | ESPESOR MÍNIMO RECOMENDADO |
|---------------------------------|----------------------------|
| Granitos, pizarras              | 20 mm                      |
| Mármoles                        | 25 mm                      |
| Calizas, areniscas, travertinos | 30 mm                      |

En la práctica, la gran mayoría de proyectos pretenden resolverse con soluciones ocultas. La compatibilidad de esto con los mecanizados a ejecutar, con los sistemas industriales ensayados y homologados disponibles en el mercado, junto con la experiencia constructiva extendida en la ejecución de fachadas ventiladas de piedra, llevan a que prácticamente se hayan estandarizado los 30 mm de grosor en placas de piedra como mínimo para soluciones ocultas en fachadas ventiladas.

#### **Cálculo del espesor en función de los esfuerzos eólicos y sísmicos**

##### **• Cálculo a flexión de la placa:**

Se calcula el espesor en función de los esfuerzos de flexión con la siguiente fórmula, iterando sucesivamente con diferentes espesores:



$$e = \sqrt{\frac{0,75 \cdot F_p (P + P_s) \cdot L^2}{V_i E \cdot 10^3}}$$

- $e$  es el espesor de la placa en mm.  
 $P$  es la presión de viento en kN/m².  
 $P_s$  es la presión debida a la acción sísmica en kN/m² [  $P_s = F_s / (L \times W)$  donde  $F_s$  es la fuerza horizontal en el centro de la placa en kN, y  $L$  y  $W$  la longitud y anchura de la placa en m ]  
 $L$  es el vano de la placa en m (separación entre bordes anclados).  
 $V_i E$  es el valor inferior esperado en MPa a la resistencia de flexión.  
 $F_p = 6$  es el factor de seguridad frente a la resistencia de flexión.

**Figura 133.**

**Cálculo del espesor de la placa en función de los esfuerzos de flexión.**

### > Cálculo a cortante en las zonas de las fijaciones

Se determina mediante ensayo tecnológico según la norma UNE-EN 13364. En el mismo, se lleva a las fijaciones a rotura por cortante. El valor queda minorado por un factor de seguridad que depende tanto de la geometría de la rotura como de las distancias a borde y entre anclajes.

#### En función de la resistencia a impactos:

Se debe ensayar frente al impacto el sistema de fachada, ya que en su vida útil puede sufrir golpes provenientes del mantenimiento, balonazos, etc.

Los valores obtenidos deben minorarse dividiendo por el factor de seguridad  $F_i=1,2$ .

La siguiente tabla muestra los valores admisibles de impacto de cuerpos duros en función de la aplicación y la altura de la fachada:

|                         | Hasta 3 m de alto | Hasta 3 m a 6 m de alto | Más de 4 m de alto |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|
| Edificios               | 5 J               | 4 J                     | 3 J                |
| Viviendas unifamiliares | 4 J               | 3 J                     | -                  |

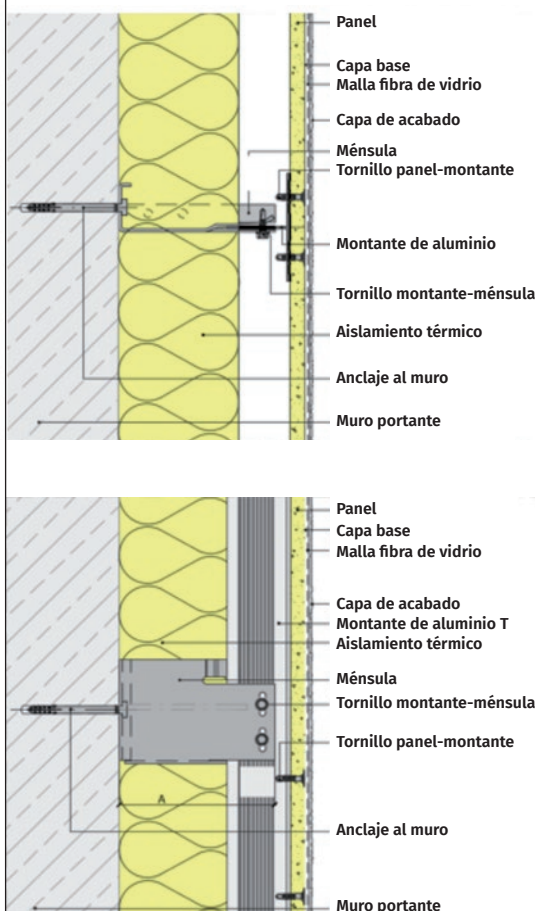
Referencia normativa: UNE-EN 14158:2004. Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la energía de rotura.

El enmallado que tienen las placas de piedra natural a menudo viene de origen, ya que se pone en las tablas originales, por motivos de seguridad durante su manipulación. En cualquier caso, su presencia en las placas instaladas en fachadas supone un elemento de seguridad adicional, ya que permite que si una placa parte ante un impacto no se desmorone en pedazos independientes, haciendo más difícil su caída total o parcial.

### 2.1.4.8 Sistema de fijación atornillada y revestida in situ

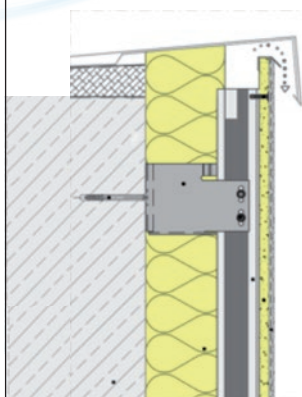
Se trata de sistemas que permiten dar un acabado continuo in situ y que se componen de las partes siguientes:

- Paneles que van directamente atornillados a los montantes de perfil “T” o “L” de aluminio o de acero galvanizado.
- Dependiendo de las características del panel y de las indicaciones del fabricante pueden ir con los paneles a tope sin ningún tipo de tratamiento en las juntas o algunas marcas realizan un tratamiento de pegado de los cantos o recomiendan utilizar una cinta o malla para unir las juntas.
- Mortero base con malla embebida para evitar la aparición de fisuras entre los paneles. Los límites de los paños continuos que se pueden obtener varían según el coeficiente de dilatación y módulo de elasticidad de los paneles, por lo que se encuentran soluciones que pueden conseguir tramos sin juntas desde los 6x6 m hasta los 30x30 m.
- Revestimiento de acabado, que puede ser una pintura o un revoco, que cumple la función estética de la fachada y la de brindar una capa de protección frente a la intemperie a los componentes anteriores.

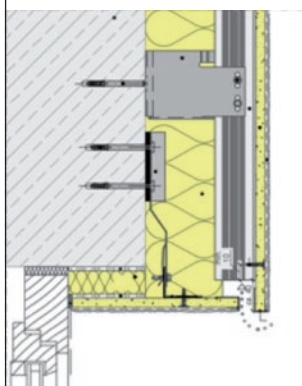


**Figura 134.**  
**Corte horizontal y**  
**vertical.**

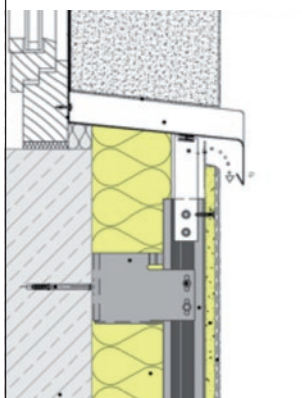
En este tipo de fachada ventilada la ventilación se consigue gracias a que se dejan aberturas continuas en la parte inferior y superior de la fachada, en la zona de los dinteles y bajo los vierteaguas.



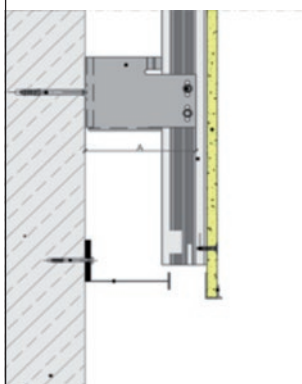
**Detalle de coronación**



**Detalle de dintel**



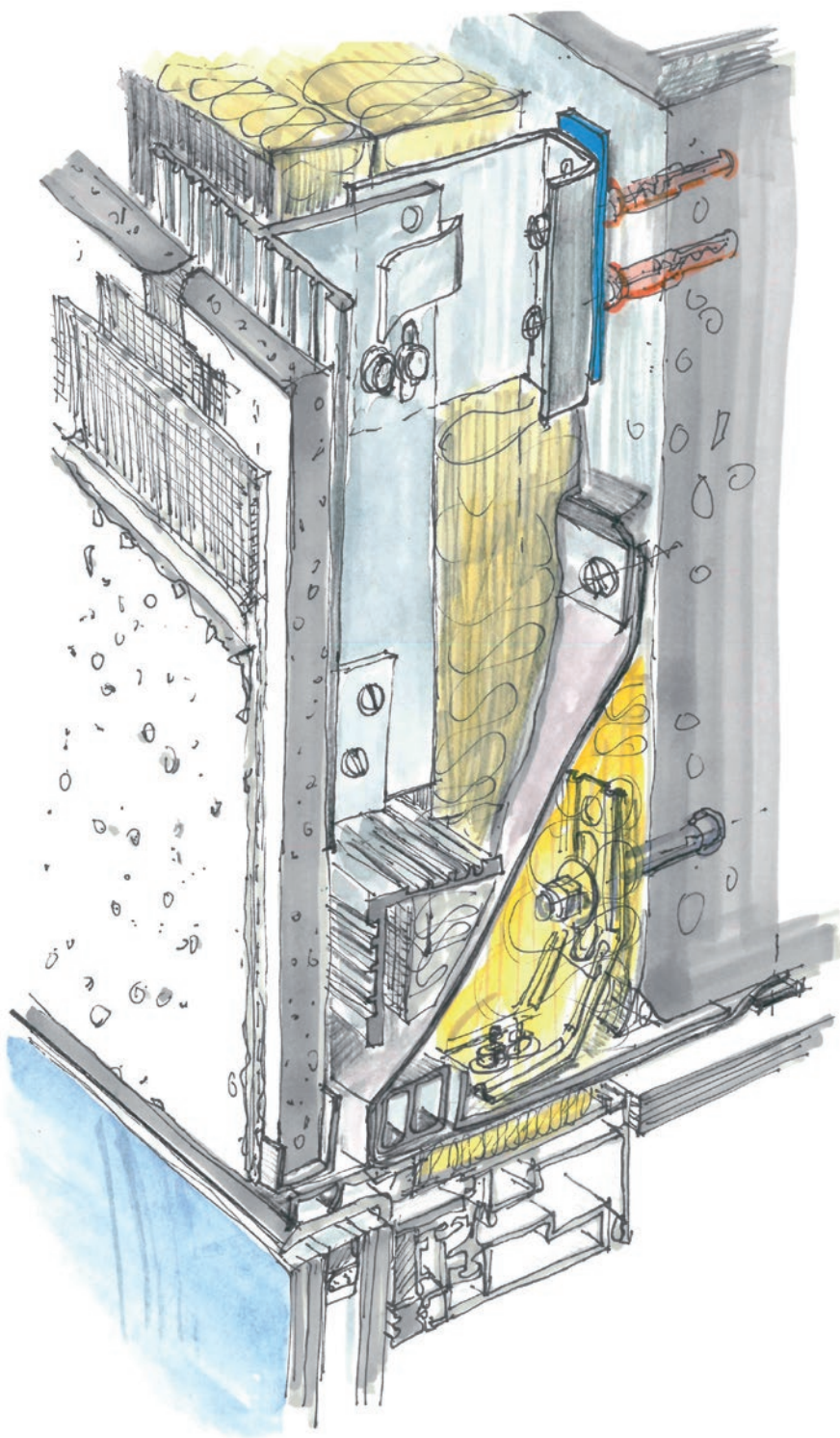
**Detalle de vierteaguas**



**Detalle de arranque**

**Figura 135.**  
**Detalles de coronación,**  
**dintel, vierteaguas y**  
**arranque.**

**CROQUIS N°16**  
*Detalle de dintel.*  
**Sistema de panel**  
*portante acabado con*  
*revestimiento de revoco*  
*de mortero con color*  
*en masa sobre malla,*  
*sin juntas. Trama de*  
*perfiles verticales y*  
*horizontales. Ventana*  
*con acristalamiento*  
*pegado al marco con*  
*silicona estructural,*  
*para dejar el plano de la*  
*ventana a haces.*





*Figura 136.*  
*Obra nueva Palacio de*  
*Congresos de Águilas*  
*en Murcia, sistema de*  
*fijación atornillada y*  
*revestida in situ, fachada*  
*ventilada curvada,*  
*revocada y sin juntas,*  
*año 2010, altura del*  
*edificio 26 m.*



*Figura 137.*  
*Rehabilitación edificio*  
*ubicado en c/ Larratxo*  
*de San Sebastián,*  
*sistema de fijación*  
*atornillada y revestida in*  
*situ, fachada ventilada*  
*revocada sin juntas, año*  
*2011, altura del edificio*  
*44 m.*



*Figura 138.*  
*Obra nueva. Edificio*  
*Fórum de Barcelona,*  
*sistema de fijación*  
*atornillada y revestida in*  
*situ, fachada ventilada*  
*revocada sin juntas, año*  
*2005, altura del edificio*  
*25 m .*





**Figura 139.**

*Rehabilitación edificio  
ubicado en c/ Arana  
de Beasain, sistema de  
fijación atornillada y  
revestida in situ, fachada  
ventilada revocada sin  
juntas, año 2011, altura  
del edificio 2 m.*



## 2.2 AISLAMIENTO

### 2.2.1 Descripción

El aislamiento garantiza el correcto comportamiento térmico de la fachada ventilada. Va colocado en la cara fría del muro soporte, de manera que el aislamiento es continuo a lo largo de toda la parte ciega de la fachada (incluyendo el aislamiento en los perímetros de los huecos).



**Figura 140.**

*Colocación del  
aislamiento.*

## 2.2.2 Materiales

La elección del tipo de material aislante va a influir notablemente en el funcionamiento del sistema en todos los aspectos (higrotérmico, acústico, comportamiento frente al fuego, etc.), por lo que en cada caso se recomienda su elección en función de las prestaciones a cumplir.

Es un material que se encuentra en el interior de la cámara de aire ventilada, por lo tanto, es muy importante que el comportamiento frente al fuego de este material sea el adecuado para evitar una rápida propagación del fuego por dicha cámara.

Los aislamientos utilizados como aislamiento térmico en fachadas ventiladas son los siguientes:

- Lanas minerales: lana de roca o lana de vidrio.
- Poliestireno expandido (EPS) o extruido (XPS)
- Poliuretano (PUR) o poliisocianurato (PIR)
- Otros productos aislantes: celulosa, lana de oveja, corcho, fibras de cáñamo, etc.

Habitualmente estos materiales se comercializan en formato panel y se fijan al soporte mecánicamente o químicamente a través de fijaciones metálicas/plásticas, adhesivos, mortero, etc.; o también pueden ser materiales proyectados (celulosa, espuma de poliuretano, etc.).

A continuación, se especifican los tipos de aislamientos más utilizados para este sistema de fachada.

### **Lana mineral de vidrio**

La lana mineral de vidrio es un producto de origen natural, mineral, inorgánico, compuesto por un entrelazado de filamentos de vidrio aglutinados mediante una resina ignífuga.

Así, gracias a sus características intrínsecas, se obtiene aislamiento térmico y acústico y una total garantía de seguridad frente al fuego.

Gracias a la porosidad abierta, la lana mineral de vidrio permite que el aire quede ocluido en el interior de sus poros, llegando a conductividades térmicas cercanas a la de los gases. Debido al adecuado tamaño de los poros se evita al máximo la transmisión de calor tanto por convección, como por radiación y conducción.

Es un producto idóneo para los sistemas de aislamiento acústico. Gracias a su naturaleza filamentosa de estructura abierta, ordenada y elástica (consecuencia de las materias primas y de su proceso de fabricación), las ondas sonoras que penetran en ella se amortiguan, haciendo que el sonido transmitido al otro lado o reverberado hacia el mismo local, sea menor. De este modo, la transmisión de ruido aéreo, de tráfico de impacto y de sonido reverberado se minimiza al máximo.

Además, el aislamiento de lana mineral de vidrio incorporado en la fachada hace que disminuya la frecuencia de resonancia propia del sistema, desplazando el pico frecuencial de las ondas estacionarias, lo que hace que se minimice al máximo la posibilidad de que se produzca el efecto tambor.

Debido al origen pétreo de las materias primas (principalmente arena y otros minerales), el carácter de la lana de vidrio es incombustible, clasificación A1 según las Euroclases. En algunos casos se incorporan revestimientos a la lana con el fin de: facilitar su montaje, disminuir su visibilidad entre las juntas de la fachada o

incluso actuar a modo de membrana impermeable. En cualquier caso, este revestimiento debe garantizar que el comportamiento frente al fuego no se vea alterado.

La lana mineral de vidrio es hidrófuga (no hidrófila) y no capilar. No capta ni transmite la humedad por el interior de sus poros y colocada en la cara exterior permite transpirar al cerramiento minimizando la formación de condensaciones.

Como beneficio añadido, la lana de vidrio contiene algunos aditivos que la hacen repelente al agua (hidrofóbica). Además, si se moja, recupera totalmente sus propiedades cuando se seca. Por tanto, la lana mineral de vidrio no necesita recubrimiento ni protección para su instalación en fachada, aunque también se ofrecen productos con recubrimiento que proporcionan un aspecto de color uniforme o que facilitan la manipulación en obra.

Por su elasticidad se adapta muy bien a las irregularidades de los elementos constructivos y al paso de instalaciones permitiendo una correcta continuidad del aislante en toda su superficie y sin necesidad de efectuar cortes en la lana mineral (que supondría un posible puente térmico o acústico). Además, no se degrada con el tiempo ni por la acción de los rayos solares o la lluvia, por lo que tiene una durabilidad equiparable a la del resto de elementos constructivos.

La lana mineral de vidrio permite transportar y almacenar gran cantidad de material en un mínimo espacio gracias a su alto nivel de compresibilidad. Esto significa por tanto que existe una reducción considerable en el número de camiones necesarios para su transporte lo que permite minimizar el impacto ambiental de la etapa de transporte.

Evaluando todos los impactos ambientales que genera la lana mineral de vidrio, desde la “cuna hasta la tumba” (extracción de las materias primas, fabricación, vida útil del edificio, y posterior demolición y final de vida de la lana de vidrio) se puede concluir que la cantidad de energía que se ahorra es mucho mayor (del orden de 500 veces) a la que se consume durante su fabricación.

Durante el proceso de producción, la lana mineral de vidrio es el material aislante con menor impacto medioambiental por lo que su contribución a la protección del entorno es máxima debido a:

- Naturaleza natural e inorgánica de la lana mineral (sílice).
- Materia prima compuesta por minerales (arena, calcita, magnesita...), que son recursos naturales sumamente abundantes en la Tierra y pueden considerarse prácticamente inagotables.
- Reducido consumo de recursos naturales gracias a las excelentes prestaciones obtenidas con productos sumamente ligeros.
- Inclusión de un alto porcentaje de vidrio reciclado en el proceso de fabricación. El reciclado de vidrio de procedencia externa colabora con la protección del medio ambiente revalorizando el vidrio ya utilizado.
- Minimización de los efluentes de la fábrica mediante filtrado y recogida selectiva.
- Máximas prestaciones térmicas y acústicas con mínimos consumos de recursos naturales (debido a su baja densidad).
- No se degrada a lo largo de su vida útil y es totalmente reciclable al final de la misma.

## **Lana de roca**

La lana de roca es un material que proviene principalmente de la roca basáltica.

Esta materia prima natural es sumamente abundante en la Tierra, por lo que puede considerarse inagotable. Para su fabricación, estas materias primas pasan por un proceso de fundido y fibrado, que da como resultado unos materiales aislantes muy versátiles. En el proceso también se utilizan residuos de otras industrias, como la escoria siderúrgica, que se reciclan e incorporan como materias primas.

Como resultado de este proceso se obtienen productos aislantes ligeros, rígidos o incluso de alta densidad, que, por su peculiar configuración, ofrecen elevados niveles de protección frente al frío, el calor, el ruido y el fuego.

La lana de roca puede volver a fundirse y transformarse en el mismo producto de igual calidad, cuantas veces se requiera, por lo que su reciclabilidad es óptima.

El aire atrapado entre las fibras entrelazadas es la causa de que la lana de roca sea un gran aislante térmico. Al no tratarse de un gas encapsulado y distinto a la atmósfera, la durabilidad de su poder aislante es indefinida; por ahora se ha comprobado en muestras reales una durabilidad mayor a 60 años.

Gracias al ahorro energético que supone, el impacto de fabricación de cualquier producto de lana de roca se compensa en cuestión de meses durante el uso del edificio.

Además de la estructura fibrosa, una densidad entre 40 y 100 Kg/m<sup>2</sup> le confiere un óptimo comportamiento acústico. La lana de roca se utiliza tanto para absorción acústica (para minimizar la reverberación), aislamiento a ruido aéreo y aislamiento a ruido de impacto.

La clasificación de reacción al fuego de la lana de roca es A1. Esto significa que en ningún momento contribuye al desarrollo de un incendio y que no desprende humos ni gotas inflamadas. Además, la lana de roca resiste temperaturas superiores a los 1000°C por lo que se utiliza para la protección frente al fuego de diversas soluciones constructivas.

La lana de roca es estable dimensionalmente, tanto frente a cambios bruscos de temperatura como de humedad. Tiene un coeficiente de dilatación prácticamente nulo.

Tiene una larga vida útil (superior a los 60 años).

La lana de roca es un material hidrófugo, o lo que es lo mismo no hidrófilo. Su estructura de célula abierta permite la difusión y evaporación del vapor de agua, favoreciendo el balance higrotérmico natural entre el interior y el exterior de la vivienda. Para su aplicación como aislamiento en fachada ventilada no precisa de ningún recubrimiento que la proteja frente al agua.

Debido a que la composición de los paneles de lana de roca es prácticamente inorgánica, no hay riesgo de formación de moho o de microorganismos dado que no hay nutrientes suficientes para su crecimiento.

## **Espuma de poliuretano**

Se trata de un material plástico formado principalmente por la reacción química de dos componentes un polioli y un isocianato. Este material es inocuo para el ser humano. Se suele aplicar proyectándolo sobre una superficie, por eso también se le suele llamar poliuretano proyectado.

La espuma de poliuretano es de rápida aplicación, con una elevada capacidad aislante, ya que consigue aislar lo mismo que otros materiales con un espesor menor.

Es un material orgánico, por tanto, es un material combustible. Se recomienda antes de utilizarlo asegurar que se cumplen los requisitos de seguridad frente a incendios. Ante cualquier duda, siempre es recomendable ir del lado de la seguridad y utilizar materiales no combustibles.

## 2.3 PANELES/PLACAS DE REVESTIMIENTO

### 2.3.1 Descripción

Se trata del elemento que protege al resto de componentes del sistema de la fachada ventilada de los agentes atmosféricos. La hoja exterior funciona como primera barrera frente al agua de lluvia y frente a la nieve, como protectora frente a la radiación solar y como amortiguadora de las acciones del viento.

Al ser la capa exterior de la fachada, es el revestimiento que viste al edificio. Como hemos visto anteriormente, el sistema de fachada ventilada permite que se multipliquen las posibles configuraciones, dando lugar a una gran diversidad en el diseño y en la utilización de materiales.

#### CROQUIS N°17. Placas y

perfiles de revestimiento.

Cerámica extrusionada en  
placas y perfiles, cerámica

moldeada, placas de

gres porcelánico, ladrillo

cerámico, piedra natural,

panel ultracompacto,

panel y bandejas de

composite, nido de abeja

doble canteado, bandejas

nido de abeja canteado

perfil sistema HDT, vidrio

con tapeta, vidrio pegado

a marco aluminio, fibras

cementosas, resina

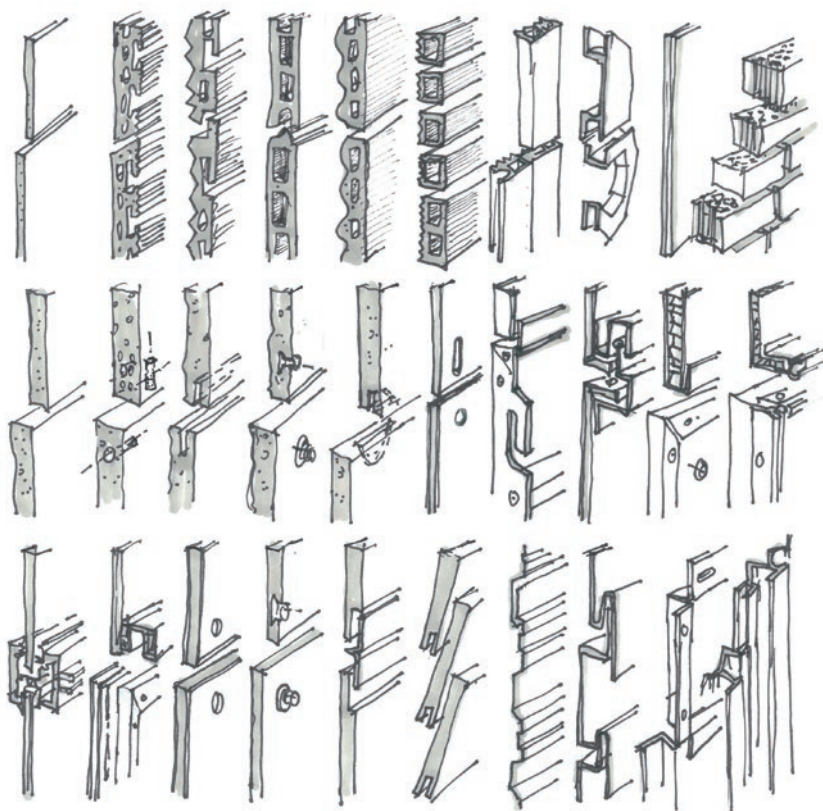
fenólica, chapa perfilada,

chapa clipada, bandejas

de chapa conformada,

perfil de aluminio

machihembrado.





## 2.3.2 Materiales

La hoja exterior del sistema de fachada ventilada puede estar compuesta de diversos materiales, tales como los enumerados a continuación:

- > Cerámica: terracota, gres porcelánico, etc.
- > Piedra natural: mármol, pizarra, granito, etc.
- > Metal: aluminio, zinc, etc.
- > Madera o subproductos de madera: laminados HPL (High Pressure Laminated), etc.
- > Composites o materiales compuestos que incorporen polímeros, metales, resinas, etc.
- > Panel de base cemento: fibrocemento, etc.
- > Panel de partículas de piedra sinterizada o ultracompacta
- > Otros materiales de revestimiento

Dependiendo del tipo de fijación a la subestructura, los paneles de revestimiento pueden estar dotados de ranuras o perforaciones para diversos tipos de fijación (tornillos, clips, fijaciones tipo cassette, etc.).

Dentro de todas las posibilidades que existen, se van a enumerar algunos revestimientos para fachadas ventiladas.

### 2.3.2.1 Superficies ultracompactas

Estos materiales utilizan en su fabricación la tecnología “TSP” (Technology of Sinterized Particles), un proceso tecnológico de sinterización y ultracompactación que supone una versión acelerada de los cambios metamórficos que sufre la piedra natural al exponerse durante milenios a alta presión y alta temperatura.

Como resultado, se presentan en placas de gran formato con una amplia variedad de espesores que pueden llegar a ser muy finos. Debido a su proceso de fabricación, obtienen muy buenas prestaciones, entre ellas alta resistencia al rayado, bajos coeficientes de dilatación, excelente comportamiento ante el fuego, resistencia a los rayos UV, al choque térmico, al ciclo de hielo-deshielo, y una porosidad casi nula que les otorga un buen comportamiento frente al manchado.

#### > **Diseño del espesor de la piedra natural**

- La composición química del producto es totalmente inorgánica y se basa en tres grupos de elementos: minerales provenientes del granito, minerales originarios del vidrio y sílice y óxidos naturales.

Esta materia prima se muele y homogeniza en húmedo, tras lo que se añaden los pigmentos inorgánicos, y se seca hasta lograr el tamaño de partícula y humedad adecuados. Tras ello se aplican sistemas de decoración y se efectúa el sistema de conformado, ultracompactándose a una presión muy elevada. Por último, se aplica un proceso térmico que da como resultado las tablas de gran formato y cuerpo homogéneo.

- En base a su composición por colores, pueden clasificarse en al menos tres familias, una para colores claros, otra para colores medios y otra para colores oscuros.

- Las superficies ultracompactas no contienen resinas ni aditivos orgánicos, por lo que no se utilizan reacciones de polimerización para su obtención.

### > Normas de referencia y prestaciones:

Clasificación de las superficies ultracompactas:

En base a sus características técnicas (con valores inferiores a 0,1% de absorción de agua), estas superficies optan a la clase Bla (valores inferiores a 0,5% de absorción de agua) de acuerdo con la norma UNE-EN 14411.

Las superficies ultracompactas presentan las siguientes prestaciones principales:

| Requisito básico                                  | Norma                      | Característica esencial          | UD                        |
|---------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Resistencia a la flexión y carga de rotura        | UNE EN ISO 10545-4         | Resistencia flexión media        | $\geq 45 \text{ N/mn}^2$  |
|                                                   |                            | Fuerza de rotura                 | $\geq 13000 \text{ N}$    |
| Absorción de agua, porosidad abierta y densidades | UNE EN ISO 10545-3         | Absorción de agua por ebullición | 0,1%                      |
|                                                   |                            | Absorción de agua por vacío      | 0,1%                      |
|                                                   |                            | Densidad relativa aparente       | $\geq 2,4 \text{ g/cm}^3$ |
|                                                   |                            | Densidad aparente                | $\geq 2,4 \text{ g/cm}^3$ |
| Determinación de la resistencia al impacto        | UNE EN ISO 10545-5         | Coficiente de restitución medio  | $\geq 0,85$               |
| Determinación de la dilatación térmica lineal     | UNE EN ISO 10545-8         | Dilatación entre 30 - 100°C      | $\leq 6,5 \cdot 10^{-6}$  |
| Seguridad en caso de incendio                     | (UE) 2016/364 y EN 13501-1 | Reacción al fuego                | Clase A1                  |
| Estabilidad ante rayos UV                         | ISO 11341:2004             | $\Delta E^* < 1$                 | $\leq 5000 \text{ horas}$ |

### > Formatos, grosores y acabados:

Las tablas de superficie ultracompacta suelen presentarse en tablas de gran formato en multitud de colores, texturas y acabados, que pueden cortarse de acorde a las necesidades del proyecto permitiendo una gran flexibilidad en el diseño del despiece.

Los espesores habituales en los que se presenta este material pueden ir desde los 4 mm hasta los 30 mm y su formato puede llegar hasta 3200x1444 mm.

Las superficies ultracompactas pueden presentar diversas texturas, las más habituales son:

> **Mate liso:** textura plana.

> **Mate texturizado:** simulan texturas naturales como la madera o la piedra.

> **Pulido:** acabado que puede combinar tratamientos nanocoating y pulido mecánico para conseguir una superficie brillante y con alta resistencia al manchado.

> **Características generales del material:**

Las características generales del producto se encuentran en la Declaración de Prestaciones de Producto y en la Declaración de Prestaciones de Fachada, en los casos en que el producto tenga marcado CE publicada por el fabricante, y además en las fichas técnicas del producto.

La declaración de prestaciones se emite de conformidad con el reglamento (UE) nº 305/2011.

> **Diseño del sistema:**

A la hora de realizar el diseño de despiece de la fachada del edificio con material ultracompacto, se deben considerar los siguientes aspectos:

*Tamaño de las piezas: se deben considerar las dimensiones máximas de la tabla en anchura y longitud proporcionadas por el fabricante.*

La vena o patrón de diseño en la tabla: en función del color o acabado del material elegido, se debe considerar la posibilidad de que las piezas diseñadas se puedan cortar manteniendo la misma orientación de la tabla o permitiendo que el patrón de corte rote.



Figura 141.

Ejemplo de color con veta

direccional.

### 2.3.2.2 Placas compactas y HPL

#### Materiales

Madera o subproductos de madera: laminados HPL (*High Pressure Laminated*), etc.

Las placas compactas y HPL se utilizan como revestimiento en fachada ventiladas en España desde principios de los años 90 y en Europa desde hace 50 años. Su origen viene de aplicaciones interiores como sobremesas en laboratorios, de ahí sus elevadas prestaciones a los agentes químicos.

## Norma de producto y prestaciones

Aunque hay diferentes tecnologías su núcleo se basa en un núcleo de virutas de madera de un 70% o bien en hojas de celulosa con un contenido aproximado de un 60%. El resto del material son resinas termoestables y retardantes al fuego que confieren al material la protección al agua, fuego, agentes químicos y bióticos, necesaria para que la madera y celulosa no pierdan sus propiedades mecánicas.

Ambos componentes junto con las capas superficiales de color o diseños decorativos se unen entre sí en una prensa final mediante la aplicación simultánea de calor ( $\geq 150^{\circ}\text{C}$ ) y alta presión ( $>7\text{ Mpa}$ ). El resultado final son placas de grandes dimensiones entre  $3,00 - 9,00\text{ m}^2$  no porosas, resistentes a agentes químicos atmosféricos como el  $\text{SO}_2$  o el salitre marino y en muchos casos a la limpieza de grafitis.

Las placas compactas y HPL tienen una norma armonizada europea, la norma UNE-EN 438 que define su aplicación para interiores (revestimientos y mobiliario) y para aplicaciones exteriores como fachadas ventiladas y falsos techos exteriores.

La norma UNE-EN 438 define dos tipos de materiales para exteriores, aquellos cuya aplicación es temporal EGS y aquellos que tienen una aplicación permanente, como son las fachadas de edificios EDS.

Por otra parte, la propia aplicación en fachadas que llegan al suelo o tienen una altura mayor de 18 m exigen un material ignífugo. En ese caso el material es EDF con una clasificación de reacción al fuego B-s2,d0 para  $\geq 6\text{ mm}$  según EN 13501-1.

| Primera letra                          | Segunda letra                                                   | Tercera letra                                        |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>E</b><br>(Laminado para exteriores) | <b>G</b> (Aplicación general) o<br><b>D</b> (Aplicación severa) | <b>S</b> (Calidad estándar) o<br><b>F</b> (Ignífugo) |

**Tabla 1.- Clasificaciones típicas EN 13501-1 de laminados compactos de grado exterior en el campo de la construcción de edificios**

NOTA: Los aditivos ignífugos utilizados en los laminados compactos de grado exterior no están basados en halógenos y siguen siendo efectivos durante la vida útil del producto.

| Tipo de producto                    | Clasificación EN 13501-1 |
|-------------------------------------|--------------------------|
| EGF y EDF grueso $\leq 6\text{ mm}$ | B-s2, d0                 |
| EGF y EDF grueso $> 6\text{ mm}$    | C-s2, d0 o mejor         |
| EGS y EDS                           | D-s2, d0 o mejor         |

NOTA: Se recomienda ponerse en contacto con el fabricante del laminado para obtener detalles de los informes y certificaciones de pruebas de fuego, y obtener información sobre los métodos y especificaciones de prueba de fuego.

La norma define también unos mínimos de estabilidad a los UV en la gama de laminados compactos para exteriores. Para ello, establece varios ensayos con el fin de garantizar no solamente la estabilidad del color superficial expuesto a los UV, sino también la integridad de todo el material.

El ensayo de choque climático según la norma UNE-EN 438-6 (19), el ensayo de resistencia a la luz ultravioleta según la UNE-EN 438-6 (28) y finalmente el ensayo de resistencia a la intemperie artificial en una cabina de Xenon test de 3000 h con

ciclos de aspersión de agua sobre la superficie, permiten establecer unas propiedades mínimas en el material para poder utilizarse en exteriores.

Esta batería de ensayos aprobada en la primera edición de la norma UNE-EN-438 del año 2005 se ha mantenido en la actualización de la norma del año 2016 y permite mantener una calidad en los productos para exteriores de los HPL.

Tabla 4.- Requisitos resistencia a la intemperie

| Propiedades                                                            | Método de prueba<br>(EN 438-2:2016,<br>número de<br>cláusula) | Características             | Unidad<br>(máxima o mínima)                    | Grado laminado                                              |                                                             |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                                                                        |                                                               |                             |                                                | EGS y EGF                                                   | EDS y EDF                                                   |
| Resistencia al cambio climático                                        | 19                                                            | Aspecto                     | Calificación (min)                             | 4                                                           | 4                                                           |
|                                                                        |                                                               | Resistencia a la flexión Ds | (min)                                          | 0.80                                                        | 0.80                                                        |
|                                                                        |                                                               | Módulo de flexión Dm        | (min)                                          | 0.80                                                        | 0.80                                                        |
| Estabilidad ante rayos UV                                              | 28                                                            | Contraste                   | Calificación en escala de grises (no peor que) | Sin requisitos                                              | 3 (después de 1500 horas de exposición)                     |
|                                                                        |                                                               | Aspecto                     | Calificación (min)                             | Sin requisitos                                              | 4 (después de 1500 horas de exposición)                     |
| Resistencia a la intemperie artificial (incluida la solidez de la luz) | 29                                                            | Contraste                   | Calificación en escala de grises (no peor que) | 3 (325 MJ/m <sup>2</sup> después de una exposición extrema) | 3 (325 MJ/m <sup>2</sup> después de una exposición extrema) |
|                                                                        |                                                               | Aspecto                     | Calificación (min)                             | 4 (325 MJ/m <sup>2</sup> después de una exposición extrema) | 4 (325 MJ/m <sup>2</sup> después de una exposición extrema) |

Los resultados del ensayo de resistencia a la luz ultravioleta y resistencia a la intemperie artificial se contrastan con la **escala de grises** definida por la norma ISO 105-A2. Su valor de contraste debe ser  $\geq 3$ .

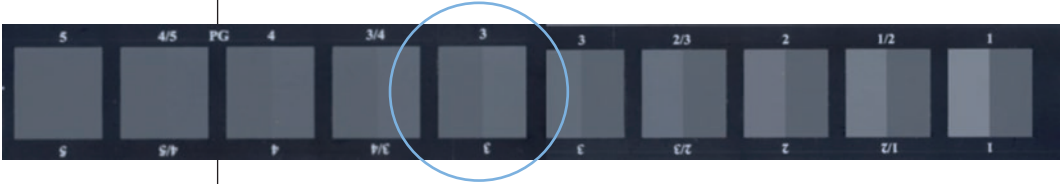


Figura 142.

**Escala de grises . Valores mínimos de norma para contraste simulando 10 años de exposición a los UV en Europa Occidental.**

Sin embargo, muchos fabricantes han desarrollado tecnologías para aumentar su resistencia a los UV como son diferentes films acrílicos, láminas PVDF o la tecnología EBC que ha permitido mantener la estabilidad del color en obras de más de 20 años en España con valores 4-5 según la escala de grises.



## Formatos y grosores

El producto final se produce en prensas con diferentes bancadas, de manera que en una sola prensada se pueden llegar a fabricar unas 30 placas a la vez, en grosores de 6 hasta 13 mm.

Los formatos dependen de cada fabricante, pero van desde el formato de carpintería 2440 x 1220 mm hasta formatos de 4270 x 2130 mm.

La densidad del material es 1350 kg/m<sup>3</sup> de manera que una placa de 6 mm tiene un peso de 8,1 kg/m<sup>2</sup>. Su ligereza y su elevada resistencia a la flexión dada la gran cantidad de fibras en su núcleo permite montar grandes formatos con relativa facilidad y rapidez en obra sin roturas por traslados ni movimientos en obra.

Su elevada resistencia a la flexión permite una clasificación de uso 1 según el ensayo de impacto a cuerpo duro y blando de la EAD 090062-00-0404 Anexo G. Llevado a la práctica permite colocarse en partes bajas de zonas accesibles, escuelas, edificios públicos y en zonas con góndolas de limpieza de fachadas.

**Tabla - Categorías de uso de impacto**

| Categoría | Uso                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I         | Una zona fácilmente accesible a nivel del suelo para el público y vulnerable a los impactos del cuerpo duro pero no sujeta a un uso anormalmente brusco (por ejemplo: bases de fachadas en edificios ubicados en lugares públicos, como plazas, patios escolares o parques. Se pueden usar góndolas de limpieza en la fachada).                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| II        | Una zona susceptible a impactos de objetos lanzados o pisoteados, pero en lugares públicos donde la altura del kit limitará el tamaño del impacto; o los niveles inferiores donde el acceso al edificio es principalmente para aquellos con algún incentivo para ejercer cuidado (por ejemplo: bases de fachadas en edificios no ubicados en lugares públicos, como por ejemplo, plazas, patios escolares, parques o niveles superiores de fachadas en edificios ubicados en lugares públicos que ocasionalmente pueden ser golpeados por un objeto lanzado, como, pelota, piedra, etc. Se pueden usar góndolas de limpieza en la fachada). |
| III       | Una zona que probablemente no sea dañada por los impactos normales causados por personas o por objetos arrojados o pisoteados (por ejemplo: Niveles superiores de la fachada en el edificio (sin incluir la base) que no se encuentran en lugares públicos, que ocasionalmente pueden ser golpeados por un objeto lanzado, como, pelota, piedra, etc. Las góndolas de limpieza no deben usarse en la fachada).                                                                                                                                                                                                                              |
| IV        | Una zona fuera del alcance desde el nivel del suelo (por ejemplo: Altos niveles de fachada que no pueden ser golpeados por un objeto lanzado. Las góndolas de limpieza no deben usarse en la fachada).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

### Requisitos según la norma:

| Requisitos Básicos               | Característica Esencial                | Prestación                      |
|----------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| <b>TOLERANCIAS DIMENSIONALES</b> |                                        |                                 |
| Calidad de la superficie         | Espesor                                | ±0,4 ≤ 6 mm -±0,6 ≤ 13 mm       |
|                                  | Planimetría                            | ≤ 0,2 mm                        |
|                                  | Longitud y anchura                     | + 5 / 0 mm                      |
|                                  | Rectitud de los bordes                 | ≤ 1 mm                          |
|                                  | Cuadratura                             | Depende formato                 |
|                                  | Manchas, suciedad y defectos similares | mm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> |
|                                  | Fibras, pelos y rayas                  | mm/m <sup>2</sup>               |

| Requisitos Básicos                 | Caraterística Esencial                                | Prestación                 |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>         |                                                       |                            |
|                                    | Resistencia al impacto de una bola de gran diámetro   | $6 \leq t \text{ mm}$      |
|                                    | Estabilidad dimensional a temperatura elevada         | Longitudinal %             |
|                                    |                                                       | Transversal %              |
|                                    | Resistencia a la humedad                              | Absorción de agua %        |
|                                    | Módulo de Flexión                                     | Carga Mpa $\geq 9000$      |
|                                    | Resistencia a la Flexión                              | Mpa                        |
|                                    | Resistencia a la Tracción                             | Mpa                        |
|                                    | Densidad                                              | $\geq 1,35 \text{ g/cm}^3$ |
|                                    | Resistencia a las Fijaciones                          | N                          |
| <b>PROPIEDADES TÉRMICAS</b>        |                                                       |                            |
|                                    | Resistencia/Conductividad térmica                     | W/mk                       |
| <b>RESISTENCIA A LA INTEMPERIE</b> |                                                       |                            |
|                                    | Resistencia al Choque Climático                       | Índice                     |
|                                    | Resistencia a la luz Artificial (Contraste y Aspecto) | Escala de grises           |
|                                    | Resistencia a la intemperie artificial                | Escala de grises           |
|                                    | Resistencia al SO <sub>2</sub>                        | Escala de grises           |
| <b>REACCIÓN AL FUEGO</b>           |                                                       |                            |
|                                    | Euroclases EDF                                        | B-s2,d0                    |

## Diseño del sistema

Las placas compactas y HPL son materiales que permiten adaptarse a toda tipología de obra, ya sea, obra nueva o rehabilitación. Sus grandes formatos, ligereza, diferentes grosores, y durabilidad a todo tipo de ambientes, ya sea, en el interior o en costa, a nivel del suelo o grandes alturas y sus infinitos acabados y texturas hacen de él un material idóneo para fachadas ventiladas.

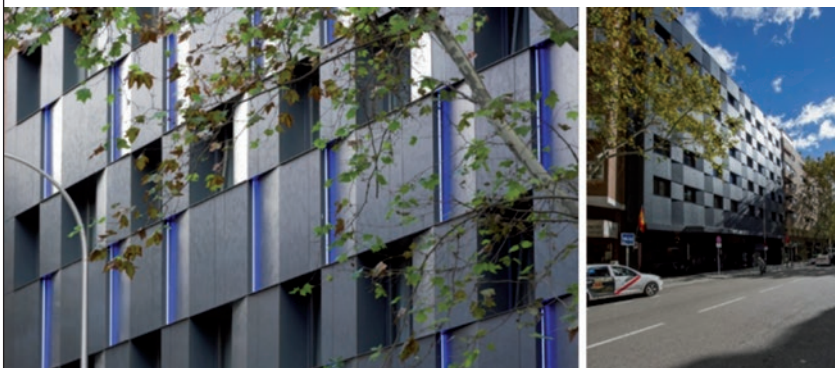
Debido a la gran cantidad de sistemas, formatos y acabados se recomienda el asesoramiento de la empresa fabricante al inicio del proyecto. La certificación de los sistemas constructivos mediante un DIT/DAU es importante para dar validez al material y su colocación en obra. El asesoramiento técnico y el certificado permiten dar una solución óptima y económicamente viable al diseño del arquitecto. Los programas de optimación de formato, así como las empresas de sistemas, permiten realizar los cálculos estáticos necesarios para garantizar la seguridad estructural y la economía del cerramiento.

Se muestran a continuación ejemplos de obras realizadas en diferentes acabados con placas compactas HPL.

**Figura 143.**

**Rehabilitación Hotel NYX  
(Hotel Atlanta) Madrid .**

**Placa compacta HPL.**



**Figura 144.**

**Oficinas y fabrica Cafés**

**Baqué Iurreta, Bizkaia,**

**Placa compacta HPL.**



**Figura 145.**

**Rehabilitación Viviendas**

**Manel Girona 5-7,**

**Barcelona, Placa**

**compacta HPL.**



### 2.3.2.3 Materiales compactos: sistemas de fachadas ventiladas de composite, madera y PVC, polipropileno y PVC compactados

#### **Composición del material:**

Los composites de madera y componentes de PVC, polipropileno, o diferentes resinas; así como los elementos para fachada de PVC compactado, ofrecen productos de acabado y tacto natural; ligeros de peso. El revestimiento de composite puede ser parte integrante, tanto de una solución de aislamiento global como servir individualmente para acabado de una fachada ventilada.

#### **Normas de referencia:**

Esta solución es duradera y proporciona buen rendimiento. Se indican las prestaciones del material y sus normas de referencia:

### Características generales del material:

| Características Esenciales       | Prestaciones                     | Normas                 |
|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Reacción a fuego                 | C-s3, d2/DHM                     | EN13245-2:2008/AC:2009 |
|                                  | D-s3, d2/AHM                     |                        |
| Emisión de sustancias peligrosas | NPD                              | EN13245-2:2008/AC:2008 |
| Resistencia de fijaciones        | Ver instrucciones de instalación | EN13245-2:2008/AC:2008 |
| Resistencia mecánica             | (23,10)                          | EN13245-2:2008/AC:2008 |
| Durabilidad                      | A2                               | EN13245-2:2008/AC:2008 |

EN13245-2:2008/AC:2008. Plásticos. Perfiles de poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U) para aplicaciones en edificación. Parte 2: Perfiles para acabados interiores y exteriores de paredes y techos.

### 2.3.2.4 Piedra natural

La piedra natural es, junto con la madera, el material cuya aplicación en las fachadas tiene un origen más antiguo. Es un material que ha estado muy vinculado a la construcción tradicional. No obstante, su desarrollo tecnológico ha sido particularmente notable en los últimos tiempos, tanto por todo el marco normativo y de ensayos que han ido surgiendo para tecnificar su aplicación en construcción, como por el desarrollo de tratamientos que mejoran sus propiedades o por la aparición de materiales composites elaborados a partir de piedra natural y que expanden los horizontes de sus posibilidades.

Es muy importante comprender desde el primer momento su condición de material perteneciente a la naturaleza. Esto le aporta por un lado un valor añadido, en cuanto a su estética, su expresividad y su comportamiento como material “vivo” y noble. Por otro lado, es vital comprender sus características y particularidades, algo que puede llegar a ser más complejo en comparación con otros materiales sintéticos. Conviene comenzar con la reflexión de que **no existen piedras buenas y piedras malas, sino piedras bien o mal utilizadas en cada aplicación.**

#### > Tipos de piedras:

No se pretende a continuación hacer una clasificación exhaustiva y científica de las rocas desde el punto de vista geológico, fácil de ampliar en otro tipo de bibliografía, sino una breve clasificación práctica desde el enfoque de la construcción y, enfocado, en particular, a su aplicación en fachadas ventiladas.

#### > Granito:

Rocas ígneas compuestas de diversos minerales, principalmente de cuarzo, feldespato y mica. A nivel comercial, se consideran también granitos los basaltos, gneis, dioritas, pórfidos, etc.

Su aspecto suele ser blanquecino o gris, presentando motas debidas a cristales más oscuros. También se presentan habitualmente en tonos ocre y rosas, y en menor medida, negros y verdes.

Presentan valores muy altos en cuanto a dureza y resistencia a esfuerzos y alteraciones admitiendo cualquier tipo de trabajo y acabado, siendo también muy resistentes a la acción de los agentes atmosféricos.

### > **Pizarra:**

Son rocas metamórficas de grano fino procedentes de sedimentos arcillosos. Suele presentarse en colores oscuros, en textura de lajado o labrado. No es tan dura ni tan brillante como el granito. Su estructura laminar plana (esquistosidad) resulta muy característica. Puede sufrir fácilmente exfoliaciones. Es por ello que en fachadas ventiladas se colocan con fijaciones vistas, debido al riesgo de realizar mecanizados en sus cantos.

Son muy utilizadas en el mundo de las envolventes (principalmente en cubiertas) por ser impermeables y muy resistentes a agresiones atmosféricas. También presentan alta resistencia a la flexión.

### > **Caliza:**

Rocas sedimentarias formadas principalmente por carbonato cálcico.

A menudo admiten el pulimento por lo que muchas variedades se clasifican como mármoles (calizas marmóreas). Por su homogeneidad y tonos claros son muy utilizadas en fachadas. Presentan valores de resistencia a flexión, compresión, anclaje e impactos intermedios y altos. Tienen una elevada porosidad y reducida resistencia a la abrasión (poco relevante en fachadas).

### > **Arenisca:**

Roca sedimentaria detrítica formada por granos de cuarzo, feldespato, mica y pequeños fragmentos de rocas más antiguas, con un cemento (de calcita, silicatado, de óxidos de hierro o minerales de arcillas). Su aspecto claro y su facilidad para el tallado y el corte las ha hecho muy habituales en fachadas monumentales. Pueden presentar vetas, pero suelen ser mucho más regulares y direccionales que en los mármoles. Presenta unos valores de resistencia a compresión y flexión muy variables (rango desde muy bajos hasta valores intermedios), además de una elevada porosidad.

### > **Mármol:**

En su sentido más estricto, los mármoles son rocas metamórficas procedentes de rocas carbonatadas (principalmente calizas). No obstante, en el ámbito comercial se ha extendido bastante más la denominación de mármoles a muchas piedras que simplemente admiten el pulido, siendo de distinta naturaleza.

Normalmente presentan una estética con mayor o menor cantidad de vetas irregulares. Su estructura cristalina les proporciona una gran dureza y una predisposición para su buen pulido superficial, pudiendo lograr un perfecto brillo. Presentan valores mecánicos altos.

### > **Travertino:**

Rocas sedimentarias formadas por la precipitación de carbonato cálcico en agua. El proceso de sedimentación les confiere una estética muy atractiva, presentando habitualmente coqueras, que en ocasiones se rellenan con masillas de color o transparentes si se utiliza en aplicaciones interiores. Pese a ser rocas sedimentarias, no metamórficas, a menudo son denominados como mármoles por su aspecto vetado y su capacidad de pulimento.



| Tipo de piedra | Densidad (g/cm³) | Resistencia a compresión (N/mm²) | Resistencia a flexión (N/mm²) | Absorción de agua (% en peso) |
|----------------|------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| GRANITO        | 2,7-3,0          | 180-240                          | 10,0-30,0                     | 0,1-1,0                       |
| PIZARRA        | 2,6-2,9          | 90-230                           | 10,0-40,0                     | 0,1-1,0                       |
| MÁRMOL         | 2,5-2,8          | 70-240                           | 5,0-20,0                      | 0,1-2,0                       |
| TRAVERTINO     | 2,3-2,6          | 50-150                           | 5,0-20,0                      | 0,5-5,0                       |
| CALIZA         | 1,8-2,7          | 20-200                           | 3,0-15,0                      | 1,0-10,0                      |
| ARENISCA       | 1,9-2,6          | 30-200                           | 3,0-15,0                      | 1,0-10,0                      |

Comparativa de las propiedades físico-mecánicas de la piedra natural.

Adicionalmente, la piedra natural se presenta por norma general con los siguientes tipos de acabados:

#### > **Pulido:**

Se aplica solo en rocas cristalinas, como los mármoles y algunas calizas y granitos. Las máquinas pulidoras aplican sucesivamente abrasivos de grano cada vez más fino, con lo que se consigue un abrillantado de las superficies de las piedras. En función del grado de cristalinidad de las mismas, estas se prestan en mayor o menor medida a este tratamiento. El pulido consigue cerrar parcialmente el poro superficial, mejorando así la resistencia del material a las agresiones externas. Sin embargo, el envejecimiento en la intemperie de la piedra provoca que ese pulido superficial vaya perdiéndose con el tiempo.

#### > **Apomazado:**

Por norma general se aplica en rocas dotadas de cierta compacidad pero que no admiten el pulido, como algunas calizas. Es un proceso muy similar al pulido, consiguiendo superficies lisas, pero sin ese nivel de brillo.

#### > **Arenado:**

Se proyecta arena de sílice a alta presión para conseguir una rugosidad superficial moderada. La regulación de la presión permite aumentar o disminuir la intensidad de la textura rugosa. Cuanto más rugosa queda la superficie de una piedra más se abre el poro, y por tanto mayor absorción presentará la misma.

#### > **Abujardado:**

Este tratamiento martillea la superficie de la piedra con unos útiles llamados bujardas, acabados en puntas similares a conos o pirámides, obteniendo una superficie rugosa bastante regular.

#### > **Flameado:**

Se aplica habitualmente en rocas ígneas de estructura granítica. La aplicación directa de una llama sobre la superficie de la piedra genera el desprendimiento de lascas y esquirlas de pequeño tamaño. Se consigue un aspecto de desbastado más tosco y ligeramente vítreo, muy homogéneo y natural que mejora la resistencia del material a acciones atmosféricas.

> **Al corte de disco:**

No se trata de un tratamiento a posteriori propiamente dicho. Es simplemente el acabado que genera el propio disco de corte en las piedras de cantería. El acabado muestra un acabado liso con un fino rayado en círculos concéntricos.

> **Serrado:**

Al igual que en el caso anterior, se trata del acabado que deja el proceso de corte, en esta ocasión en bloques cortados en tableros mediante telares de flejes. El resultado estético es una superficie ligeramente rugosa, con ondulaciones y pequeños surcos paralelos.

> **Lajado:**

También es el acabado vivo que queda en la producción de piedras que presentan planos de esquistosidad. Mediante cuñas o cinceles se separan por los mismos, quedando una textura de relieve muy natural y rugosa en el caso de las pizarras, y más perfecta y lisa en las cuarcitas.

> **Escafilado:**

Es un acabado que se consigue labrando la superficie de la piedra natural manualmente con herramientas como cinceles o escafiladores, que generan un acabado muy rústico.

Independientemente de su acabado, son independientes los tratamientos adicionales para mejorar las propiedades de durabilidad y facilitar el mantenimiento de la piedra natural.

> **Hidrofugantes:**

Productos líquidos que se aplican sobre la superficie de la piedra. Penetran en la estructura porosa de la misma y recubren la superficie de los poros con sustancias que repelen el agua. Por norma general, son transpirables (dejan salir la humedad que pueda ganar la piedra) y no alteran el color o el tono de la misma. Algunos de estos tratamientos aportan también propiedades fungicidas. Los productos hidrofugantes tienen una vida útil determinada, con lo que necesitan posteriores reaplicaciones.

Existen otros tratamientos que no quedan únicamente en la superficie de la piedra, sino que afectan a todo su espesor y refuerzan su estructura interna. Tales son por ejemplo los tratamientos de **consolidación y refuerzo con resina**.



Figura 146.

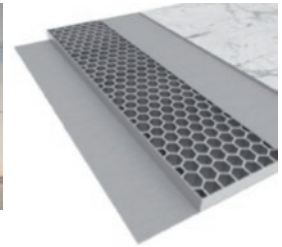
Piedra con tratamiento  
consolidante,  
hidrofugante y  
antimanchas Stratum.

En lo referente a los formatos más habituales, se amplía más información en el capítulo de diseño, pero, de modo resumido, se puede indicar que la aplicación de piedra natural en fachadas se ha realizado siempre buscando un equilibrio entre:

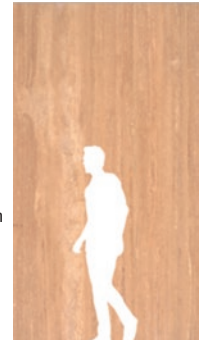
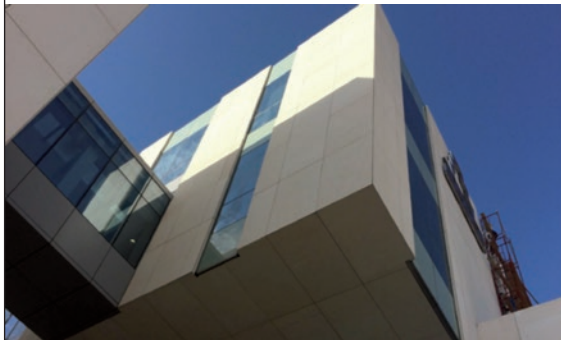
- Un **grosor** mínimo que por un lado busque la mayor economía y ligereza, pero que sea suficiente para el mecanizado de las placas y que aporte la resistencia mecánica necesaria. Este mínimo suele estar en los 30 mm (motivado generalmente por cuestiones de mecanizado y resistencia), con pesos que rondan los 75-85 kg/m<sup>2</sup> en estos espesores.
- Un **formato** de un tamaño controlado, tanto para hacerlo compatible con la manejabilidad e instalación (por norma general colocada manualmente, evitando el uso de medios auxiliares) como para hacerla compatible con la tecnología de sistemas ligeros de instalación de fachadas ventiladas. Habitualmente se utilizan formatos por debajo de 0,5 m<sup>2</sup> de superficie por placa (ocasionalmente se pueden presentar formatos algo mayores, pero casi siempre por debajo de los 0,75 m<sup>2</sup> por placa).

Los condicionantes de la piedra en el diseño de fachada son **su peso, su espesor y su tamaño**, esto es algo que ha quedado radicalmente optimizado con la aparición de **composites de piedra natural en fachadas**, revolucionando los diseños de las mismas.

Los composites han permitido generar paneles de grandes formatos de piedra natural (tablas enteras) y pesos realmente bajos, de aproximadamente 20 kg/m<sup>2</sup>. Esto es posible gracias a la combinación de tan solo unos pocos milímetros de piedra natural (superficie vista) con un material de refuerzo en su parte posterior (como los paneles de nido de abeja) que aportan al panel la rigidez y resistencia suficiente sin sumar apenas peso. De este modo se compatibiliza de manera ideal el uso de piedra natural en grandes formatos con los sistemas de fachada ventilada ligeros.



Máx. ancho 1,45 m



Máx.  
alto  
2,90 m

**Figura 147.**  
**Paneles composite de  
gran formato ultraligeros  
acabados en piedra  
natural.**

## Normas de referencia y prestaciones:

Se toma como norma de referencia la UNE 22203:2011. *Productos de piedra natural. Construcción de aplacados de fachadas con piedra natural*. Dicha norma regula de manera bastante exhaustiva criterios de diseño y calidad.

En lo referente a las dimensiones de la piedra en fachadas establece unas tolerancias dimensionales basadas en las normas UNE-EN 13373:2003. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de las características geométricas de las unidades* y UNE-EN 1469:2015. *Piedra natural. Placas para revestimientos murales. Requisitos*.

### Longitud y anchura nominales (para espesores menores a 5 cm):

- Dimensiones  $< 600 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$
- Dimensiones  $\geq 600 \text{ mm} \pm 1,5 \text{ mm}$

### Espesor nominal:

- Espesor  $\leq 30 \text{ mm} \pm 10\%$
- $30 < \text{Espesor} \leq 80 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$

### Planeidad en placas (no obtenidas por lijado):

- $\leq 0,2\%$  del largo, siempre inferior a 3 mm

### Localización de ejes de taladros o ranuras:

- respecto al largo/ancha:  $\pm 2 \text{ mm}$
- respecto al canto:  $\pm 1 \text{ mm}$

### Profundidad de taladro o ranura:

- $+3/-1 \text{ mm}$

### Diámetro de taladro o ranura:

- $+1/-0,5 \text{ mm}$

**Escuadrado:** las dimensiones de la placa de piedra deben quedar inscritas entre los marcos definidos por el desfase  $\pm 1 \text{ mm}$  hacia el interior y el exterior de sus medidas teóricas:

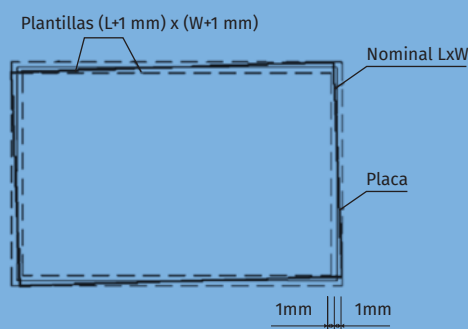


Figura 148.  
Escuadrado.

## > Resistencia a flexión:

Es un valor clave para el dimensionado de las placas de piedra, ya que esta característica determina el espesor de la piedra a utilizar.

Queda definido según:

- Anexo A de UNE 22203:2011. *Productos de piedra natural. Construcción de aplacados de fachadas con piedra natural.*
- UNE-EN 12372:2007. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión bajo carga concentrada.*
- UNE-EN 13161:2008. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión a momento constante.*

### ➤ **Absorción de agua:**

Referencia normativa:

- UNE-EN 13755:2008. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la absorción de agua a presión atmosférica.*

El grado de absorción que presente la piedra está habitualmente relacionado con su vida útil, ya que cuanto mayor sea ésta mayores son los efectos de la meteorización. Esto es debido a que el hecho de poder absorber mayor cantidad de agua implica que puede dar lugar a la presencia de humedades, destrucción de piedras por heladas, desarrollo de hongos, etc. Esta porosidad que posibilita la absorción, también fomenta que se quede adherida la suciedad. No deben instalarse piedras en fachadas ventiladas con fijación mecánica con absorción superior al 6% (UNE 22203:2011).

### ➤ **Resistencia a cambios térmicos:**

Referencia normativa:

- UNE-EN 14066:2014. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por choque térmico.*

La norma permite analizar cuestiones estéticas como cambios de tonalidad, oxidaciones, etc., a la par que cuestiones mecánicas destructivas (lajado, fisuración) que pueden ser bastante acusados en determinadas piedras según su estructura interna. En este caso, se comparan los resultados de ensayo a flexión de dos grupos de probetas, unas sometidas a ciclos de choque térmico y otras no sometidas a los mismos.

### ➤ **Resistencia a las heladas:**

Referencia normativa:

- UNE-EN 12371:2011. *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la heladicidad.*

Analiza los efectos que puede tener los ciclos de hielo-deshielo en las piedras, permitiendo estudiar su idoneidad para un determinado lugar geográfico (valores de Ig = índice de hielo), relacionándolo con su vida útil.

En los ensayos de heladicidad, se comparan probetas sometidas a ciclos de hielo-deshielo y probetas no sometidas a los mismos. En las probetas sometidas a ciclos, se analizan los efectos destructivos que hayan podido presentar. Ambos grupos de probetas (sometidas y no sometidas a ciclos), se ensayan a flexión y se compara el valor obtenido en ambos casos.



> **Resistencia a la rotura por impacto:**

Se debe ensayar frente al impacto el sistema de fachada, ya que en su vida útil puede sufrir golpes provenientes del mantenimiento, balonazos, etc.

> **Absorción por capilaridad:**

En una fachada ventilada, siempre se busca dejar las juntas abiertas y espacio de ventilación en los arranques. Es por eso que en este tipo de fachadas difícilmente ocurren situaciones de riesgo para la absorción por capilaridad muy habituales en otras partes o soluciones de la envolvente (por ejemplo, en zócalos aplacados). No obstante, si existiese por la solución constructiva cierto riesgo y la piedra tuviese porosidad superior al 1% según UNE-EN 1936, se puede realizar ensayo según UNE-EN 1925.

> **Cristalización de sales y ensayo de niebla salina:**

La presencia de sales en la piedra puede darse por cuestiones ambientales o por contacto con determinados productos químicos, morteros o contaminantes en los áridos. Los cristales de sales que crecen dentro de los poros de la piedra pueden ocasionar tanto cambios de tonalidad, eflorescencias, como destrucción de piedra al formar los cristales que aumentan en volumen y generar tensiones internas. Por ello, debe analizarse no solo el aspecto estético sino también la pérdida de masa. El riesgo es especialmente elevado en piedras de porosidad elevada (>5%) y que se disgregan fácilmente.

Referencias normativas:

> UNE-EN 12370:1999. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales.

> UNE-EN 14147:2004. Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por niebla salina.

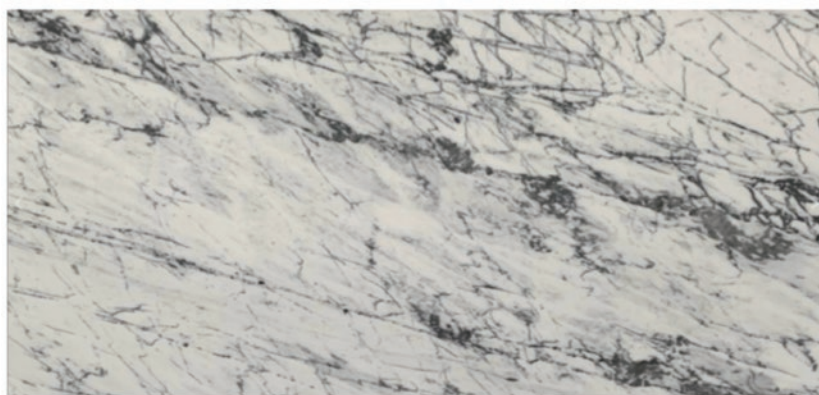
> **Aspecto:**

A diferencia de otros materiales sintéticos, la piedra tiene una heterogeneidad y un espectro de tonalidades y texturas propias de un material natural. Es por tanto primordial conocer y entender la piedra como material natural y poner en valor en el proyecto precisamente esa expresividad. Dicho esto, es obvio que existen para la comercialización distintas categorías de calidad (estética) en el suministro para controlar en mayor o menor grado esa homogeneidad. Este proceso responde directamente a hacer una selección cada vez más exhaustiva del material desde cantera o desde el suministrador. Evidentemente, a menor aprovechamiento de lo extraído, mayor es el precio. La mejor forma de asegurar en proyecto que coincide la estética de lo prescrito y de lo suministrado es trabajar con la mayor información y transparencia posible entre cantera, proveedores y dirección de proyecto. Las muestras físicas e incluso fotos de tablas en origen ayudan a mejorar la información. Evidentemente existe una correlación entre el nivel de detalle de la misma y el volumen de proyecto.

Las muestras ayudan en gran medida a entender el material y deben mostrar de manera lo más representativa posible el espectro estético que puede obtenerse bajo esas condiciones de suministro (en cuanto a cantidad y calidad se refiere).

Especial importancia tiene el comprender qué significa una única muestra individual de un tipo de piedra. No asumirlo puede llevar a error si se extrapola o interpreta individualmente como perfectamente representativa de un tipo de piedra. Es preciso comprender que una muestra de, por ejemplo, 25x25 cm, enseña solo una pequeña parte de una tabla que a su vez forma parte de un bloque y que a su vez se ha obtenido de una parte de la cantera en concreto.

Para mejor comprensión, se muestra a continuación una fotografía de tabla entera, y se señalan posibles muestras para ejemplificar el error que supondría extrapolar cada una individualmente a un tipo de piedra concreto:



**Figura 149.**  
**Tabla de Carrara**  
**Statuarietto.**

Por tanto, debe trabajarse con un espectro de muestras lo suficientemente explicativo y representativo de la diversidad del material en los formatos suministrados.

En la obra se debe construir una muestra en situación bien iluminada con al menos cuatro piedras mostrando los valores medios y extremos de la piedra a suministrar. Los criterios de aceptación y rechazo se deciden por los responsables de proyecto en contraste con esta muestra.

#### **> Inspección visual de defectos:**

Más allá de la naturaleza de la piedra, sí que se consideran defectos que suponen criterio de rechazo:

- > Piezas rotas**
- > Desconchones en esquinas o bordes**
- > Fisuras en las caras**

Por lo contrario, sí que forman parte de la naturaleza de la piedra, y por tanto no se consideran defectos, por ejemplo, los gabarros propios de algunos granitos.

### > **Controles dimensionales**

Debe revisarse longitud y anchura, espesor y escuadrado de acuerdo a lo estipulado en el apartado anterior "Tolerancias dimensionales", conforme a la UNE-EN 1469:2015.

La revisión se realiza en un determinado número de unidades representativas de cada muestra. El tamaño de la misma depende del tamaño de los lotes de la obra. Los criterios de aceptación y rechazo vienen descritos en función del número de unidades en la norma UNE-ISO 2859-1:2012. *Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos.*

| Tamaño del lote            | Tamaño de la muestra | Nº de fallos |         |
|----------------------------|----------------------|--------------|---------|
|                            |                      | Aceptación   | Rechazo |
| Hasta 3.200 unidades       | 13 piezas            | 1            | 2       |
| De 3.200 a 35.000 unidades | 20 piezas            | 1            | 2       |

### > **Ensayos de caracterización:**

Para verificar la calidad del material suministrado, se deben realizar muestreos por triplicado de cada lote (es decir, muestras de control, y dos series de contramuestras). Se debe verificar por lo menos los valores de:

> Flexión

> Resistencia del anclaje

> Absorción de agua a presión atmosférica

El lote solo se da por bueno si el resultado del ensayo de la muestra de control es positivo conforme a los criterios técnicos establecidos para el proyecto. En caso de ser negativo, solo se acepta si cumplen las dos contramuestras siguientes.

Como ocurre con cualquier otro producto de construcción cubierto por una norma armonizada conforme al Reglamento UE 305/2011 de Productos de Construcción, RPC (Construcción Products Regulation, CPR), la piedra suministrada debe contar con el marcado CE y se debe exigir su Declaración de Prestaciones. Esto aplica a los revestimientos de piedra natural normal, sin embargo, el marcado CE no es necesario si no se trata de un producto cubierto por norma armonizada, como es el caso de los materiales composites de piedra natural.

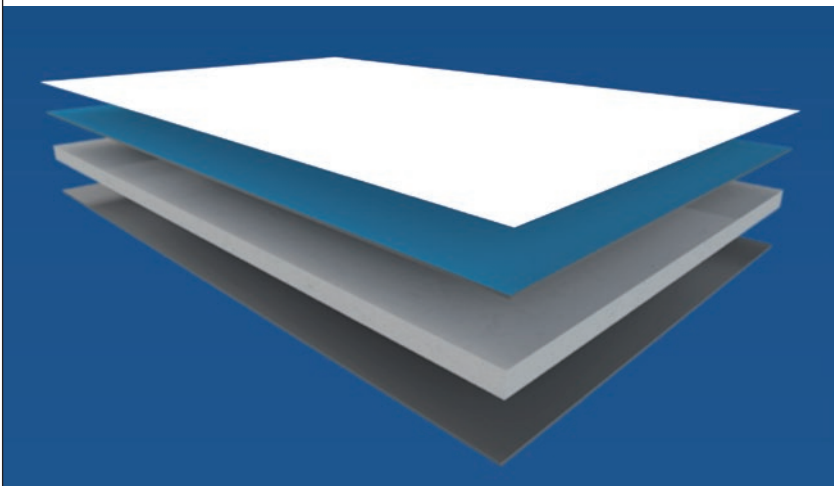
### **2.3.2.5 Paneles composite o TMCS (Thin Metal Composite Sheets)**

Los paneles composite o TMCS se empezaron a utilizar en arquitectura hace aproximadamente unos 50 años. El objetivo era reducir el peso y la complejidad del mecanizado y conformado (y por lo tanto el coste) de las chapas sólidas de aluminio/acero/otros que se utilizaban tanto para fachadas ventiladas como para remates en la edificación. Para conseguir una buena planicidad (rigidez alta) en dichos elementos se requerían espesores elevados (~3-4mm), lo que implicaba un alto peso (~10kg/m<sup>2</sup> en el aluminio y ~30kg/m<sup>2</sup> en el acero), un gasto considerable en herramientas y tiempo para mecanizarlo, y lo mismo para su conformado (plegado, curvado, etc.). La labor de instalación, como es lógico, también se complica cuanto más pesado sea el elemento a izar/posicionar en una fachada.

Los paneles composite aligeraron mucho las chapas de metal sólido, sin perder apenas rigidez, convirtiéndolas en un sándwich de tres componentes principales: las dos pieles exteriores, que siguen siendo metálicas, pero de un espesor bastante menor (entre 0'25 y 0'5 mm por lo general), y un núcleo cuya composición ha ido variando con el paso del tiempo, pero que empezó siendo eminentemente plástico (polietileno de baja densidad).

## Composición, fabricación y características del material

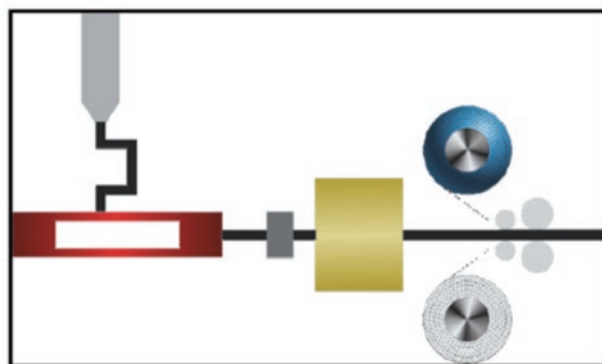
**Figura 150.**  
**Capas principales de**  
**un panel composite**  
**fabricado por**  
**co-extrusión.**



Como ya se ha comentado antes, el panel composite es un panel sándwich formado principalmente de 3 capas: piel exterior, núcleo y piel interior. Dependiendo del tipo de fabricación, el panel puede tener un par de capas muy finas de adhesivo entre las anteriores (fabricación con film adhesivo), o no, si el adhesivo va impregnando en el núcleo durante la extrusión del mismo (fabricación por co-extrusión).

En ambos casos, el producto final lleva un film protector sobre la cara vista o exterior para proteger el acabado durante el transporte y la instalación.

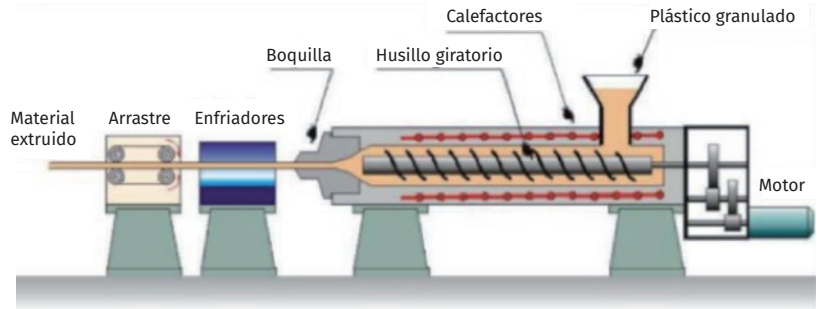
**Figura 151.**  
**Esquema fase inicial**  
**fabricación panel**  
**composite. Extrusora del**  
**núcleo y desbobinado**  
**de las pieles metálicas.**  
**Sentido de fabricación,**  
**hacia la izquierda.**



La fabricación típica del panel composite puede reflejarse de forma sencilla en la figura 151. Es una fabricación 'continua', donde dos bobinas del metal deseado colocadas a diferentes alturas se van 'desbobinando' sobre el núcleo, que puede bien desbobinarse a su vez en los casos de núcleos con alta carga mineral (A2), o

extruirse en el momento a través de una extrusora que calienta y funde los componentes principales del núcleo.

En el caso de la fabricación con co-extrusión, dentro de la extrusora se funde a su vez el adhesivo que sirve para pegar pieles y núcleo, mientras que en la fabricación con film adhesivo, rollos de este componente se van desenrollando simultáneamente introduciéndose entre las pieles y el núcleo progresivamente.



**Figura 152.**  
**Esquema detallado**  
**extrusora de núcleo.**

El 'tocho' final ya formado por las cinco capas (metal, adhesivo, núcleo, adhesivo, metal) se introduce en una prensa-horno que combina presión y temperatura para curar el adhesivo. A la salida del horno se coloca por la cara vista un film protector, y al final de la línea una sierra que lo corta a las medidas deseadas. Por último, una máquina saca las bandejas finales y las apila.

Aunque hay diferentes tecnologías de fabricación, su núcleo se basa en polímeros de baja densidad (LDPE) con más o menos cargas minerales, para dar al sector distintas alternativas en comportamiento frente al fuego. Las láminas exteriores de metal del panel, en general de aluminio, tienen una alta durabilidad al exterior con muy buena protección al agua, resistencia a los rayos UV, necesario para mantener la estética del material.

El resultado final son placas de gran planicidad, fabricadas a medida según las necesidades del proyecto, no porosas, resistentes a agentes químicos atmosféricos como el  $\text{SO}_2$  o el salitre marino, y en algunos casos a incluso a los grafitis.

Los paneles composite se clasifican principalmente por su tipo de núcleo, el metal de sus pieles y en su caso, por el tipo de acabado.

Los tipos de núcleo con los que se trabaja hoy son principalmente tres:

- **PE** (polietileno de baja densidad): normalmente suele ser de color negro, aunque pueden incluirse colorantes en su fabricación. El panel composite comenzó a fabricarse con este núcleo, es el más barato. El problema es que su poder calorífico es muy alto ( $> 35 \text{ MJ/kg}$ ), y por lo tanto su contribución a los incendios muy grande. Su clasificación según las Euroclases es E. Hoy en día sigue utilizándose en aplicaciones poco peligrosas, como edificios de alturas inferiores a 18m, cuya evacuación en caso de incendio es lo suficientemente rápida.
- **FR** (acrónimo de Fire Retardant, o retardante del incendio): formado por polímeros de baja densidad a los que se le añade carga mineral en su composición (normalmente trióxido de alúmina), en torno a un 65-70 %. Su poder calorífico ronda los  $10\text{-}15 \text{ MJ/kg}$ . El panel composite fabricado con este núcleo es algo más rígido que el fabricado con núcleo PE, pero también más pesado. Su Euroclase suele ser B-s1, d0.



- > **A2** (debido a su clasificación dentro de las Euroclases): es un núcleo similar al FR, pero con una carga mineral mucho más elevada (en torno al 92%). Los paneles A2 se fabrican partiendo de un núcleo A2 que viene en bobinas, ya que, debido a su gran cantidad de mineral, es imposible extruirlo. Su poder calorífico es muy bajo (<3MJ/kg), su rigidez similar a la del panel FR y su peso algo más elevado. Su Euroclase es A2-s1, d0.

Los metales utilizados para la fabricación de las pieles son:

- > **Aluminio:** el más común con diferencia. Aleaciones 5000 y a veces 3000, espesores de 0'5 mm. Anchos de bobina hasta 2000 mm.
- > **Acero inoxidable:** al exterior AISI 316 y al interior AISI 304 (por lo general), espesores algo menores (~0'25 mm). Panel más 'duro' de mecanizar, y algo más pesado. Para evitar que el núcleo se funda dadas las altas temperaturas alcanzadas por las herramientas para cortar el acero inoxidable, siempre ha de ser FR/A2. Anchos de bobina hasta 1250 mm.

- > **Zinc:** metal puro a más del 99'995%, espesores de ~0'3 mm. Ancho máximo, 1000 mm.

NOTA:

*el ancho máximo de la bobina del metal limita el ancho máximo del panel fabricado con ese metal.*

- > **Cobre:** Cu puro por encima del 99'90%, espesores ~0'3 mm, ancho máximo 1250 mm.
- > **Latón:** aleación cobre (70%) y zinc (30%). Espesores ~0'3 mm, ancho máximo 1000 mm.

Los acabados más comunes son:

- > **En aluminio:** lacado (PVdF, HQP) bicapa, tricapa y hasta cuatricapa, anodizado real, madera, texturado (gofrado), antigrafiti, pinturas tornasoladas (cambia el color dependiendo de la orientación) y Mirror (se usan aleaciones 1000).
- > **En acero inoxidable:** diferentes cepillados que les dan una apariencia más espejo, o más opaca.
- > **En zinc:** natural (se va oxidando con el paso del tiempo), Slate (preoxidación para crear una capa de protección o pátina) y Rainbow (gama de colores a través de procesos de preoxidación).
- > **En cobre:** puede ir bien en metal natural, o con una preoxidación artificial o patinado.
- > **En latón:** no tiene acabados específicos, es simplemente el metal laminado y bobinado. Dependiendo de la proporción de cobre y zinc en la aleación, puede variar levemente la tonalidad de su color final.

## **Norma de producto y prestaciones**

Como tal, no existe una norma de producto específica para los paneles composite, pero existen varias reglamentaciones que se les pueden aplicar para su control y caracterización.

- > **ETAG 016 Self-supporting composite lightweight panels. Part 1 – General** → Guía para la evaluación de un sistema de paneles ligeros soportados por una subestructura, normalmente con el fin de obtener un ETE (Evaluación Técnica Europea). Clarifica los requerimientos especiales de este tipo de paneles, des-

glosa los métodos disponibles para verificarlos y provee de unos criterios de evaluación de estos resultados. Hace por lo tanto referencia a las diferentes normativas que pueden usarse para estos efectos.

Habla de reacción al fuego, presencia de sustancias peligrosas, resistencia mecánica, efecto de la temperatura, resistencia de las fijaciones, aislamiento y absorción sonora, aislamiento térmico, durabilidad de los paneles, geometría y características mecánicas.

- **ETAG 016 Self-supporting composite lightweight panels. Part 3 – Specific aspects for external walls** → Complementaria a la anterior, se refiere a paneles autoportantes (1), paneles autoportantes con marco o subestructura (2) y paneles fijados por sus bordes o con fijaciones puntuales a la estructura soporte (3). No incluye los paneles soportados mediante adhesivo (4).

**Figura 153.**  
**Clasificación panel –  
fijación a soporte.**

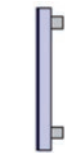


FIGURA 1

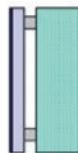


FIGURA 2

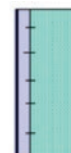


FIGURA 3

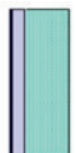
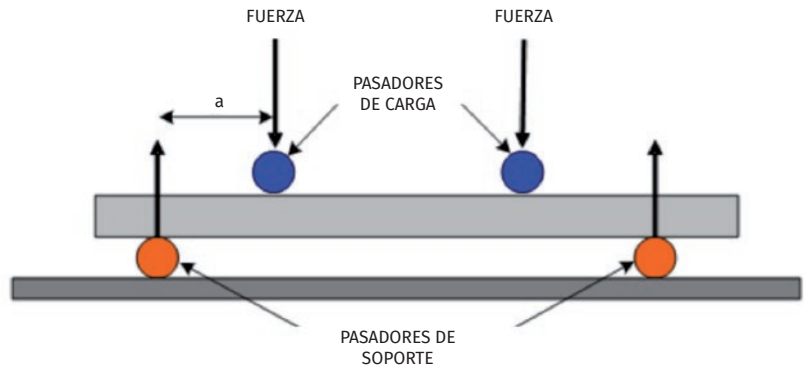


FIGURA 4

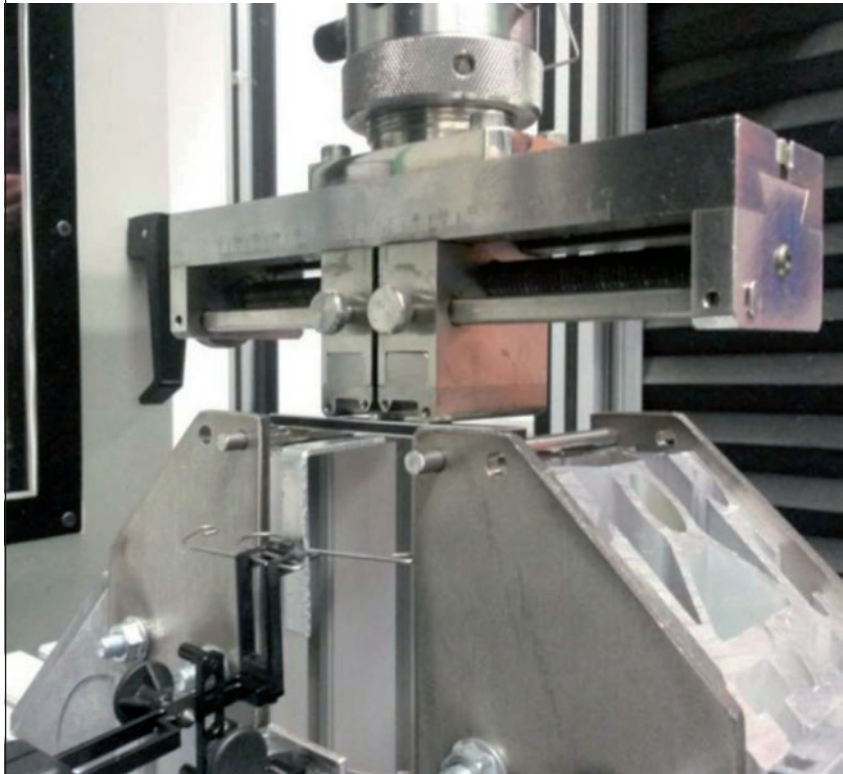
Habla de reacción al fuego, efectos térmicos, resistencia al impacto de cuerpo duro y cuerpo blando, ciclos climáticos, durabilidad de los acabados, y algún otro concepto que no aplica a los paneles composite.

- **EAD-210046-00-1201 (22 Feb 2018) Thin Metal Composite Sheet** → Más moderna, engloba un poco las dos anteriores, especificando también los métodos para obtener las características mecánicas de los paneles. Especifica eso sí, claramente, que sólo se refiere al panel y no evalúa ni tiene en cuenta para nada la subestructura. Aunque para la realización de ciertos ensayos de los que propone, sea necesario fijar el panel de alguna manera.
- **EAD-090062-00-0404 (Jul 2018) Kits for external wall cladding mechanically fixed (antigua ETAG 034)** → Normativa dirigida a la evaluación de kits (sistemas) de fachadas exteriores, normalmente ventiladas. Dado que se utiliza indistintamente para todo tipo de material de revestimiento (panel composite, honeycomb, HPL, piedra, etc.) no se entra en más detalle. Se analiza en el apartado correspondiente de este Manual.
- **EOTA TR 038 (Jun 2017) Durability of thin metallic composite panels** → Para usar en caso necesario como sustitutivo de los capítulos de durabilidad de las normativas listadas anteriormente. Especifica el material, métodos de ensayo y expresión de los resultados para determinar el efecto de un envejecimiento acelerado. Habla de deslaminación y ensayos de pelado, resistencia a la flexión, rigidez, resistencia a la fatiga, resistencia de entalladuras de cuelgue, resistencia a la corrosión, retención del color en acabados, etc.
- **EOTA TR 039 (Abr 2013) - Ventilated façade system with self-supporting composite panels** → Al igual que la EAD-090062-00-0404 hace referencia a las fachadas ventiladas en general, por lo que no se entra en detalle en este apartado.

➤ **DIN 53293 Testing of sandwiches. Bending test** → Ensayo de flexión a 4 puntos. Las dimensiones de las probetas y la posición de los rodillos de carga y soporte guardan relación con el espesor del panel a ensayar. Sirve fundamentalmente para obtener la RIGIDEZ (EI) del panel ensayado, y las tensiones máximas que se pueden alcanzar en las pieles sin que la deformación del panel sea plástica.



**Figura 154.**  
Esquema típico de un  
ensayo a flexión a  
4 puntos.



**Figura 155.**  
Ensayo real de una  
probeta.

➤ **ASTM D 1781 - 98 - Standard test method for climbing drum peel for adhesives**  
→ Unos de los principales ensayos para verificar la calidad final del panel composite. Mide la resistencia del pegado entre pieles y núcleo. Un rodillo fijado a la máquina de ensayo clipa a su vez una de las pieles del panel, y en movimiento ascendente y rotatorio va deslaminándola de la probeta. La máquina de tracción registra el esfuerzo necesario para llevar a cabo esta operación.



|                                  |                 |                                                                                                                                                    |
|----------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Espesor de pintura               | UNE-EN 13523-1  | Metales pintados en banda continua. Métodos de ensayo. Parte 1: Espesor de película.                                                               |
| Brillo de pintura                | UNE-EN 13523-2  | Metales pintados en banda continua. Métodos de ensayo. Parte 2: Brillo.                                                                            |
| Diferencia de color              | UNE-EN 13523-3  | Metales pintados en banda continua. Métodos de ensayo. Parte 3: Diferencia de color. Comparación instrumental.                                     |
| Plegado                          | UNE-EN 13523-7  | Metales pintados en banda continua. Métodos de ensayo. Parte 7: Resistencia al agrietamiento por plegado (ensayo de plegado en T).                 |
| Adherencia                       | UNE-EN 13523-6  | Metales pintados en banda continua. Métodos de ensayo. Parte 6: Adherencia después de corte (ensayo de embutición).                                |
| Dureza                           | UNE-EN 13523-4  | Metales pintados en banda continua. Métodos de ensayo. Parte 4: Dureza según el método del lápiz.                                                  |
| Exposición a la luz ultravioleta | UNE-EN 13523-10 | Metales pintados en banda continua. Métodos de ensayo. Parte 10: Resistencia a la radiación fluorescente ultravioleta y a la condensación de agua. |
| Niebla salina                    | UNE-EN 13523-8  | Metales pintados en banda continua. Métodos de ensayo. Parte 8: Resistencia a la niebla salina.                                                    |

### **Control de las principales materias primas**

Los paneles composite puede utilizar pinturas aptas para:

- Zonas industriales agresivas.
- Zonas de costa.
- Incidencia de la luz ultravioleta alta y zonas de costa clasificadas como Categoría 3 o “alta resistencia”.

El control de materias primas pretende asegurar la calidad del material suministrado.

Para ello, por cada bobina lacada recibida, y siempre según las normas indicadas en la tabla anterior, se analiza lo siguiente:

- Espesor de pintura
- Espesor de aluminio + pintura
- Brillo
- Diferencia de color

Además, el proveedor manda de cada bobina, el certificado 3.1 según la norma EN 10204. Productos metálicos. Tipos de documentos de inspección, en el cual, el fabricante evidencia los datos de la composición química de la aleación, propiedades mecánicas que certifican el temple, así como propiedades de la pintura aplicada sobre el aluminio.

### **Controles de calidad producto acabado**

Verificar que el producto fabricado es conforme para su uso previsto, es un requisito imprescindible en la fabricación de paneles composite.

Los principales controles de calidad, llevados a cabo son:

- Espesor total de panel.
- Ancho de panel.
- Diferencia diagonal.
- Longitud.
- Aspecto del acabado (según EN 1396).
- Adherencia de panel (según ASTM D 1781)



## **Formatos y espesores**

Los paneles composite tienen un espesor que va de 3 a 6 mm. No obstante, en la gran mayoría de los casos se fabrican con un espesor de 4 mm.

Los formatos pueden llegar a 2000 mm de ancho en el caso de los paneles composite de aluminio.

Como ya se ha comentado anteriormente, el ancho máximo del panel depende del ancho máximo de la bobina del metal que se pueda encontrar en el mercado. Por lo tanto, para el resto de metales, el ancho máximo de panel composite es: acero inoxidable 1250 mm, zinc 1000 mm, cobre 1250 mm y latón 1000 mm.

En cuanto a la longitud, al ser un material que se fabrica en continuo, depende únicamente de la longitud de la propia nave, y de las posibilidades/coste del transporte e instalación posterior. ¿Se puede fabricar un panel de 20 m si la nave lo permite? Sí, pero probablemente no habría un transporte estándar para distribuirlo, ni medios de elevación preparados para su instalación.

## **Diseño del sistema**

Aparte de todas las consideraciones que por ser comunes para el diseño de una fachada ventilada no se repiten aquí, ya que se pueden consultar en el correspondiente apartado de este Manual, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Una vez obtenidas las cargas que afectan a los paneles / sistema, bien solicitándolas al equipo de arquitectura / constructora, bien mediante cálculos, se ha de tener en cuenta que cada empresa fabricante de panel composite fabrica un panel diferente. Las aleaciones o composición de las pieles, el tipo y cantidad de adhesivo, la composición del núcleo, el propio proceso de fabricación, horneado y prensado son únicos de cada empresa. Por lo tanto, el producto final también. Es, por lo tanto, el Departamento Técnico de cada compañía (que previamente habrá realizado los ensayos necesarios para tener perfectamente caracterizados todos sus tipos de panel) el que tiene que cuantificar y dimensionar la tipología y cantidad de apoyos que necesita cada formato para soportar las cargas de proyecto. Estos resultados NO pueden utilizarse para la instalación de un panel similar pero fabricado por otra empresa.
- Lo mismo ocurre para los sistemas de instalación. La mayoría de los estándares que se utilizan por las compañías fabricantes de panel composite son muy parecidos, pero todos ellos tienen alguna diferencia respecto a sus semejantes. Aleación de los perfiles, espesor de las ménsulas, diámetro de los agujeros o colisos, etc., por lo que lo mejor es siempre solicitar a la empresa fabricante del panel que los vende, el cálculo del mismo, que como antes, solo sirve para ese sistema en concreto. En el caso de que la empresa instaladora decida, por mayor comodidad, ahorro de precio o requisitos del proyecto, para una obra concreta, diseñar su propio sistema de instalación, se recomienda poner en conocimiento de la empresa fabricante del panel este asunto, de forma que su Oficina Técnica pueda revisar el trabajo y realizar las recomendaciones o puntualizaciones que considere necesarias.
- Ambas consideraciones anteriores se pueden 'obviar' si la empresa fabricante del panel posee un certificado nacional o europeo de panel + sistema, basado en alguna de las normativas citadas anteriormente. En España estos certificados se denominan diferente dependiendo del laboratorio emisor: TC (Technical Conformity), emitido por Tecnalia; DAU (Documento de Adecuación al Uso), emitido por el ITeC o DIT (Documento de Idoneidad Técnica), emitido por el Instituto Torroja. En Europa se elabora el ETE (Evaluación Técnica Europea), en Francia el AVIS Technique, en Reino Unido el BBA, en Alemania el DIBt, etc. Estos

certificados suelen incorporar tablas de dimensionamiento que permiten de una manera sencilla conocer el número de apoyos que necesita cada tipo de panel para unas determinadas cargas de viento, y la cantidad de subestructura necesaria dependiendo de cada sistema utilizado.

Se muestran a continuación ejemplos de obras realizadas en diferentes acabados con paneles composite.

**Figura 158.**  
**Viviendas Isla de Arosa**  
**(Alcalá de Henares -**  
**Madrid).**  
**Panel composite.**



**Figura 159.**  
**Oficinas Elios (Madrid).**  
**Panel composite.**



**Figura 160.**  
**Juzgados de El Barco de**  
**Valdeorras**  
**(Orense - España).**  
**Panel composite.**



### 2.3.2.6 Paneles nido de abeja (honeycomb)

La primera vez que se laminó un núcleo de nido de abeja (honeycomb) entre dos pieles fue en 1915 para aplicaciones aeronáuticas. Pero no fue hasta 1938 cuando este adhesivado ya se realizaba de una manera satisfactoria. Desde 1950 se ha ido empleando ya habitualmente en diferentes sectores, empezando por el aeronáutico pero pasando por otros tan dispares como la fabricación de automóviles, barcos, trenes, ascensores, suelos, etc.

En las últimas dos décadas, se ha generalizado también su uso en la arquitectura, siendo las fachadas ventiladas, falsos techos y cubiertas sus aplicaciones principales.

Un panel honeycomb está formado por dos pieles metálicas adhesivadas a un núcleo de aluminio de nido de abeja, al que posteriormente se aplica un film protector.

Las ventajas que aporta un panel honeycomb respecto a sus predecesores, los paneles composite, son las siguientes:

➤ Relación rigidez / peso: el panel composite de uso más generalizado, el de espesor 4 mm y pieles de 0'5 mm de aluminio, pesa ~5'5 kg/m<sup>2</sup> y tiene una rigidez de ~1850 kNcm<sup>2</sup>/m. Un panel composite típico de arquitectura, de espesor 14 mm y pieles de 0'7 mm de aluminio, pesa ~5 kg/m<sup>2</sup> (algo más ligero que el panel composite) y tiene una rigidez de ~50000 kNcm<sup>2</sup>/m (más de 25 veces superior al panel composite).

Una rigidez mayor aporta una mayor planicidad al panel, pero sobre todo un gran ahorro en la subestructura necesaria para resistir las cargas que afectan a la fachada (principalmente el viento).

➤ Reacción al fuego: la ausencia de un núcleo formado por elementos poliméricos o plásticos traslada al adhesivo entre pieles y núcleo honeycomb toda la responsabilidad de aporte de poder calorífico al sándwich (el poder calorífico de los metales es nulo). La cantidad de adhesivo presente en un panel honeycomb es muy pequeña, con la ventaja además de que esta cantidad no aumenta al fabricar paneles de mayor espesor. Esto ha permitido a ciertas marcas fabricar paneles honeycomb con clasificación A2 según las Euroclases.

**Composición,  
fabricación y  
características  
del material**

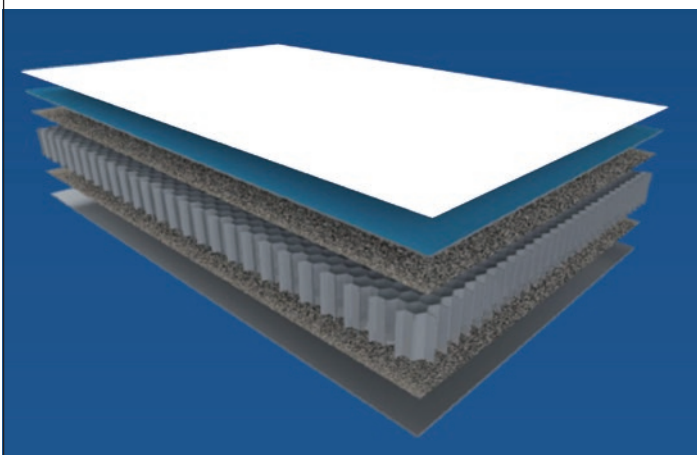


Figura 161.

Capas principales de un  
panel honeycomb.

Como se ha visto antes, los paneles honeycomb se encuentran formados por dos pieles de metal adhesivadas a un núcleo de nido de abeja de aluminio. En este caso, las posibilidades de metales que se pueden utilizar son menores: pueden ser de aluminio y de zinc (ver las características propias de cada metal en el apartado del Manual de panel composite).

NOTA: los acabados anodizado real y los gofrados del aluminio no pueden utilizarse como pieles para el panel honeycomb.

La piel exterior en el caso de ser de aluminio suele ser de espesor entre 0'7 y 1'0 mm, y si es de zinc, de 0'5 mm.

El núcleo de nido de abeja puede tener generalmente dos tamaños de celda ( $1/4" = 6'35 \text{ mm}$  o  $3/8" = 9'52 \text{ mm}$ ), y el espesor del foil utilizado para su fabricación puede ser de 50 o 70  $\mu\text{m}$ . Siempre es de aluminio, y las aleaciones empleadas para su fabricación son por lo general de la serie 3000.

La fabricación de este núcleo la realizan empresas especializadas.

### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

|                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| ALEACIÓN DE ALUMINIO   | Serie 3000                  |
| DENSIDAD PRINCIPAL     | 20 A 80 ( $\text{kg/m}^3$ ) |
| IMPRIMACIÓN PROTECTORA | Si                          |

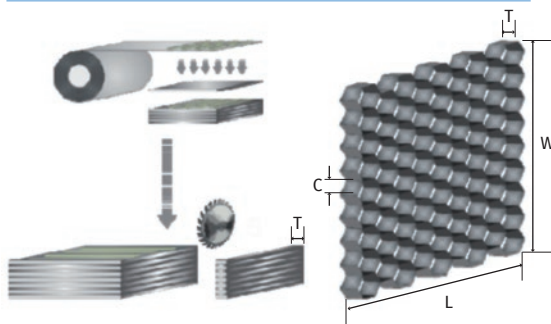


Figura 162.

Fabricación del núcleo de nido de abeja y posterior expansión.

Las dos láminas de metal se unen al núcleo mediante sistemas adhesivos prensados a altas temperaturas, y puede fabricarse en continuo o discontinuo. La fabricación en continuo permite una fabricación industrializada y un mayor control de los parámetros (cantidad y aplicación del adhesivo, presión, temperatura, etc.), mientras que la fabricación en discontinuo permite la realización de tiradas muy pequeñas, incluso de un solo panel, y la creación directa de formas complejas (paneles triangulares, circulares, etc.).

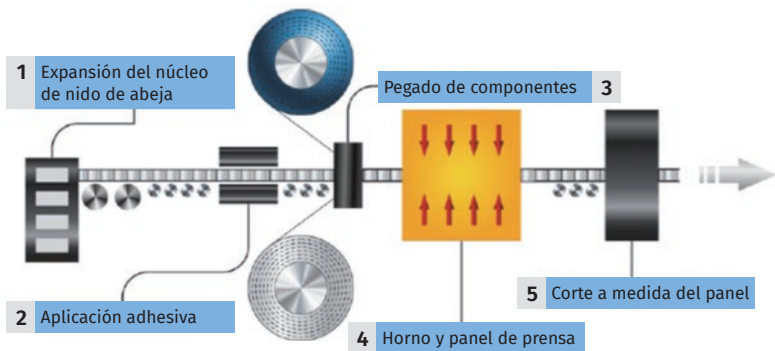
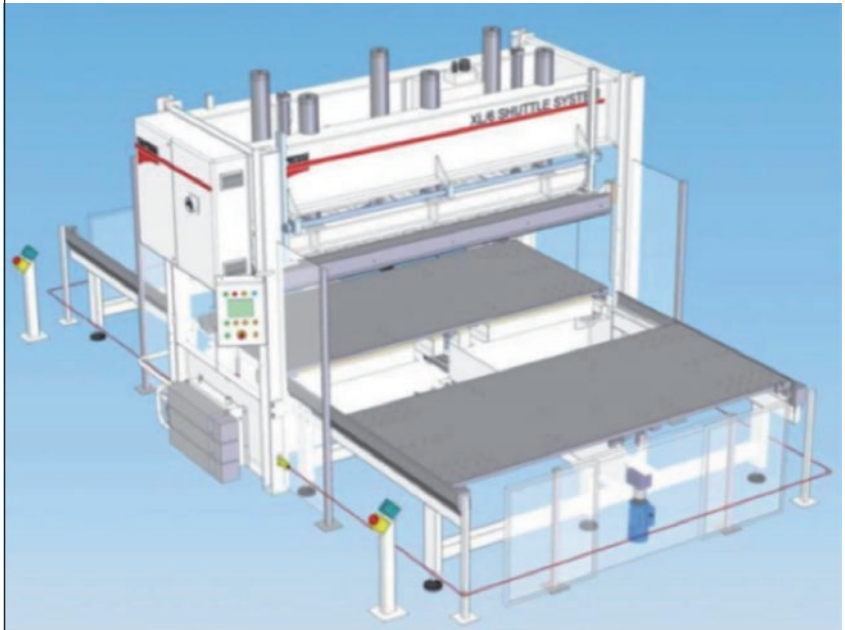


Figura 163.

Fabricación en continuo de un panel honeycomb.



**Figura 164.**

**Prensa tipo para  
fabricación en continuo  
de un panel honeycomb.**

### ***Norma de producto y prestaciones***

Al igual que sucede con el panel composite, no hay una norma de producto como tal que rijan los paneles honeycomb, pero sí varias normas que se pueden utilizar para su control y caracterización.

Pueden utilizarse las mismas que se nombran en el apartado homónimo para los paneles composite de este Manual, incluidas las de calidades de la pintura, excepto:

- EAD-210046-00-1201 (22 Feb 18) *Thin Metal Composite Sheet*
- EOTA TR 038 (Jun 17) *Durability of thin metallic composite panels*

### ***Control de las principales materias primas y del producto acabado***

Similares a los que se realizan en el panel composite.

### ***Formatos y espesores***

El producto final puede tener diferentes espesores, anchos y largos según necesidades de proyecto.

- > Espesores: desde 6 hasta 40 mm.
- > Anchos: dependiendo del metal usado para las pieles, hasta 2000 mm.



> Largos: con producción discontinua, tan largo como se pueda transportar/instalar. Con producción continua, suele estar limitado a 5000 mm.

Los formatos dependen de cada proyecto y se pueden particularizar las producciones para optimizar así el desperdicio del material tras su mecanización.

### **Diseño del sistema**

Se deben tener en cuenta las mismas consideraciones aplicadas en el apartado del Manual dedicado a los paneles composite.

Se muestran a continuación ejemplos de obras realizadas en diferentes acabados con paneles honeycomb.

**Figura 165.**

**Ferragamo Spa en Sesto**

**Fiorentino**

**(Firencia - Italia).**

**Panel honeycomb.**



**Figura 166.**

**Central BBVA Edificio**

**Vela en Madrid. Panel**

**honeycomb laminado**

**con acero inoxidable.**



**Figura 167.**  
**Deakin University**  
**Burwood Campus en**  
**Melbourne (Australia).**



### 2.3.2.7 Paneles prefabricados de lana de roca comprimida

La tecnología para la fabricación de paneles de acabado para fachadas a base de lana de roca comprimida se desarrolló hace ya más de 30 años en Dinamarca. La idea era aprovechar las excelentes propiedades de la roca (resistencia al fuego, resistencia a la humedad, resistencia a las dilataciones debido a temperaturas bajas o altas, resistencia a los hongos, etc.) para desarrollar un producto de elevadas prestaciones.

#### **Composición y fabricación**

Se trata de paneles prefabricados a base de lana de roca comprimida con resinas sintéticas termoendurecibles.

La fabricación se lleva a cabo siguiendo estos pasos:

1. Suministro a la fábrica de paneles de lana de roca convencionales.
2. Pesado de los paneles para verificar la cantidad de material a comprimir.
3. Prensado de los paneles hasta llegar al espesor final de 6, 8 o 9 mm.
4. Aserrado de la placa para conseguir cantos perfectos.
5. Lijado de la placa.
6. Imprimación de la placa.
7. Secado.
8. Tratamiento mediante 4 capas de pintura acrílica al agua con el acabado deseado.
9. Tratamiento con una capa protectora adicional.
10. Control visual de la placa.
11. Empaquetado y paletizado.

#### **Normas de producto**

El sistema dispone de una Evaluación Técnica Europea (European Technical Assessment) y se emite de acuerdo con la Normativa (EU) No 305/2011, sobre las bases del EAD 090001-00-0404 para placas prefabricadas de lana de roca comprimida con acabados orgánicos o inorgánicos y con sistemas de fijación específicos, edición mayo 2014.

### Formatos espesores y acabados

| Propiedad | Valor                                                                           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Grosor    | 6, 8, 9 ± 0,5 mm.                                                               |
| Largo     | máx. 3050 mm.                                                                   |
| Ancho     | máx. 1500 mm.                                                                   |
| Acabados  | Colores metálicos, imitación madera, imitación piedra, lana de roca sin pintar. |

### Características generales del material

| Propiedad                                                                     | Valor                            |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Densidad nominal                                                              | 1050 ±150 kg/m³                  |
| Resistencia a la flexión,<br>largo y ancho                                    | f05 ³ 27 N/mm²                   |
| Módulo de elasticidad                                                         | m(E) = 4015 N/mm²                |
| Conductividad térmica                                                         | 0,35 W/(m x K)                   |
| Coefficiente de expansión<br>térmica, largo y ancho                           | a= 11 x 10 – 3 mm/m x K          |
| Reacción al fuego                                                             | A2-s1, d0 (panel 9mm)            |
| Resistencia del color de las<br>placas después de<br>5000 horas de exposición | Valor (ISO 105 A02) 4 o superior |

Las placas de lana de roca compactada han obtenido unos certificados independientes por parte del Building Research Establishment (BRE). BRE otorgó una Declaración Ambiental de Producto (Certificado de perfiles medioambientales No.427) reconociendo estas placas de revestimiento entre los productos de mejor rendimiento de su categoría con una puntuación de A y A+ para varias estructuras.

### Diseño del sistema

Los paneles se fijan a subestructuras de madera o aluminio. La fijación a estructuras de madera se efectúa mediante clavos o tornillos resistentes a la corrosión o mediante unión por adhesión (con una placa intermedia). La fijación a perfiles de aluminio se efectúa mediante remaches resistentes a la corrosión o fijación adhesiva oculta. Los paneles se pueden curvar, cortar en obra, troquelar, o perforar sin problemas. No se necesitan herramientas especiales para manipular el producto.

Figura 168.

Fachada Complejo  
residencial Caprijo de  
Aravaca en Pozuelo de  
Alarcón, Madrid. Sistema  
fijación visto con paneles  
prefabricados de lana  
de roca comprimida en  
8 mm

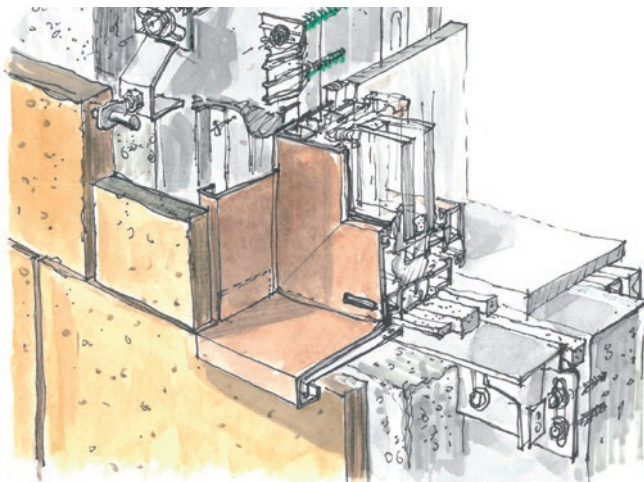


## 2.4 ELEMENTOS AUXILIARES

### CROQUIS Nº18

*Detalle jamba y alféizar.*

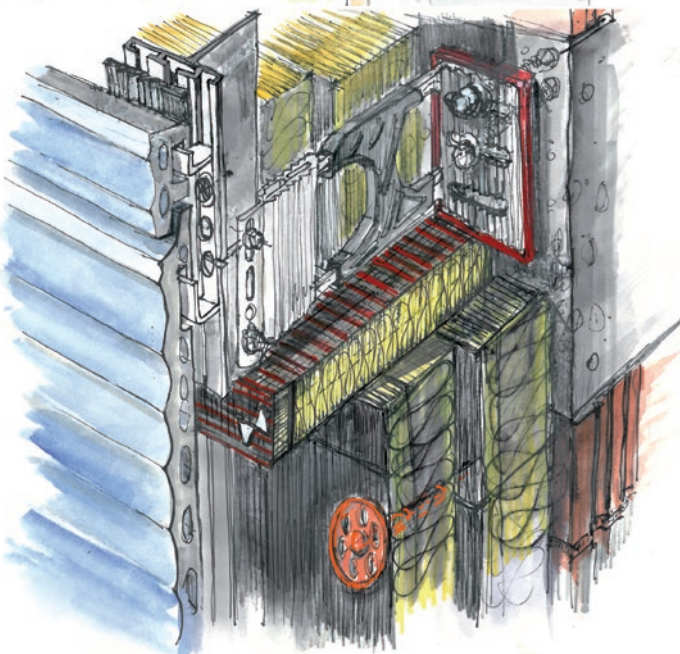
*Hoja exterior de piedra natural fijada por puntos con anclajes de acero inoxidable con regulación tridimensional. Membranas de impermeabilización perimetral, cinta autoexpandible de espuma de poliuretano impregnada de resina. Aislante de mortero de lona de roca proyectado. Carpintería de aluminio soportada sobre perfil continuo y escuadras de acero. Babero de chapa conformada.*



### CROQUIS Nº19

*Detalle de jamba.*

*Sistema de perfil de cerámica extrusionada. Fijada con grapas puntuales ocultas en la ranura posterior de la placa. Sistema de perfiles verticales de aluminio, ménsula con rotura de puente térmico y barrera cortafuegos intumescente en la cámara.*



### 2.4.1 Membranas de protección (barreras de vapor / impermeabilización)

Teóricamente, en una fachada ventilada el muro transpira adecuadamente, de manera que permite la salida de posibles concentraciones de agua. Por lo tanto, en un sistema idóneo de fachada ventilada, no se producen condensaciones.

No obstante, al tratarse de un sistema de fachada que permite infinidad de diseños, algunas soluciones dan lugar a que los elementos que componen la fachada queden demasiado expuestos a agentes externos. En casos excepcionales es necesario la instalación de una barrera de vapor o lamina impermeable (instalada siempre en la cara más caliente del cerramiento).

A continuación, se muestran las membranas de protección más utilizadas:



## Sistemas de membranas EPDM

El EPDM es un caucho de polietileno propileno dieno monómero. Se trata de un elastómero que presenta muy buenas prestaciones frente a los agentes atmosféricos (agua, aire, etc.). Además, cuenta con una gran elasticidad y resistencia, por lo que es un material idóneo para la impermeabilización de cualquier superficie.

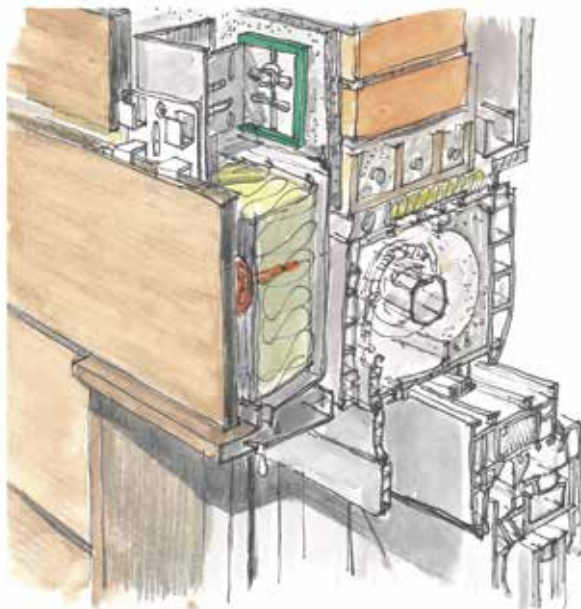
Su buen comportamiento y resistencia frente a agentes atmosféricos hacen que sea un material con una gran durabilidad, llegando a garantizar hasta 50 años de correcto funcionamiento. Por otro lado, su gran elasticidad le aporta una gran resistencia mecánica.

Se suele suministrar en grandes mantas, lo que minimiza el número de juntas a resolver, reduciendo la probabilidad de que alguna de éstas falle.

### CROQUIS Nº20

#### Detalle de dintel.

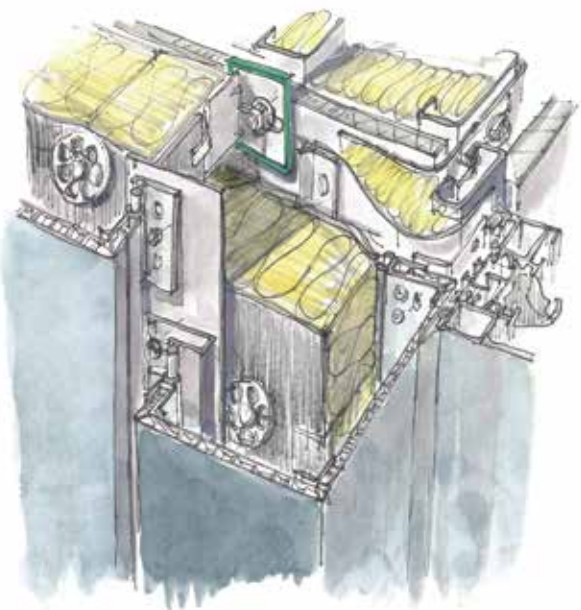
Sistema de placas de cerámica de 10 mm. de espesor fijada por grapas puntuales ocultas en el canto. Sistemas de rastreles verticales y escuadras de perfil de aluminio. Carpintería de PVC, con capialzado para persiana monobloc.



### CROQUIS Nº21

#### Detalle de jamba.

Sistema de bandejas conformadas a 4 lados, de panel de nido de abeja, con perfil de aluminio extrusionado en los cantos. Fijado a maineles mediante grapas de sistema clipados en canto de la bandeja. Carpintería de aluminio con rotura de puente térmico montada sobre premarco en muro interior de construcción seca con panel hidrófugo.





## 2.4.2 Sectorización

Las cámaras ventiladas, permiten una ventilación continua debido al movimiento ascendente del aire en su interior (con los beneficios higrotérmicos que éstas aportan al confort interior del edificio), sin embargo, puede constituir un punto crítico de propagación del fuego por fachada en caso de incendio y se debe tener en cuenta la combustibilidad de sus materiales.

Como consecuencia de la circulación del aire en esta cámara, en caso de incendio, la propagación del fuego es mucho más rápida y el frente de propagación puede ser de 5 a 10 veces mayor que la altura de llama que proyecta a través de las ventanas. La utilización de materiales combustibles en la solución de fachada ventilada contribuye significativamente a una mayor propagación del incendio.

Para evitar este tipo de propagación a otras zonas del edificio, se recomienda sectorizar la cámara de aire mediante barreras cortafuego que contengan el incendio.

La sectorización puede realizarse de forma horizontal y vertical, pudiendo instalarse barreras cortafuegos en varios de los siguientes puntos:

### > ***Instalación de barreras verticales dando continuidad a los muros que delimitan sectores de incendio.***

Se introducen barreras, habitualmente instaladas tras ejercer una fuerza de compresión entre el muro soporte y el revestimiento exterior para asegurar la total compartimentación entre el espacio oculto (cámara ventilada), entre sectores. Habitualmente se instalan elementos que ofrecen el mismo nivel de resistencia al fuego (integridad y aislamiento) que los muros que sectorizan los espacios internos (EI + minutos).

### > ***Instalación de barreras horizontales en frentes de forjado***

Las barreras horizontales pueden cerrar la cámara de forma permanente, como es el caso de las barreras instaladas a compresión entre el muro soporte y el revestimiento exterior, o la cámara puede cerrarse únicamente en caso de incendio mediante la instalación de barreras que incluyen bandas intumescentes.

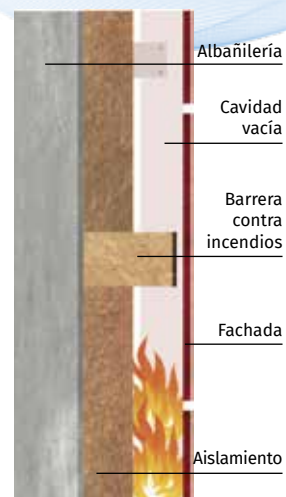
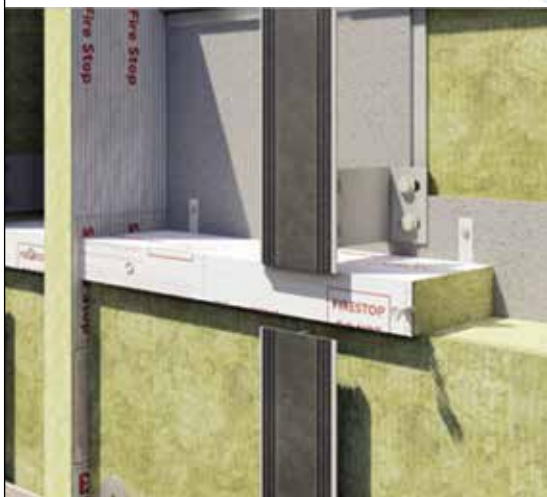
Estas bandas intumescentes se expanden ante la presencia de llama y de gases a altas temperaturas de forma que, en el funcionamiento habitual de la fachada, el aire puede circular libremente a lo largo de la cámara ventilada, y ésta se cierra únicamente en caso de incendio, compartimentando la cámara de forma completa al expandirse en el espacio entre el muro o aislamiento térmico y el revestimiento exterior. Éste es el caso de las barreras de lana de roca con banda intumescente, de bandas intumescentes recubiertas de hoja metálica flexible o bandas intumescentes insertas en mallas metálicas, entre otras soluciones comerciales.

Estas barreras intumescentes cierran por completo la cámara y ofrecen una integridad y un aislamiento (EI + minutos) determinado, una vez que entran en funcionamiento ante la presencia de llama y de altas temperaturas.

A continuación, se muestran imágenes de varios tipos de barreras intumescentes.

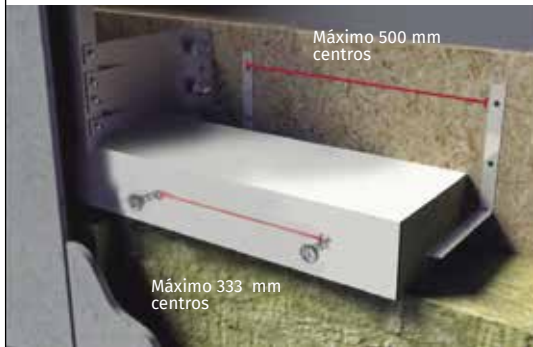
**Figura 169.**

**Izquierda:** Encuentro entre barrera vertical de lana de roca a compresión y barrera horizontal de lana de roca con banda intumescente en su cara exterior. **Derecha:** Esquema de expansión de banda intumescente en caso de incendio.



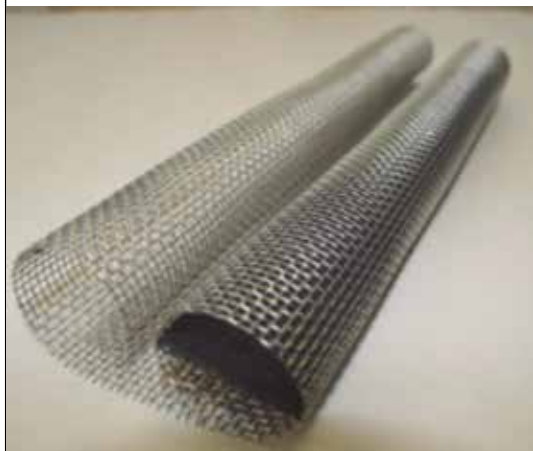
**Figura 170.**

**Arriba:** Barrera horizontal de banda intumescente interior perforada, recubierta de hoja metálica flexible. **Abajo:** Barrera horizontal de hoja metálica flexible con banda intumescente en su cara exterior.



**Figura 171.**

**Barrera horizontal de lana de roca con resistencia al fuego EI 60 y EI 120. Fijación mediante espadas metálicas y tornillos en espiral.**



**Figura 172.**

**Arriba: Barrera horizontal de malla de acero flexible con banda intumescente interior. Abajo: Barrera horizontal de malla de acero flexible con banda intumescente interior instalada bajo ventana.**



### > **Cierre perimetral de remate de fachada alrededor de hueco de ventana**

Una correcta protección de la cámara no estanca alrededor de los huecos de ventana puede ser crucial en una situación de incendio interior inicial, al dificultar la entrada de las llamas en el interior de dicha cámara, así como una vez el fuego haya alcanzado la cámara, al dificultar su entrada hacia el interior de otras estancias contiguas.

En dintel y alféizar es habitual la instalación de barreras horizontales intumescentes y en las jambas se utilizan barreras verticales a compresión (ambas de las mismas características que las descritas en los puntos anteriores), con una clasificación según su resistencia al fuego expresada en EI + minutos.

### > **Instalación de barreras en cambios geométricos de fachada**

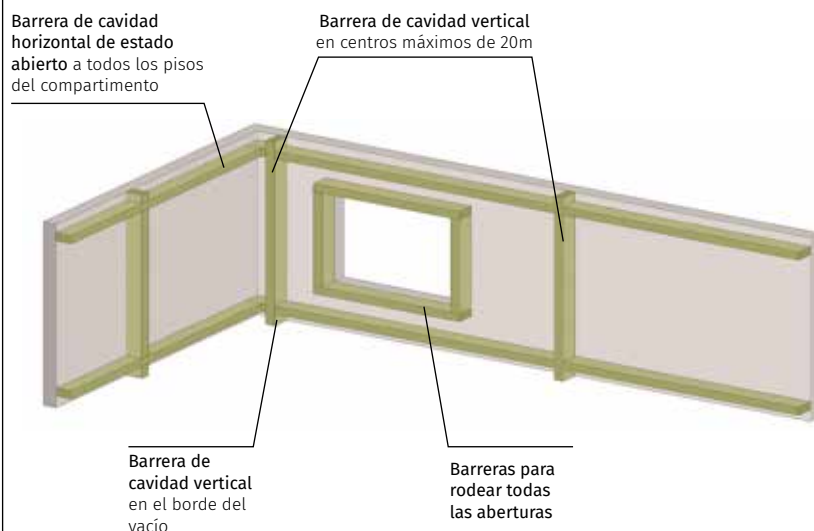
En fachadas donde los muros presentan encuentros en rincón o esquina, se crean espacios entrantes y salientes en la geometría de la fachada donde pueden generarse corrientes de aire que facilitan el avance de las llamas.

La instalación de barreras verticales en estos encuentros podría ralentizar la propagación del fuego por la cámara ventilada.

### > **Cierre perimetral de remate de fachada en extremo superior, inferior y lateral de la fachada**

El cierre de la cámara en el perímetro de la fachada podría dificultar la propagación de las llamas a cubierta, a fachadas y cubiertas de edificios circundantes y a espacios exteriores contiguos. Además, se estaría limitando la entrada de oxígeno en dicha cámara a través de su perímetro.

Esta compartimentación podría realizarse mediante barreras a compresión o intumescentes, permitiendo mediante estas últimas la ventilación perimetral de la fachada durante el funcionamiento habitual de la misma, expandiéndose únicamente en caso de incendio.



**Figura 173.**  
**Instalación de barreras.**

# NORMATIVA DE APLICACIÓN

3



## 3.1 MARCO NORMATIVO NACIONAL. CTE

El Código Técnico de la Edificación (CTE) recoge los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad de los edificios que son de obligado cumplimiento por la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE). A continuación, se muestra un resumen de los distintos Documentos Básicos del CTE que recogen las exigencias básicas que deben cumplir las fachadas ventiladas.

### 3.1.1 DB SE. Seguridad Estructural

Los sistemas exteriores de fachadas ventiladas no contribuyen a la estabilidad de la edificación, por lo que no son de aplicación los requisitos del Documento Básico de Seguridad Estructural del CTE. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el comportamiento estructural del sistema de revestimiento para fachadas ventiladas, debe ser tal que no comprometa el cumplimiento del resto de exigencias básicas. Además, debe resistir y transferir a los apoyos las cargas propias y esfuerzos horizontales, con una deformación admisible, de acuerdo al Documento Básico de Seguridad Estructural – Acciones en la edificación del CTE.

El sistema de fachada debe soportar las distintas cargas: peso propio, viento, solicitaciones higrotérmicas o sismo:

- **Peso propio del sistema:** se deben limitar las deformaciones verticales.
- **Resistencia a la carga de viento:** se debe diseñar teniendo en cuenta el comportamiento a succión en las esquinas.
- **Acciones térmicas:** teniendo en cuenta la absorción de dilataciones/contracciones por el sistema.
- **Sismo:** se debe diseñar teniendo en cuenta lo establecido en la NCSE-02.

En el proyecto se debe comprobar la estabilidad, resistencia y deformaciones admisibles. El cálculo se particulariza en función de la localización y altura del edificio y el sistema exterior seleccionado.

### 3.1.2 DB SI. Seguridad en caso de Incendio

#### a) Clasificación de la reacción al fuego

La reacción al fuego de los elementos que componen una fachada ventilada, es decir, su contribución al incendio, debe cumplir con las clases Euroclases indicadas en el Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (DB SI) del CTE según uso del edificio, altura, distancia a vía pública y otros parámetros a evaluar.

El sistema Euroclases es un método de clasificación armonizado en la Unión Europea que clasifica los materiales según varios parámetros. Para materiales de edificación, la reacción al fuego de los materiales se evalúa según su grado de combustibilidad, la opacidad de los humos que se generan y la caída de partículas y gotas, inflamadas o no, y se clasifican según la norma UNE-EN 13501-1.

Según el grado de combustibilidad, los materiales se clasifican de la A a la F (de menos a más combustible), según la opacidad del humo generado, de la s1 a la s3 (de menos a más opaco) y según la caída de partículas y gotas, de la d0 a la d2.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación que propone la norma UNE-EN 13501-1 para medir la reacción al fuego de los materiales de construcción:

| CLASIFICACIÓN PARA PAREDES Y TECHOS                  |                                                 |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Clase                                                | Interpretación                                  |
| A1                                                   | No combustible. Sin contribución al fuego       |
| A2                                                   | No combustible. Sin contribución al fuego       |
| B                                                    | Combustible. Contribución muy limitada al fuego |
| C                                                    | Combustible. Contribución limitada al fuego     |
| D                                                    | Combustible. Contribución media al fuego        |
| E                                                    | Combustible. Contribución alta al fuego         |
| F                                                    | Sin clasificar. Sin comportamiento determinado  |
| Indicadores adicionales de opacidad de humo          |                                                 |
| Clase                                                | Interpretación                                  |
| s1                                                   | Producción baja de humos                        |
| s2                                                   | Producción media de humos                       |
| s3                                                   | Producción alta de humos                        |
| Indicadores adicionales de caída de gotas/partículas |                                                 |
| Clase                                                | Interpretación                                  |
| d0                                                   | No se producen gotas/partículas                 |
| d1                                                   | Caída de gotas/partículas no inflamadas         |
| d2                                                   | Caída de gotas/partículas inflamadas            |

El CTE utiliza esta clasificación para referirse a la reacción al fuego de los materiales que componen el edificio.

Cada componente de revestimiento de la fachada individual tiene características diferentes que muestran su nivel de seguridad contra incendios y que se mide por el potencial calorífico, la cantidad de material combustible por m<sup>2</sup>.

Los productos se ensayan y clasifican según su seguridad contra incendios en las anteriores clases. Como se ha indicado, los productos A1 y A2 no tienen una contribución al crecimiento del incendio y están clasificados como no combustibles. Los materiales de la clase B solo tienen una contribución muy limitada al crecimiento del fuego.

(\*) Nota: El sistema de clasificación Euroclases cuenta con algunas limitaciones:

• En los ensayos que se realizan para clasificar un producto según las Euroclases se simula una fase inicial del incendio en un ambiente interior, simulando un fuego de una potencia significativamente menor de la que podría llegar a alcanzarse en un incendio real en fachada.

15 países de la UE (entre ellos Reino Unido, Francia, Suecia o Alemania) han incorporado ensayos adicionales a gran escala en las que se simulan las condiciones reales de un incendio en fachada sobre muestras de varias plantas de altura, para evaluar la propagación del fuego en soluciones constructivas reales.

• En las clasificaciones de reacción al fuego según las Euroclases no se evalúa la toxicidad de los humos generados por un producto (a pesar de que esta es la mayor causa de muertes en un incendio), sino únicamente la opacidad de este humo.

## b) Requisitos del CTE-DB SI aplicables a fachadas ventiladas:

En el Código Técnico de la Edificación se indican dos requisitos relacionados con la protección contra incendios destacables, relativos a medianerías y fachadas y a espacios ocultos. Las exigencias que se incluyen son las siguientes.

La clase de reacción al fuego de los sistemas constructivos de fachada que ocupen más del 10% de su superficie será, en función de la altura total de la fachada:

- D-s3,d0 en fachadas de altura hasta 10 m;
- C-s3,d0 en fachadas de altura hasta 18 m;
- B-s3,d0 en fachadas de altura superior a 18 m.

Dicha clasificación debe considerar la condición de uso final del sistema constructivo incluyendo aquellos materiales que constituyan capas contenidas en el interior de la solución de fachada y que no estén protegidas por una capa que sea EI30 como mínimo.

Los sistemas de aislamiento situados en el interior de cámaras ventiladas deben tener al menos la siguiente clasificación de reacción al fuego en función de la altura total de la fachada:

- D-s3,d0 en fachadas de altura hasta 10 m;
- B-s3,d0 en fachadas de altura hasta 28 m;
- A2-s3,d0 en fachadas de altura superior a 28 m.

Debe limitarse el desarrollo vertical de las cámaras ventiladas de fachada en continuidad con los forjados resistentes al fuego que separan sectores de incendio. La inclusión de barreras E30 se puede considerar un procedimiento válido para limitar dicho desarrollo vertical.

En aquellas fachadas de altura igual o inferior a 18 m cuyo arranque inferior sea accesible al público desde la rasante exterior o desde una cubierta, la clase de reacción al fuego, tanto de los sistemas constructivos de fachada que ocupen más del 10%, como de aquellos situados en el interior de cámaras ventiladas en su caso, debe ser al menos B-s3,d0 hasta una altura de 3,5 m como mínimo.

En cuanto a la resistencia al fuego de la fachada, ha de ser el sustrato o muro soporte, y no el sistema de revestimiento de fachada ventilada, el que aporte la capacidad de confinar el incendio debido a la integridad (E) y el aislamiento (I) del muro.

### 3.1.3 DB SUA. Seguridad de Utilización y Accesibilidad

El CTE no especifica exigencias relativas a la seguridad de utilización para los sistemas de fachadas ventiladas.

Se recomienda la justificación de los ensayos de resistencia al impacto de cuerpo duro y resistencia al impacto de cuerpo blando.

Véase la clasificación a impacto según la tabla G.2 del EAD 090062-00-0404 Anexo G.

**Tabla - Categorías de uso de impacto**

| Categoría | Uso                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I         | Una zona fácilmente accesible a nivel del suelo para el público y vulnerable a los impactos del cuerpo duro pero no al uso anormalmente brusco. (Por ejemplo: bases de fachadas en edificios ubicados en lugares públicos, como plazas, patios escolares o parques. Se pueden usar góndolas de limpieza en la fachada).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| II        | Una zona susceptible a impactos de objetos lanzados o pisoteados, pero en lugares públicos donde la altura del kit limitará el tamaño del impacto; o en niveles más bajos donde el acceso al edificio es principalmente para aquellos con algún incentivo para tener cuidado. (Por ejemplo: bases de fachadas en edificios no ubicados en lugares públicos, como en el caso, de plazas, patios escolares o parques, o niveles superiores de fachada en edificios ubicados en lugares públicos que ocasionalmente pueden ser golpeados por un objeto lanzado, como en el caso, de pelota o piedra, etc.). Se pueden usar góndolas de limpieza en la fachada. |
| III       | Una zona que probablemente no sea dañada por impactos normales causados por personas o por objetos arrojados o pisoteados. (Por ejemplo: niveles superiores de fachada en el edificio (base no incluida) no ubicadas en lugares públicos, que ocasionalmente pueden ser golpeados por un objeto arrojado, como en el caso, de pelota, piedra, etc.). Las góndolas de limpieza no deben usarse en la fachada.                                                                                                                                                                                                                                                |
| IV        | Una zona fuera del alcance desde el nivel del suelo. (Por ejemplo: altos niveles de fachada que no pueden ser golpeados por un objeto lanzado. Las góndolas de limpieza no deben usarse en la fachada).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

Además, se debe garantizar la equipotencialidad de la fachada (subestructura conectada a tierra).

### 3.1.4 DB HE. Ahorro de Energía

La caracterización energética de la fachada ventilada depende del muro soporte y del material aislante utilizado detrás de la cámara ventilada. Estos factores condicionan el cálculo de aislamiento térmico del conjunto de fachada.

La solución completa de cerramiento debe satisfacer las exigencias del DB HE. A efectos de cálculo la cámara de aire del sistema tiene la consideración de “cámara de aire muy ventilada” y la resistencia térmica total del cerramiento se obtiene despreciando la resistencia térmica de la cámara de aire y de las demás capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior, e incluyendo una resistencia superficial exterior correspondiente al aire en calma, igual a la resistencia superficial interior del mismo elemento.

Las condiciones para el control de la demanda energética se definen en la sección HE1 del DB HE.

Los valores de transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica se indican en la tabla 3.1.1 a del CTE DB HE1 resumida en la tabla siguiente.

**Valores de la transmitancia térmica y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica.**

| Parámetro                                                | Zona climática de invierno |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|
|                                                          | $\alpha$                   | A    | B    | C    | D    | E    |
| Transmitancia térmica de muros ( $W/m^2K$ )              | 0,80                       | 0,70 | 0,56 | 0,49 | 0,41 | 0,37 |
| Transmitancia térmica de huecos ( $W/m^2K$ )             | 3,2                        | 2,7  | 2,3  | 2,1  | 1,8  | 1,8  |
| Permeabilidad al aire de los huecos ( $m^3/h\cdot m^2$ ) | < 27                       | < 27 | < 27 | < 9  | < 9  | < 9  |

El CTE DB HE1 en la tabla a del anejo E, también aporta unos valores orientativos de los parámetros característicos de la envolvente térmica para el predimensionado de soluciones constructivas en uso residencial privado.

**Valores orientativos de los parámetros característicos de la envolvente térmica para el predimensionado de soluciones.**

| Parámetro                                    | Zona climática de invierno |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|
|                                              | $\alpha$                   | A    | B    | C    | D    | E    |
| Transmitancia térmica de muros ( $W/m^2K$ )  | 0,56                       | 0,50 | 0,38 | 0,29 | 0,27 | 0,23 |
| Transmitancia térmica de huecos ( $W/m^2K$ ) | 2,7                        | 2,7  | 2,0  | 2,0  | 1,6  | 1,5  |

El uso de soluciones constructivas con parámetros característicos iguales no garantiza el cumplimiento de la exigencia, pero debería conducir a soluciones próximas a su cumplimiento.

Desde el punto de vista de permeabilidad al aire, no es función de la fachada ventilada garantizar este requisito.



### 3.1.5 DB HS. Salubridad

La solución completa de cerramiento debe garantizar el grado de impermeabilización mínimo exigido en el DB HS, para garantizar la exigencia básica de protección frente a la humedad (HS1).

En el caso de fachadas ventiladas de junta abierta, el agua penetra en la cámara, por lo que el sistema se debe diseñar para su correcto drenaje. El aislamiento puede incorporar una lámina impermeabilizante para evitar la absorción de agua. La estanquidad al agua la debe aportar el muro soporte.

Para el cerramiento completo se debe realizar el cálculo oportuno de limitación de las condensaciones.

Se establecen cinco grados de impermeabilidad, de forma que el grado 1 se asocia a edificios de reducida altura, no expuestos y situados en una zona poco lluviosa, mientras que un grado 5 pertenecería a la máxima exposición. Cada grado de impermeabilidad exige que las soluciones constructivas cumplan unas determinadas condiciones, recogidas en la tabla siguiente.

|                          |    | Con revestimiento exterior |          |                      |          | Sin revestimiento exterior |                |             |                             |
|--------------------------|----|----------------------------|----------|----------------------|----------|----------------------------|----------------|-------------|-----------------------------|
| Grado de impermeabilidad | ≥1 | R1+C1 <sup>(1)</sup>       |          |                      |          | C1 <sup>(1)</sup> +J1+N1   |                |             |                             |
|                          | ≥2 |                            |          |                      |          | B1+C1+J1+N1                | C2+H1+J1+N1    | C2+J2+N2    | C1 <sup>(1)</sup> +H1+J2+N2 |
|                          | ≥3 | R1+B1+C1                   |          | R1+C2                |          | B2+C1+J1+N1                | B1+C2+H1+J1+N1 | B1+C2+J2+N2 | B1+C1+H1+J2+N2              |
|                          | ≥4 | R1+B2+C1                   | R1+B1+C2 | R2+C1 <sup>(1)</sup> |          | B2+C2+H1+J1+N1             |                | B2+C2+J2+N2 | B2+C1+H1+J2+N2              |
|                          | ≥5 | R3+C1                      | B3+C1    | R1+B2+C2             | R2+B1+C1 |                            |                | B3+C1       |                             |

CTE DB HS1.

(1) Cuando la fachada sea de una sola hoja, debe utilizarse C2.

**Condiciones de las soluciones de fachada.**

Donde el índice R se refiere a la resistencia a la filtración del revestimiento exterior; B, a la resistencia a la filtración de la barrera contra la penetración de agua; y los coeficientes C, H, J y N hacen referencia a la hoja principal, aludiendo a su composición; higroscopicidad; resistencia a la filtración de las juntas y resistencia a la filtración del revestimiento intermedio en la cara interior de ésta.

Dado que mayor grado de Impermeabilidad implica exigencias más altas, un mayor número corresponde a una mejor prestación, por lo que la solución constructiva puede emplearse en todos los anteriores (por ejemplo, R3 puede utilizarse también en R2 y R1).

El revestimiento exterior de la fachada ventilada, compuesto por un aislamiento térmico no hidrófilo, una cámara ventilada una hoja exterior, están considerados R3 "revestimiento exterior de muy alta resistencia a la filtración" y B3 "Barrera de resistencia muy alta a la filtración", lo que implica que satisfacen cualquier grado de impermeabilidad.

El criterio de evaluación debe ir en la línea de no permitir la entrada de aire al interior del edificio, garantizando la estanquidad al aire de la hoja interior.

Se recomienda el análisis de los puntos singulares y de los encuentros entre elementos de fachada.

### 3.1.6 DB HR. Protección frente al ruido

La solución completa de cerramiento, y fundamentalmente el muro soporte y el aislamiento, deben garantizar el cumplimiento del requisito de protección frente al ruido del CTE.

Se estudia la solución constructiva del encuentro de la fachada con los elementos de separación vertical, de manera que se evite la transmisión del ruido por flancos.

El CTE distingue entre recintos protegidos y recintos habitables.

Un recinto habitable es un recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Se consideran recintos habitables los siguientes:

- a) habitaciones y estancias (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.) en edificios residenciales;
- b) aulas, salas de conferencias, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente;
- c) quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario u hospitalario;
- d) oficinas, despachos; salas de reunión, en edificios de uso administrativo;
- e) cocinas, baños, aseos, pasillos, distribuidores y escaleras, en edificios de cualquier uso;
- f) cualquier otro con un uso asimilable a los anteriores.

Un recinto protegido es un recinto habitable con mejores características acústicas. Se consideran recintos protegidos los recintos habitables de los casos a), b), c), d).

Los valores de aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido de día,  $L_d$  se indican en la siguiente tabla.

| Ld dBA             | Uso del edificio           |           |                                               |       |
|--------------------|----------------------------|-----------|-----------------------------------------------|-------|
|                    | Residencial y hospitalario |           | Cultural, sanitario, docente y administrativo |       |
|                    | Dormitorios                | Estancias | Estancias                                     | Aulas |
| $L_d \leq 60$      | 30                         | 30        | 30                                            | 30    |
| $60 < L_d \leq 65$ | 32                         | 30        | 32                                            | 30    |
| $65 < L_d \leq 70$ | 37                         | 32        | 37                                            | 32    |
| $70 < L_d \leq 75$ | 42                         | 37        | 42                                            | 37    |
| $70 > 75$          | 47                         | 42        | 47                                            | 42    |

#### Valores de aislamiento

acústico a ruido  
aéreo entre un recinto  
protegido y el exterior.

El valor del índice de ruido de día,  $L_d$ , puede obtenerse en las administraciones competentes o mediante consulta de los mapas estratégicos de ruido.

La justificación de esta exigencia básica puede realizarse si se considera que el

elemento constructivo de fachada indicado en el DB HR es la hoja interior del sistema de cerramiento de fachada ventilada.

Para que la solución de fachada tenga unas buenas prestaciones acústicas es muy importante que todos los huecos de fachada queden bien instalados y sellados.

La colocación de un aislante amortiguador acústico y elementos anti vibratorios en los elementos estructurales aumenta el aislamiento acústico del conjunto de la fachada ventilada.

Por tanto, la fachada ventilada debe cumplir los requisitos establecidos en el CTE. Para garantizar esta conformidad con el CTE es posible recurrir a una evaluación de la idoneidad para el uso de la fachada, por una tercera parte.

## 3.2 DOCUMENTOS DE EVALUACIÓN TÉCNICA

El CTE en su artículo 5.2, apartado 5, establece sobre la conformidad con el CTE de los productos, equipos y sistemas innovadores, que un sistema constructivo es conforme con el CTE si dispone de una evaluación técnica favorable de su idoneidad para el uso previsto.

Indica que se consideran conformes con el CTE los productos, equipos y sistemas innovadores que demuestren el cumplimiento de las exigencias básicas del CTE referentes a los elementos constructivos en los que intervienen, mediante una evaluación técnica favorable de su idoneidad para el uso previsto, concedida, a la entrada en vigor del CTE, por las entidades autorizadas para ello por las Administraciones Públicas competentes en aplicación de los criterios siguientes:

- a) Actuarán con imparcialidad, objetividad y transparencia disponiendo de la organización adecuada y de personal técnico competente.
- b) Tendrán experiencia contrastada en la realización de exámenes, pruebas y evaluaciones, avalada por la adecuada implantación de sistemas de gestión de la calidad de los procedimientos de ensayo, inspección y seguimiento de las evaluaciones concedidas.
- c) Dispondrán de un Reglamento, expresamente aprobado por la Administración que autorice a la entidad, que regule el procedimiento de concesión y garantice la participación en el proceso de evaluación de una representación equilibrada de los distintos agentes de la edificación.
- d) Mantendrán una información permanente al público, de libre disposición, sobre la vigencia de las evaluaciones técnicas de aptitud concedidas, así como sobre su alcance.
- e) Vigilarán el mantenimiento de las características de los productos, equipos o sistemas objeto de la evaluación de la idoneidad técnica favorable.

Se muestra a continuación un resumen de las entidades que actualmente emiten estas evaluaciones técnicas para las fachadas ventiladas, a nivel nacional.

### **3.2.1 DIT. Documento de Idoneidad Técnica. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja**

El Documento de Idoneidad Técnica DIT es un documento de carácter voluntario expedido por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – IETcc-, que **contiene una apreciación técnica favorable de la idoneidad de empleo en edificación y obra civil de materiales, sistemas o procedimientos constructivos no tradicionales o innovadores.**

El IETcc es el único Organismo español que tiene otorgada, por Decreto 3652/63 de Presidencia del Gobierno de fecha 26 de Diciembre de 1963 y Orden Ministerial 1265/88 de 23 de Diciembre de 1988, la facultad de conceder el DIT así como la confirmación de otros DIT concedidos por alguno de los Organismos Miembros de la Organización Europea en el ámbito de la UEAtc.

#### **> Productos objeto de DIT**

Pueden ser objeto de DIT aquellos materiales, sistemas o procedimientos constructivos para los que no se han desarrollado normas que regulen tanto las características o prestaciones del producto como su empleo o puesta en obra y que, además, satisfagan las siguientes condiciones:

- > Materiales y equipos fabricados industrialmente o procedimientos que se hayan empleado en aplicaciones reales.
- > Materiales o sistemas perfectamente identificables.
- > Materiales o sistemas que estén previstos para un empleo determinado e inequívoco.

El DIT de un material se otorga para un empleo determinado. Si el material se utiliza para distintos empleos es necesario un DIT diferente para cada uno de ellos.

#### **> Contenido del DIT**

El DIT contempla, al menos, los siguientes aspectos:

- > Principio y descripción del producto.
- > Materiales que lo componen.
- > Elementos o componentes del sistema.
- > Fabricación.
- > Controles internos y externos sobre fabricación y puesta en obra.
- > Condiciones de transporte y almacenamiento.
- > Condiciones y proceso de puesta en obra.
- > Referencias de utilización del sistema en casos reales.

- > Ensayos de identificación, aptitud de empleo y durabilidad.
- > Criterios sobre la evaluación positiva de la aptitud de empleo y procedimientos de cálculo.
- > Observaciones y recomendaciones de la Comisión de Expertos convocada para cada DIT.
- > Detalles constructivos, puntos singulares, etc.

#### > **Concesión de DIT**

La concesión del DIT se basa en el comportamiento favorable del producto para el empleo previsto frente a las exigencias de:

- > Resistencia mecánica y estabilidad.
- > Seguridad en caso de incendio.
- > Higiene, salud y medio ambiente.
- > Seguridad de utilización.
- > Protección contra el ruido.
- > Ahorro energético.

La concesión tiene en cuenta un comportamiento favorable ante la exigencia global de durabilidad y además el mantenimiento por el fabricante de las condiciones de autocontrol de la producción y su compromiso a prestar asistencia técnica en la puesta en obra.

#### > **Validez del DIT**

Los DIT son válidos durante 5 años, periodo durante el cual se realizan seguimientos anuales de fabricación. Transcurrido el plazo de validez, el fabricante debe solicitar la renovación del DIT.

#### > **Confirmaciones de DIT**

El DIT concedido por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja puede convalidarse en cualquiera de los países miembros de la UEAtc mediante un procedimiento bilateral.

Este procedimiento no es automático, ya que es preciso considerar en el nuevo DIT las características particulares (normativa, clima, etc.) del país de destino, pero permite una importante reducción de costes y tiempo.

### **3.2.2 DITplus. Documento de Idoneidad Técnica. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja**

El Documento de Idoneidad Técnica DITplus es un documento de carácter voluntario expedido por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), que contiene una **apreciación técnica favorable de la idoneidad de empleo en edificación y obra civil de un producto (material, sistema o procedimiento cons-**



**tructivo) para el uso asignado y que, basándose en el procedimiento DIT, evalúa aspectos voluntarios no cubiertos o complementarios a los contemplados por el marcado CE.**

El DITplus, como el DIT, debe considerarse como una marca de calidad y, por ello, sus objetivos son la evaluación de prestaciones o características específicas propuestas por los fabricantes o suministradores de los productos, la verificación de la conformidad de las especificaciones o la implantación de un sistema de calidad apropiado.

El DITplus se fundamenta en los principios establecidos en el Application document desarrollado por la UEAtc y puede aplicarse a las dos especificaciones técnicas armonizadas establecidas en la RPC: Norma Armonizada y Documento de Idoneidad Técnico Europeo DITE, así como en el ámbito del RPC, a la Evaluación Técnica Europea ETE. La concesión y tramitación del DIT plus queda regulada en el procedimiento IETcc-0405-DP de mayo de 2005.

### **> Productos objetos de DITplus**

De acuerdo con la actual situación reglamentaria del mercado europeo, todos los productos de construcción con marcado CE, tanto si están cubiertos por Norma Armonizada desarrollada por CEN, como por Guía Técnica o CUAP (*Common Understanding Assesment Process*) o DEE (Documento de Evaluación Europea) establecidos en EOTA, pueden ser objeto de evaluaciones complementarias, marcas de calidad voluntarias, si los fabricantes así lo desean.

Como la CE reconoce en su libro azul o Guía sobre la implementación de las Directivas basadas en el Nuevo Enfoque y en el Enfoque Global, la coexistencia entre marcas voluntarias – DITplus- y marcas obligatorias marcado CE es perfectamente posible.

Los productos pueden llevar marcados y marcas adicionales, siempre que:

- > Cumplan otra función distinta a la del marcado CE.
- > No puedan crear confusión con respecto a éste.
- > No reduzcan su visibilidad y legibilidad.

El DITplus sólo puede concederse a aquellos materiales, sistemas o procedimientos de construcción que satisfagan las siguientes condiciones:

- > Que sean perfectamente identificables.
- > Que estén previstos para empleos determinados o inequívocos.
- > Que dispongan de marcado CE.

### **> Validez del DITplus**

El DITplus tiene un período de validez de 5 años si antes no se abre un proceso de revisión. Para los documentos que sean resultado de la convalidación de un documento similar expedido por otro Organismo miembro de la UEAtc, la validez es la misma que la del documento original que se convalida.

En casos excepcionales, que se especifican razonadamente, el período de concesión puede ser menor.

### > **Concesión del DITplus**

La concesión del DITplus se basa en el comportamiento favorable del producto para un empleo previsto para aquellos aspectos voluntarios no contemplados por el marcado CE.

Para que se conceda un DITplus es necesario que el autocontrol de producción del fabricante permita asegurar la regularidad y homogeneidad del producto fabricado y su trazabilidad para, con ello, garantizar que todas las prestaciones finales del producto sean análogas a las evaluadas en el DITplus.

### > **Contenido del DITplus**

De acuerdo con los contenidos de los diferentes marcados CE para los diferentes productos, existen numerosos aspectos complementarios que pueden ser objeto del DIT plus.

El contenido del DIT plus se divide en dos grupos de aspectos a considerar, todos ellos dentro de la opción voluntaria que supone el documento. El primer conjunto de aspectos, dada su relevancia, se incluye siempre en el DIT plus, mientras que el segundo grupo responde a los contenidos requeridos por el solicitante o el sector en general para el tipo de producto a evaluar.

#### > Aspectos a incluir necesariamente en el documento:

- Cumplimiento de Reglamentaciones Nacionales.
- Utilización del producto. Puesta en obra y limitaciones de uso.
- Mantenimiento y condiciones de servicio del producto.

#### > Otros aspectos que pueden incluirse complementariamente:

- Cumplimiento de Reglamentaciones Nacionales.
- Cumplimiento de códigos de buena práctica y normativas de referencia.
- Aspectos relativos a la apariencia y a la estética.
- Prestaciones o características superiores a las requeridas en la DPC / RPC.
- Un nivel mayor de certificación de conformidad.
- Aspectos medioambientales y de sostenibilidad (incluyendo el análisis del ciclo de vida).
- Otros aspectos no cubiertos por el marcado CE.

## **3.2.3 DAU. Documento de Adecuación al Uso. ITEC**

El DAU, Documento de Adecuación al Uso, es la declaración de la opinión favorable de las prestaciones de un producto o sistema constructivo innovador en relación a los usos previstos y a las soluciones constructivas definidas, en el ámbito de la edificación y de la ingeniería civil.

Un DAU evalúa la aptitud para el uso previsto de una solución constructiva, tomando como base los niveles objetivos o valores límite exigibles a las obras de construcción y las exigencias funcionales que se establecen en cada caso.

El DAU lo elabora y otorga el ITeC (Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña) que, de acuerdo con la Resolución del Ministerio de Vivienda de 3 de septiembre de 2010, se inscribe en el Registro General del Código Técnico de la Edificación, como organismo autorizado para la concesión del DAU, en tanto que evaluación técnica de la idoneidad de productos o sistemas innovadores.

El DAU se refiere en general al contexto reglamentario español, si bien pueden considerarse específicamente otros ámbitos reglamentarios sectoriales y geográficos propios de cada producto.

El contexto reglamentario español queda definido en el ámbito de la edificación básicamente por la LOE-Ley de Ordenación de la Edificación-, que fija los requisitos básicos de los edificios, y por el CTE-Código Técnico de la Edificación-, que desarrolla estos requisitos en forma de las exigencias básicas. En el ámbito de la ingeniería civil se consideran las diferentes disposiciones reglamentarias aprobadas por la Administración.

El DAU adopta el enfoque por prestaciones y objetivos que es propio del planteamiento del CTE, así como el lenguaje técnico armonizado europeo, con el fin de poder describir y caracterizar las prestaciones de los productos en consonancia con las formas más actuales de expresar las exigencias básicas prestacionales en la reglamentación.

El DAU es un instrumento para el fomento de la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector de la construcción, puesto que evalúa la idoneidad técnica de los productos y sistemas constructivos innovadores, para los cuales no existen criterios normativos consolidados. De este modo el DAU hace posible la comercialización y el uso en las obras de estos productos innovadores bajo criterios técnicos documentados y reconocidos.

El DAU, Documento de Adecuación al Uso, es una alternativa al vacío normativo existente para una amplia variedad de productos y soluciones constructivas no tradicionales.

Debido a este vacío normativo muchos fabricantes se encuentran con la necesidad de que un organismo reconocido evalúe la calidad de su producto en relación al uso al cual está destinado, siendo parte de una determinada solución constructiva.

También hay casos en que esta necesidad existe incluso para los productos sujetos a norma, las prestaciones de los cuales son conocidas, pero no las prestaciones y las condiciones del sistema constructivo resultante de la puesta en obra de este producto.

Dirigida a los casos mencionados, el ITeC ha desarrollado la opción voluntaria del Documento de Adecuación al Uso, DAU, que cuenta con el reconocimiento oficial de la Administración del Estado. El DAU es una opinión favorable para la utilización del producto con relación al uso que se define en el DAU, basada en la evaluación de su idoneidad técnica para los usos previstos.

En un DAU se consideran tanto las prestaciones del producto con relación al uso como las de los elementos que se construyen con estos productos, sobre la base de las soluciones constructivas propuestas.

El DAU evalúa las prestaciones del producto y de los elementos de obra construidos según los criterios establecidos en relación con las exigencias básicas de calidad de los edificios definidas en el Código Técnico de la Edificación y los requisitos básicos del Reglamento de Productos de la Construcción (UE) 305/2011.

- > Seguridad estructural (resistencia mecánica y estabilidad).
- > Seguridad en caso de incendio.
- > Salubridad (higiene, salud y protección del medio ambiente).
- > Seguridad de utilización.
- > Protección frente al ruido.
- > Ahorro de energía y aislamiento térmico.

También se evalúan otras exigencias funcionales referidas a requisitos de durabilidad y servicio, que se establecen en cada caso.

El DAU toma como referencia el marco reglamentario vigente en España, el cual fija niveles exigibles para los diferentes elementos de las obras de construcción. No obstante, un DAU también puede considerar otros ámbitos reglamentarios si el titular está interesado.

En general, la evaluación de un DAU no supone la conformidad del producto con los requisitos previstos por la normativa de seguridad y salud o de prevención de riesgos laborales, en relación con la fabricación, distribución, instalación, uso y mantenimiento del producto.

El DAU aporta la caracterización del producto, así como los criterios de proyecto y ejecución y las soluciones constructivas que los técnicos responsables de las obras necesitan para su correcta concepción y ejecución, usando los productos y sistemas innovadores cubiertos por el DAU.

El DAU es un documento vivo, abierto a la mejora y a la evolución técnica de los productos y de la reglamentación de referencia. En este sentido el ITEC actualiza los DAU vigentes a medida que se van produciendo modificaciones en el producto o en la reglamentación de referencia. De este modo el DAU se mantiene siempre actualizado a las posibles modificaciones del Código Técnico, a la existencia de nuevas disposiciones reglamentarias, o a cualquier modificación del entorno normativo motivada por el progreso del estado del arte.

### 3.2.4 TC. Technical Conformity. TECNALIA

El TC es una declaración pública que evalúa la idoneidad técnica de un producto o sistema constructivo para una aplicación determinada, respecto de los requisitos básicos esenciales definidos por el Reglamento Europeo de Productos de la Construcción (EU) Nº 305/2011, así como respecto de aquellas exigencias que derivan del Código Técnico de la Edificación o de otros marcos reglamentarios que pudieran aplicar al producto a evaluar.

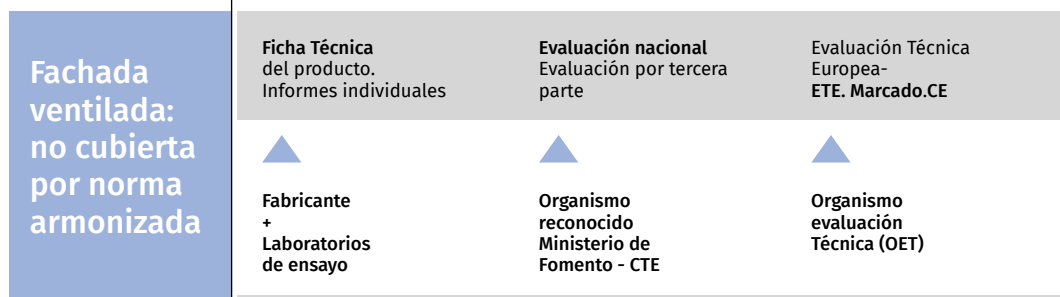
El objetivo del documento Technical Conformity Report (TC) es facilitar la aplicación del CTE a los productos de construcción, al permitir verificar que un determinado producto o sistema innovador cumple los requisitos que se derivan de los diferentes Documentos Básicos y otras posibles reglamentaciones de aplicación (RITE, RIPCI...).

El TC se aplica a productos y sistemas constructivos no tradicionales, no cubiertos, o que se desvíen significativamente, de las especificaciones técnicas armonizadas:

- Normas armonizadas en el ámbito del Reglamento de Productos de la Construcción RPC, y el Mercado CE.
- Documentos de Evaluación Técnica (DEE) para la obtención del documento de Evaluación Técnica Europea (ETE).
- Guías DITE, utilizadas como DEE, para la obtención del documento de Evaluación Técnica Europea.

Se elimina así una barrera a la innovación en producto, creando una nueva herramienta voluntaria que permite evaluar cualquier producto de construcción no cubierto por ningún tipo de norma, de tal forma que su puesta en el mercado se realice con todas las garantías.

El proceso de obtención de un TC comienza con una solicitud a TECNALIA por parte del fabricante o su representante autorizado, solicitud que debe ir acompañada de una descripción del producto y su uso previsto. Tras el análisis de la documentación aportada, TECNALIA elabora un esquema de evaluación a medida, que incluye ensayos de identificación y de caracterización de propiedades, así como el análisis del Control de Producción en Fábrica asociado al producto. Por último, y si los resultados de las fases previas han sido satisfactorios, se emite el documento TC, recogiendo los resultados obtenidos y la evaluación del producto.



**Figura 174.**

**Esquema certificaciones  
para fachada ventilada**

**(fichas técnicas –  
evaluaciones nacionales  
– mercado CE a través de  
un ETE).**

El TC no es una garantía de uso del producto, y no supone por parte de TECNALIA ninguna autorización, ni preferencia, con respecto a otros materiales o sistemas que existan en el mercado.

El TC es elaborado y otorgado por TECNALIA, que cuenta con el reconocimiento de la administración pública (BOE núm. 128 del 29 de mayo de 2012) y se encuentra inscrita en el Registro General del CTE (Resolución Ministerio de Fomento del 9 de diciembre de 2013).

### 3.3 MARCADO CE VOLUNTARIO

En el caso de fachadas ventiladas no existe norma armonizada, por lo que no es obligatorio el mercado CE para las mismas. Sin embargo, para las fachadas ventiladas es una opción el mercado CE voluntario.

El Reglamento Europeo de Productos de la Construcción (Artículos 19 a 26) ofrece una vía voluntaria para la elaboración de la declaración de prestaciones y colocación del marcado CE de aquellos productos que no estén total o parcialmente incluidos en el campo de aplicación de alguna de las normas armonizadas existentes. Esta vía voluntaria serían los “Documentos de Evaluación Europeos” (DEE, EAD en sus siglas en inglés European Assessment Document), que son elaborados a solicitud del fabricante por los Organismos de Evaluación Técnica (OET) designados por los Estados miembros.

El Artículo 22 del Reglamento establece que las referencias de los DEE adoptados por la organización de los OET (EOTA) se publican en el Diario Oficial de la Unión Europea.

Con la entrada en vigor del Reglamento (UE) Nº 305/2011, las Guías DITE desaparecen como tales y se convierten en Documentos de Evaluación Europeos, DEE. No obstante, los productos que tuvieran concedido un DITE antes del 1 de julio de 2013 pueden utilizarlo como documento justificativo del marcado CE hasta la finalización de su período de validez.

El marcado CE por esta vía es voluntario. La existencia de una EAD no implica la obligación por parte de los fabricantes de poner el marcado CE a sus productos.

### 3.3.1 Evaluación Técnica Europea (ETE):

**La Evaluación Técnica Europea (ETE) (antiguo DITE)** es un documento que proporciona información de la evaluación de las prestaciones, relacionadas con sus características esenciales, de un producto de construcción, con arreglo a su correspondiente Documento de Evaluación Europeo.

La Evaluación Técnica Europea (ETE) recoge las prestaciones a declarar, en el marcado CE del producto de construcción, para el uso previsto, así como los detalles técnicos necesarios para la aplicación del Sistema de Evaluación y Verificación de la Constancia de las Prestaciones.

La Declaración de Prestaciones que proviene del ETE es la base para el marcado CE.

#### > **Por qué una Evaluación Técnica Europea (ETE):**

- > Es la base de la Declaración de Prestaciones, y por tanto permite marcar CE aquellos productos no cubiertos por normas armonizadas.
- > Es válido en los 27 Estados Miembro y en aquellos del Área Económica Europea y Suiza.
- > Transmite una mayor confianza en la evaluación de las prestaciones del producto respecto de los requisitos esenciales.
- > Permite el libre movimiento de los productos de construcción, contribuyendo al Mercado Único Europeo

#### > **Quién puede elaborar una ETE**

La Evaluación Técnica Europea (ETE) se emite, previa solicitud por parte del fabricante de un producto de construcción, o de su representante autorizado, exclusivamente por los Organismos de Evaluación Técnica, agrupados dentro de la European



Organisation for Technical Assessment (EOTA). En España: el Instituto Eduardo Torroja del Ciencias de la Construcción, el ITEC y TECNALIA.

### > **Qué productos pueden ser objeto de una Evaluación Técnica Europea – ETE**

Una Evaluación Técnica Europea (ETE) puede emitirse en los siguientes casos:

- > El producto no entra en el ámbito de aplicación de ninguna norma existente
- > En el caso de que exista norma armonizada, al menos para una característica esencial del producto, el método de evaluación previsto en la norma armonizada no es adecuado
- > La norma armonizada no prevé ningún método de evaluación para alguna característica esencial de dicho producto.

Para la emisión de una ETE es necesario la existencia de un Documento de Evaluación Europea (DEE) que cubra el producto y su uso previsto y en caso de no existir, es necesaria su elaboración.

Pueden ser productos como fachadas ventiladas y sus fijaciones y sistemas de aislamiento térmico exterior.

### > **Qué contiene una Evaluación Técnica Europea - ETE**

Una evaluación Técnica Europea - ETE contiene la siguiente información:

- > Información general del fabricante y del producto.
- > Descripción del producto y de su uso previsto.
- > Prestaciones del producto y referencia a los métodos utilizados para su evaluación.
- > Indicación del Sistema de Evaluación y Verificación de la Constancia de Prestaciones (EVCP) aplicado.

### > **Cómo se solicita una Evaluación Técnica Europea - ETE**

El fabricante o su representante autorizado puede solicitar la emisión de una Evaluación Técnica Europea - ETE. Los hitos principales del proceso son:

- > El fabricante se dirige al Organismo de Evaluación Técnica (OET) proporcionando información del producto, de su uso previsto y de aquellas características esenciales que desea declarar.
- > El OET comprueba que no existe norma armonizada que cubra el producto y la existencia o no de algún DEE previo. Si existe norma armonizada la ETE no puede emitirse.
- > Si no existe DEE (o guía ETAG usada como DEE) el OET inicia el proceso para la elaboración de un DEE.
- > Si existe DEE, o una vez elaborado el mismo si es necesario, se inicia los trabajos de evaluación, incluyendo los ensayos de tipo y aquellas tareas ligadas al sistema de EVCP.
- > El OET emite un borrador de ETE que se circula entre los miembros de la EOTA para asegurar la coherencia del proceso.
- > EL OET emite el ETE definitivo que permite al fabricante marcar CE su producto.

## a) Documento de Evaluación Europea (European Assessment Document) de kits de revestimientos de fachada

El documento EAD 090062-00-0404 “Kits for external wall claddings mechanically fixed” incluye la evaluación de los requisitos básicos de las obras de construcción:

### 1º Resistencia mecánica y estabilidad

No relevante.

### 2º Seguridad en caso de incendio

Reacción al fuego EN 13501-1.

Reacción al fuego por la cara posterior EN 13501-1.

### 3º Higiene, salud y medio ambiente

Estanquidad al agua EN 12865.

Drenabilidad.

Contenido y emisión de sustancias peligrosas.

### 4º Seguridad y accesibilidad de utilización

Resistencia a la carga de viento (presión y succión).

Ensayos mecánicos – Fijaciones.

Resistencia cargas puntuales horizontales.

Resistencia a impactos (cuerpo duro y cuerpo blando).

Resistencia a acciones sísmicas.

Comportamiento higrotérmico (ciclos calor-lluvia y calor-frío).

### 5º Protección frente al ruido

Aislamiento a ruido aéreo (EN ISO 10140-1; EN ISO 717-1).

### 6º Ahorro de la energía y aislamiento térmico

Resistencia térmica (EN ISO 6946; EN ISO 10211).

Resistencia térmica del producto aislante (EN ISO 8890; EN 12667; EN 12939).

### 7º Utilización sostenible de los recursos naturales

Requisito no evaluado.

Las obras de construcción deben cumplir estos requisitos durante un periodo de vida razonable (durabilidad). Para verificarlos se somete a los componentes o sistemas de fachada a una serie de pruebas de envejecimiento, como, por ejemplo:

- Resistencia de la fijación tras carga pulsante.
- Estabilidad dimensional del revestimiento.
- Inmersión en agua.
- Ciclos de hielo-deshielo.
- Resistencia a agente químicos y biológicos.
- Resistencia a corrosión.
- Resistencia a radiación UV.

## b) Otros Documentos de Evaluación Técnica Europea (DEE o EAD en inglés) existentes en el ámbito de las fachadas ventiladas

En la página web de la EOTA pueden consultarse los Documentos de Evaluación Técnica Europea (DEE o EAD) en vigor, actualizados periódicamente (<https://www.eota.eu/en-GB/content/eads/56/>).

En la fecha de publicación de este manual, los EADs relacionados con kits de fachadas no vidriadas (los EAD con dígitos iniciales en su codificación “09” corresponden a productos o kits de fachada), son los recogidos en la siguiente tabla:

|                                    |                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma                              | EAD 090001-00-0404                                                                                                                                               |
| Título                             | Prefabricated compressed mineral wool boards with organic or inorganic finish and with specified fastening system (May 2015).                                    |
| Revestimiento exterior continuo    | No.                                                                                                                                                              |
| Placa/panel revestimiento          | Placa de lana mineral comprimida.                                                                                                                                |
| Fijación placa/panel revestimiento | Mecánica (clavos, remaches, tirafondos) o adhesiva.                                                                                                              |
| Perfilería vertical/horizontal     | Listones madera/perfil aluminio.                                                                                                                                 |
| Ménsulas                           | No.                                                                                                                                                              |
| Aislamiento térmico                | Lana mineral.                                                                                                                                                    |
| Componentes adicionales            | Juntas EPDM, barrera de vapor.                                                                                                                                   |
|                                    |                                                                                                                                                                  |
| Norma                              | EAD 090019-00-0404                                                                                                                                               |
| Título                             | Kits for ventilated external wall claddings of lightweight boards on subframe with rendering applied in situ with or without thermal insulation (December 2016). |
| Revestimiento exterior continuo    | Capa imprimación capa de acabado y capa decorativa con refuerzo de fibra de vidrio, de materiales especificados en el apartado 1 del EAD.                        |
| Placa/panel revestimiento          | Placa de vidrio expandido granulado y resinas reactivas con refuerzo de fibra de vidrio en ambos lados.                                                          |
| Fijación placa/panel revestimiento | Mecánica (tirafondos, tornillos o remaches).                                                                                                                     |
| Perfilería vertical/horizontal     | Metálica (acero galvanizado, inoxidable o aluminio) o madera.                                                                                                    |
| Ménsulas                           | Metálica.                                                                                                                                                        |
| Aislamiento térmico                | Lana mineral (clase A1 o A2).                                                                                                                                    |
| Componentes adicionales            | Lámina impermeabilizante.                                                                                                                                        |

|                                    |                                                                                                                         |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma                              | EAD 090020-00-0404                                                                                                      |
| Título                             | Kits for external wall claddings made of agglomerated stone (October 2016).                                             |
| Revestimiento exterior continuo    | No.                                                                                                                     |
| Placa/panel revestimiento          | Piedra aglomerada (p.e. hormigón polímero).                                                                             |
| Fijación placa/panel revestimiento | Perfiles lineales o fijaciones puntuales de aluminio o inoxidable.                                                      |
| Perfilería vertical/horizontal     | Metálica (aluminio, galvanizado o inoxidable).                                                                          |
| Ménsulas                           | Metálica (aluminio, galvanizado o inoxidable).                                                                          |
| Aislamiento térmico                | No.                                                                                                                     |
| Componentes adicionales            | No.                                                                                                                     |
| Norma                              | EAD 090034-00-0404                                                                                                      |
| Título                             | Kit composed by subframe and fixings for fastening cladding and external wall elements (June 2016).                     |
| Revestimiento exterior continuo    | No.                                                                                                                     |
| Placa/panel revestimiento          | No.                                                                                                                     |
| Fijación placa/panel revestimiento | Fijaciones metálicas puntuales o continuas.                                                                             |
| Perfilería vertical/horizontal     | Metálica (aluminio, acero).                                                                                             |
| Ménsulas                           | Metálica (aluminio, acero).                                                                                             |
| Aislamiento térmico                | No.                                                                                                                     |
| Componentes adicionales            | Protectores plásticos, muelles, cinta adhesiva, etc.                                                                    |
| Norma                              | EAD 090058-00-0404                                                                                                      |
| Título                             | Ventilated external wall cladding kit comprising a metallic honeycomb panel and its associated fixings (November 2016). |
| Revestimiento exterior continuo    | No.                                                                                                                     |
| Placa/panel revestimiento          | Panel nido de abeja aluminio.                                                                                           |
| Fijación placa/panel revestimiento | Fijaciones puntuales metálicas.                                                                                         |
| Perfilería vertical/horizontal     | No.                                                                                                                     |
| Ménsulas                           | Escuadras metálicas que permiten posicionar en 3 ejes.                                                                  |
| Aislamiento térmico                | Sí (opcional).                                                                                                          |
| Componentes adicionales            | No.                                                                                                                     |

|                                    |                                                                                                |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Norma                              | EAD 090062-00-0404                                                                             |
| Título                             | Kits for external wall claddings mechanically fixed (July 2018).                               |
| Revestimiento exterior continuo    | No.                                                                                            |
| Placa/panel revestimiento          | Paneles de materiales especificados en la tabla 1.2 del EAD.                                   |
| Fijación placa/panel revestimiento | Fijaciones metálicas puntuales o continuas.                                                    |
| Perfilería vertical/horizontal     | Metálica (acero galvanizado, inoxidable o aluminio) o madera (opcional).                       |
| Ménsulas                           | Metálica (opcional).                                                                           |
| Aislamiento térmico                | Aislamientos cubiertos por especificaciones técnicas armonizadas (hEN o EAD)(opcional).        |
| Componentes adicionales            | Lámina paravapor, impermeabilizante, barrera en cámara de aire, etc. (opcional).               |
| Norma                              | EAD 090119-00-0404                                                                             |
| Título                             | Kits for external wall cladding of mineral boards with renderings applied in situ (July 2018). |
| Revestimiento exterior continuo    | Revestimiento continuo aplicado in situ de materiales especificados en el apartado 1 del EAD.  |
| Placa/panel revestimiento          | Paneles minerales de materiales especificados en el apartado 1 del EAD.                        |
| Fijación placa/panel revestimiento | Fijaciones metálicas puntuales.                                                                |
| Perfilería vertical/horizontal     | Metálica (acero galvanizado, inoxidable o aluminio) (opcional).                                |
| Ménsulas                           | Metálica (opcional).                                                                           |
| Aislamiento térmico                | Aislamientos cubiertos por especificaciones técnicas armonizadas (hEN o EAD)(opcional).        |
| Componentes adicionales            | Lámina paravapor, impermeabilizante, barrera en cámara de aire, etc. (opcional).               |
| Norma                              | EAD 090120-00-0404                                                                             |
| Título                             | Kits for non-load bearing mineral board external wall systems (July 2018).                     |
| Revestimiento exterior continuo    | No.                                                                                            |
| Placa/panel revestimiento          | Paneles de materiales especificados en la tabla 1.2 del EAD.                                   |
| Fijación placa/panel revestimiento | Fijaciones metálicas puntuales o continuas.                                                    |
| Perfilería vertical/horizontal     | Metálica (acero galvanizado, inoxidable o aluminio) o madera (opcional).                       |
| Ménsulas                           | Metálica (opcional).                                                                           |
| Aislamiento térmico                | Aislamientos cubiertos por especificaciones técnicas armonizadas (hEN o EAD) (opcional).       |
| Componentes adicionales            | Lámina paravapor, impermeabilizante, barrera en cámara de aire, etc. (opcional).               |

### 3.3.2 Informes técnicos (Technical Reports)

Para ciertos tipos de paneles de revestimiento existen documentos específicos (technical reports) para evaluar su durabilidad o para definir una metodología de ensayo específica, no incluida en la EAD.

Para paneles composite metálicos (p.e. ACM)

TR 038 *"Assessment procedure for durability of thin metallic composite panels"*

## 3.4 ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

### 3.4.1 Análisis de ciclo de vida

El Análisis del Ciclo de Vida, ACV, es una herramienta que evalúa los impactos ambientales de un producto o servicio durante todas las etapas de su ciclo de vida. El ACV permite obtener un modelo simplificado de un sistema de producción y de los impactos ambientales asociados. Un Análisis de Ciclo de Vida es una relación de todos los impactos positivos y negativos de un producto en el ambiente.

Las normas UNE-EN ISO 14040:2006 y UNE-EN ISO 14044:2006 describen los principios, requisitos y directrices para la realización de un Análisis de Ciclo de Vida, que pueden aplicarse para determinar los aspectos e impactos ambientales de un producto a lo largo de su ciclo de vida.

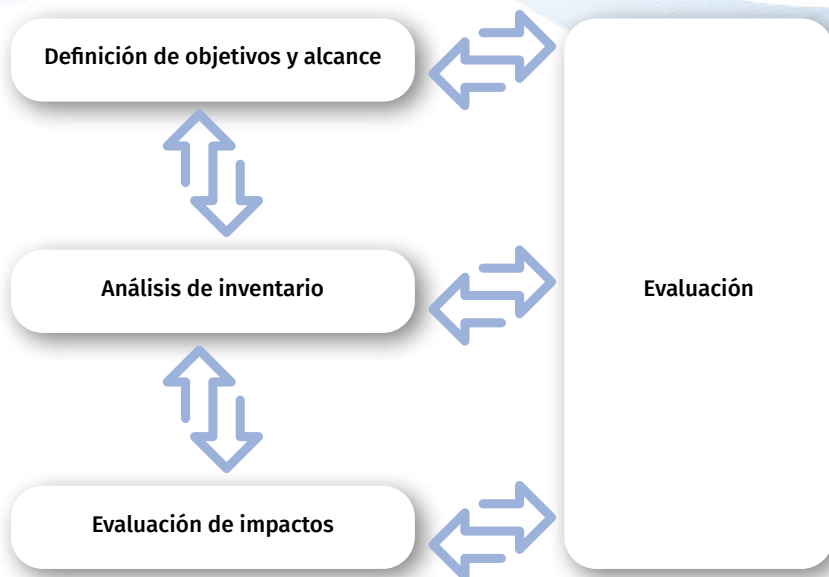
- **UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. (ISO 14040:2006).**
- **UNE-EN ISO 14044:2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices. (ISO 14044:2006).**

La norma UNE-EN ISO 14040 establece que el Análisis de Ciclo de Vida es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio.

El ACV es una metodología que permite calcular los impactos ambientales relacionados con el producto durante su ciclo de vida. Es necesario disponer de datos fiables y representativos del Inventario de Ciclo de Vida (ICV).

Las normas ISO 14040 e ISO 14044 describen la metodología de ACV que se lleva a cabo en cuatro fases:





**Figura 175.**  
**Metodología del Análisis**  
**de Ciclo de Vida.**

El Análisis del Ciclo de Vida o LCA (*Life Cycle Assessment*) es una metodología para la evaluación del impacto medioambiental de un producto, de un sistema o, por ejemplo, de un edificio a lo largo de su Ciclo de Vida. Un ACV calcula de manera rigurosa y científica el uso de los recursos energéticos, hídricos y naturales, las emisiones que desprenden al aire, a la tierra y al agua, y la generación de residuos. Estos datos se calculan para cada etapa del Ciclo de Vida del edificio.

Un análisis completo implica la toma de datos y evaluación de todos los flujos de entrada y salida, así como de los impactos ambientales potenciales a través de todo el Ciclo de Vida del producto. Así pues, el ACV incluye la evaluación de materiales, energía, emisiones a la atmósfera, vertidos al agua y al suelo y residuos generados en cada fase del Ciclo de Vida del producto.

El ACV sigue un riguroso enfoque científico, incluyendo cálculos normalizados y software para la recolección y tratamiento de datos.

Según la norma UNE-EN ISO 14044 existen cuatro fases para la realización de un Análisis de Ciclo de Vida, y que son las que se muestran a continuación:

### > **Definición del Objetivo y Alcance**

El alcance de un Análisis de Ciclo de Vida incluye los límites del sistema. El nivel de detalle depende del tema y del uso previsto del sistema.

### > **Análisis del Inventario**

La fase de análisis del inventario del Ciclo de Vida es un inventario de los datos de entrada y salida en relación con el sistema de estudio completo. Es en esta fase donde se recopilan todos los datos necesarios para el estudio.

### > **Evaluación del Impacto Ambiental**

El objetivo de la fase de evaluación del Análisis del Ciclo de Vida es el de proporcionar la información adicional para ayudar a evaluar los resultados, integrando todos los aspectos claves del sistema en el estudio.

## > Interpretación

La interpretación del Análisis del Ciclo de Vida es la fase en la cual se resumen los datos derivados del análisis y sus conclusiones.

### 3.4.2 Tipos de etiquetas medioambientales (ecodiseño)

Las etiquetas ecológicas y las declaraciones ambientales son una herramienta de gestión ambiental que se analizan en la serie de normas ISO 14000. Existen diferentes tipos de etiquetado ecológico:

- > **Tipo I (Ecoetiquetas):** es un programa voluntario, multi-criterio y desarrollado por una tercera parte con el que se concede una licencia que autoriza el uso de eco-etiquetas en productos. Certifican de forma oficial que ciertos productos o servicios tienen un impacto menor sobre el Medio Ambiente.
- > **Tipo II (Auto-declaración):** auto-declaración medioambiental informativa realizada por los propios fabricantes, importadores, distribuidores, o cualquier otro que pueda ser beneficiario de dicha declaración.
- > **Tipo III (Declaración Ambiental):** declaración que proporciona datos ambientales cuantificados utilizando parámetros predeterminados, basados en la serie de normas ISO 14040, e información ambiental adicional cuantitativa y cualitativa.

La norma UNE-EN ISO 14025 establece los principios y procedimientos a seguir en el caso de declaraciones ambientales tipo III.

### 3.4.3 Reglas de categoría de producto

El análisis de ciclo de vida en que se basan las Declaraciones Ambientales de Productos debe elaborarse conforme a unas Reglas de categoría de producto (RCP) publicadas como norma técnica o por un Programa reconocido. Estas RCP aseguran unos criterios coherentes para una familia de productos con funciones equivalentes. En el caso de productos y servicios de construcción, se emplea la Norma Europea EN 15804 y la normas internacional ISO 21930, que establecen unas RCP comunes para el sector.

- > **ISO 21930:2017.** *Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products and services*
- > **UNE-EN 15804:2012+A2:2020.** Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.

En el caso de la norma europea EN 15804 se ofrecen reglas de categoría de producto (RCP) para declaraciones medioambientales de tipo III para cualquier tipo de producto. Son declaraciones medioambientales que ofrecen datos medioambientales cuantificados usando indicadores predeterminados y, cuando sea pertinente, información medioambiental adicional.

Entre las características de las RCPs, definen las condiciones según las cuales se pueden comparar los productos de construcción en función de la información aportada por la Declaración Ambiental.

Un producto de construcción es un objeto manufacturado o elaborado para su incorporación en obras de construcción. Son suministrados por un único responsable.

Un servicio de construcción es toda actividad necesaria durante el proceso de construcción o el posterior mantenimiento (p.e. la instalación del producto).

### 3.4.4 Declaraciones Ambientales de Producto

Las Declaraciones ambientales de Producto (DAP), se estructuran en función de los requisitos de la Norma Internacional ISO 14025, y para productos y servicios de construcción, se emplean la Norma Europea EN 15804 y la ISO 21930.

Estas declaraciones ambientales proporcionan un perfil ambiental fiable, relevante, transparente, comparable y verificable que permite destacar un producto respetuoso con el medio ambiente, basado en información de ciclo de vida.

Las Declaraciones ambientales de producto, DAP (*Environmental Product Declarations, EPD*), proporcionan un perfil ambiental normalizado basado en datos ambientales cuantificados. Las DAP se desarrollan mediante un análisis de ciclo de vida (ACV) conforme a normas internacionales. La estructura modular de las DAP ofrece, de forma transparente y verificable, información relativa al comportamiento ambiental de los productos en todo su ciclo de vida.

Las DAP forman parte de un conjunto de ecoetiquetas y declaraciones ambientales recogidas en la serie de normas internacionales ISO 14020, que suponen una referencia para compra pública y privada en el ámbito global. La Norma de referencia para ecoetiquetas tipo III, ISO 14025, define los requisitos que deben cumplir estas Declaraciones ambientales, incluyendo la verificación por tercera parte.

La detallada información contenida en las DAP supone una herramienta de comunicación fiable para las empresas, evitando el greenwashing (sesgos en la información ambiental) y aportando, como consecuencia, confianza a los consumidores.

Una Declaración Ambiental de Producto ofrece información medioambiental verificable, precisa y no engañosa de los productos y sus aplicaciones, por lo tanto, se basa en evidencias científicas, elecciones justas y estimulan el potencial de mejora continua medioambiental para los operadores del mercado.

La unidad declarada es la cantidad de un producto de construcción que se usa como unidad de referencia en la DAP para una declaración medioambiental basada en uno o más módulos de información. P.e., masa (kg) o volumen (m<sup>3</sup>). En el caso de ventanas y puertas debe ser 1 m<sup>2</sup>.

La unidad funcional es la prestación cuantificada de un sistema de producto para usarse como unidad de referencia. Para facilitar los resultados a nivel del edificio, se han de ofrecer características técnicas pertinentes para la fase de uso. Por ejemplo, la transmitancia térmica y las propiedades de radiación.

**IMPORTANTE:** el objeto de una DAP en el sector de construcción es ofrecer una base para evaluar los edificios y otras obras de construcción identificando cuáles tienen menos impacto en el medio ambiente.

Entre los **objetivos de la DAP** está que las **comparaciones entre productos de construcción se lleven a cabo en el contexto de su uso en el edificio**. Las declaraciones basadas en la EN 15804 no son comparables en sí mismas.

La declaración ambiental del producto se basa en el análisis del ciclo de vida (ACV). Las distintas fases para la obtención de una DAP se muestran en el siguiente diagrama.

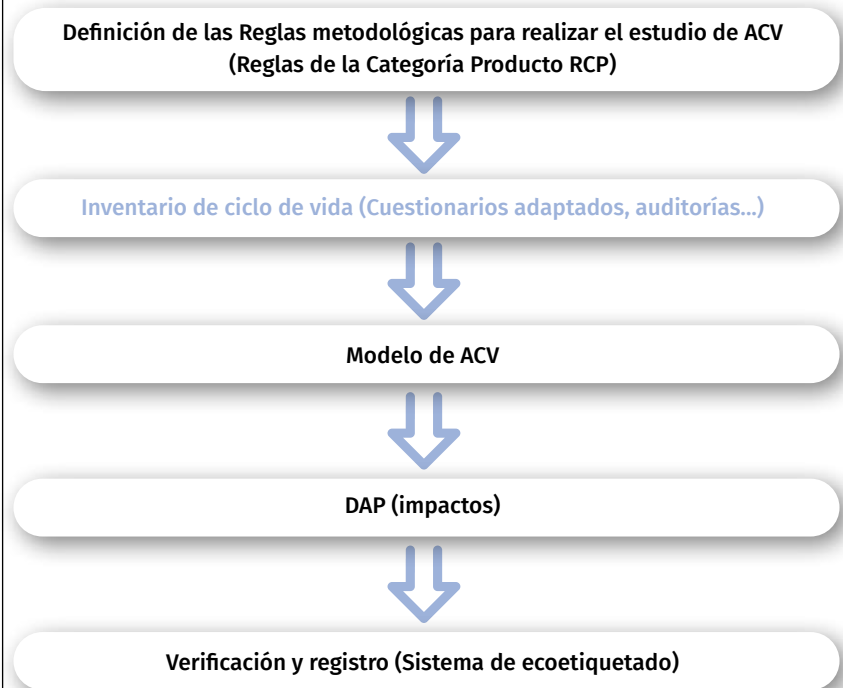


Figura 176.

Fases para la obtención  
de una Declaración  
Ambiental de Producto.

La DAP es válida durante 5 años después de la fecha de su emisión, para renovarla hay que revisarla y volver a verificarla. No se ha de recalcular si no ha habido cambios significativos en los datos en que se basa.

En el Anexo A, se ofrece información sobre el contenido de una DAP, tipos de DAPs y categorías de impacto.

### 3.4.5 Esquemas de certificación medioambiental

#### a) Sistemas de evaluación para las certificaciones de sostenibilidad en edificios

Los sistemas de evaluación de edificios han experimentado un rápido incremento durante las pasadas dos décadas – desde el nacimiento del BREEAM en Reino Unido en 1992 hasta el rápido crecimiento experimentado por el LEED, que ha superado las barreras nacionales de EEUU para convertirse en uno de los principales sistemas de evaluación a nivel mundial.

Entre estos dos ejemplos, muchos y diferentes sistemas de evaluación se han desarrollado, siguiendo distintas tendencias y haciendo hincapié en aspectos ambientales o alcances diferentes. Los estándares exigen unos requisitos mínimos de comportamiento, pero no establecen una jerarquía entre distintos proyectos o edificaciones que cumplen con estos requisitos. Por ello, generalmente resultan herramientas insuficientes para generar esa aspiración del sector de la edificación por llegar a mayores niveles de comportamiento (ambiental).

Frente a ellos, los sistemas de evaluación aportan el factor “mejora continua”, sobre la base de que cada vez los modelos y sistemas constructivos deben cumplir unos requisitos y condicionantes más sostenibles que sus precedentes.

Los sistemas de evaluación, además, suponen una manera de poder exponer de manera sencilla y visual a los usuarios o propietarios finales de un edificio, las razones que convierten a un edificio en mucho más sostenible que determinado otro, de tal manera que resulte sencillo establecer una comparación en igualdad de términos entre los mismos.

## **b) Evolución y expansión de los sistemas de evaluación**

Los métodos de evaluación ambiental han experimentado un gran auge desde que a comienzos de los 90 apareciese en escena el *BREEAM*, en Reino Unido. El panorama actual es muy extenso, ya que habitualmente, cada país ha generado un sistema de evaluación de los edificios en él construidos, por lo que se encuentra una gran oferta de sistemas, muchos de ellos con vocación de universalidad, al haber trascendido su uso las fronteras nacionales (como es el caso del LEED, por ejemplo). Sin embargo, otros sistemas tienen como meta un uso exclusivamente local, adecuando sus características a las especificidades del lugar y convertirlo en un sistema de referencia únicamente válido para un entorno próximo.

En ocasiones, algunos de estos sistemas han ido evolucionando y conociendo distintas versiones, ampliando las tipologías específicas hacia las que se dirigen. En otras ocasiones, un país se ha inspirado en el sistema de evaluación empleado por otro país para adaptarlo a sus propias necesidades (este ha sido el caso, por ejemplo, del *BREEAM*, que nacido en Reino Unido y pionero de los sistemas de evaluación de la sostenibilidad de las edificaciones, fue adaptado en Canadá y reconvertido posteriormente en otro sistema independiente, *Green Globes*). Otros sistemas de evaluación como la herramienta VERDE, no se han terminado de desvincular de su sistema de origen, el *SBTool*, constituyendo una adaptación a las particularidades locales.

Actualmente, son múltiples y variadas las herramientas que existen en el mercado, cubriendo cada una de ellas diferentes tipologías edificatorias, aspectos medioambientales, etc. Por ello, resulta difícil establecer una comparativa válida entre los resultados aportados por un sistema de evaluación y los aportados por otro cualquiera.

Si bien en la actualidad existe la necesidad de un lenguaje común de valoración de la sostenibilidad, atendiendo a los condicionantes anteriores, el consenso todavía se encuentra muy lejano.

A nivel europeo se está trabajando en el proyecto *Level (s)*. *Level (s)* es un marco voluntario de evaluación para mejorar la sostenibilidad de los edificios. Utilizando las normas existentes, *Level (s)* proporciona un enfoque común de la UE para la evaluación del desempeño ambiental en el entorno construido. Cada indicador

está diseñado para vincular el impacto del edificio individual con las prioridades de sostenibilidad a nivel europeo. Esto centra al usuario de *Level (s)* en un número manejable de conceptos e indicadores esenciales a nivel de construcción que contribuyen al logro de los objetivos de la política ambiental de la UE y los Estados Miembros.

*Level (s)* puede utilizarse en el marco de los sistemas de evaluación y certificación para garantizar que sus criterios reflejan las principales prioridades de la economía circular en Europa, y de cara a facilitar la comparación entre los datos y resultados de diferentes sistemas para la calificación del rendimiento de los edificios en materia de sostenibilidad.

Más información: <http://ec.europa.eu/environment/eusss/buildings.htm>

### c) Distintos tipos de sistemas de evaluación

Cabe destacar que no todos los sistemas de evaluación funcionan de la misma manera, ni pueden ser certificables por un organismo independiente o por el propio organismo regulador del sistema. Por ello pueden distinguirse tres tipos de sistemas en base al alcance del método:



#### > Sistema de evaluación de la sostenibilidad

Es un conjunto de métodos generales y protocolos, generalmente basados en análisis de ciclo de vida, empleados para valorar el comportamiento ambiental de un edificio y de sus sub-sistemas. Si bien en un primer momento estos sistemas se centraron en la variable ambiental, con posterioridad, la mayor parte de ellos han adoptado criterios que encajan también dentro de las variables económica y social.

Los sistemas de evaluación permiten obtener una puntuación global correspondiente a una edificación en función del cumplimiento de una serie de indicadores de sostenibilidad predefinidos, pero no necesariamente clasificados por aspectos ambientales. En ocasiones, como ocurre en el sistema francés HQE, la evaluación se realiza por aspectos ambientales, ofreciéndose los resultados obtenidos en cada categoría, pero sin realizar un análisis que permita establecer una comparación simple con otras edificaciones.

#### > Sistema de clasificación de la sostenibilidad

El propósito de un sistema de clasificación es ofrecer la valoración del edificio en cuanto a su sostenibilidad tanto para los subsistemas que lo componen como para el edificio completo; o bien ofreciendo los resultados parciales por áreas o ámbitos de actuación distintos. Para ello, es necesario establecer los niveles de ponderación que permiten interrelacionar los distintos aspectos ambientales para componer la puntuación global.



Los sistemas de clasificación se basan en ofrecer un doble sistema de medición. Este doble sistema permite, por un lado, calcular una puntuación global para el conjunto del edificio, que se obtiene como resultado de la suma ponderada de las puntuaciones obtenidas por cada uno de los aspectos ambientales que considera el sistema. A su vez, existe una gradación de las puntuaciones globales que permite asignar un nivel específico a la edificación (generalmente entre 4 y 7 niveles).

#### **> Sistema de certificación (o etiquetado) de la sostenibilidad**

Un sistema de certificación es aquel cuya evaluación se lleva a cabo (o verifica) por un asesor cualificado, y que lleva aparejado un sistema de publicidad del sistema en el mercado de la edificación. El hecho de certificar un edificio mediante un sistema determinado, supone un coste económico importante y que no todas las edificaciones pueden permitirse.

Un sistema de certificación cumple sus objetivos estratégicos cuando exista una demanda creciente de no especialistas (propiedad y usuarios finales) que exijan dichas certificaciones.

#### **d) Principales métodos de evaluación**

En el Anexo B, se explican tres métodos de evaluación de la sostenibilidad de las edificaciones por ser estos los de principal uso en el ámbito de aplicación de este manual.

# DISEÑO DE LA FACHADA VENTILADA

4

La fachada ventilada o ‘*rainscreen*’ (pantalla frente a la lluvia) siempre se ha basado en la separación en capas de las diferentes propiedades que se quiera que tenga el cerramiento.

La **hoja exterior** cumple, por un lado, la función estética, y por otro la de ‘pantalla de lluvia’, deteniendo el mayor porcentaje del agua que incide sobre la fachada. Le sigue, de fuera hacia dentro, una ‘capa inexistente’, pero capa, al fin y al cabo, que no es otra que la **cámara**, cuya función es permitir el paso de una corriente de aire normalmente ascendente. Así se consigue que se seque la poca agua que haya podido penetrar a través de las juntas del aplacado de la hoja exterior, y refrescar la temperatura de la cara exterior de la siguiente capa: el **aislamiento**. La función de este elemento es evidente, conseguir que las pérdidas/ganancias térmicas a través de la envolvente del edificio sean las menores posibles en todas las estaciones del año.

Como elementos adicionales pueden ser necesarios la instalación de una barrera de vapor y una barrera impermeable, aunque sea algo excepcional en nuestro clima.

De hecho, instalar una barrera de vapor en fachada ventilada no suele ser lo habitual. En cualquier caso, hay que evitar confundir “barrera de vapor” con “impermeabilización”. Ambas solo se instalan en casos excepcionales.

La barrera de vapor, se coloca en la cara caliente del aislamiento, evitando que la humedad del ambiente condense en la capa fría. En casos de fachada ventilada con aislamiento exterior no precisa barrera de vapor ya que no hay cara fría donde pueda condensar el vapor.

La impermeabilización (llamada más correctamente membrana impermeable), se sitúa en la cara externa del aislamiento, en contacto con la cámara de aire. Es necesaria para evitar que el aislamiento se moje y pierda su función térmica. Excepto en ese caso, la barrera impermeable se deja a la “*Rain Screen*”, a no ser que por geometría se prevea la entrada de agua que pueda llegar a traspasar la cámara de aire.

En fachadas ventiladas no se instala una impermeabilización como tal, como se conoce, por ejemplo, a la que se hace en cubiertas.

## 4.1 Tipologías de fachadas

### > **Trasventilada**

También conocida como ‘fachada drenada y trasventilada’, entendida la fachada con juntas abiertas o aberturas en la parte inferior y superior. En un porcentaje muy elevado de los casos, ésta será la tipología a utilizar.

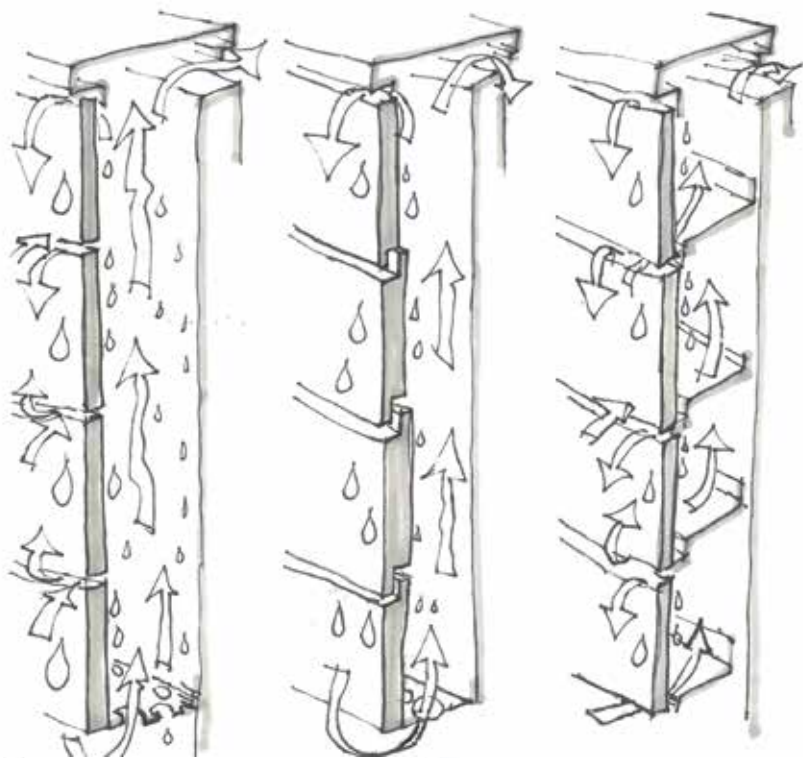
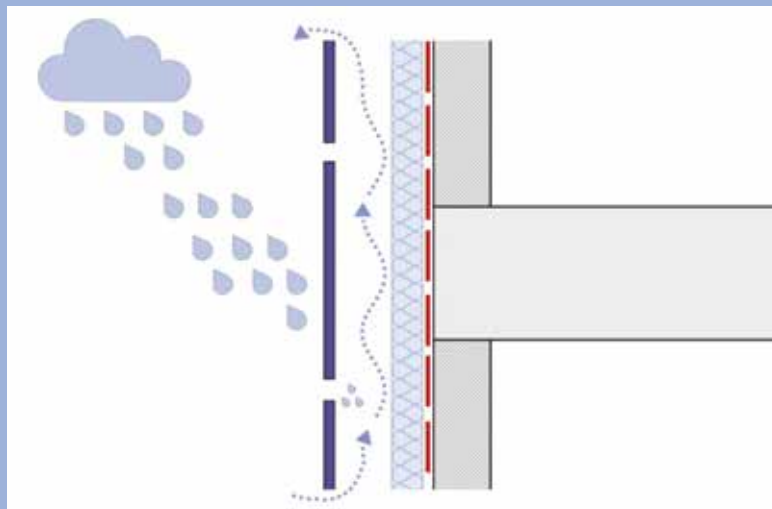
Se basa en la capacidad de la cámara para drenar en primer lugar el agua que haya podido penetrar en la cámara, y en la corriente de aire (normalmente ascendente) para secar las zonas que hayan podido retener humedad.

#### Características:

- > El diseño de las juntas debe evitar la entrada de agua en la mayor medida posible, aunque se asume que no son puntos estancos. Lo ideal es que el

agua que entre en la cámara pueda discurrir hacia abajo bien 'adherida' a la cara interior del aplacado exterior, bien gracias a la geometría de la sección de los perfiles verticales de soporte, y salir más abajo mediante la ayuda de algún remate o similar.

- > La hoja exterior se dimensiona suponiendo que le afecta el 100% de la carga de viento calculada para el proyecto.



CROQUIS N°22

Esquemas de fachada

trasnsventilada,

ventilada y

compartimentada.

## > **Compartimentada**

Se trata de sistemas semi-experimentales con poca presencia en el mercado a día de hoy. Su uso está restringido a grandes proyectos, arquitectos innovadores, etc.

En este caso el principio de actuación consiste en compartimentar lo más posible la cámara, de forma que, al transmitirse la carga de viento a través de las juntas al interior de la misma, se produzca una equalización de presiones exterior-interior en un breve lapso de tiempo. Al igualarse las presiones dentro-fuera, se elimina la posibilidad de que el agua se cuele en el interior de la cámara por diferencia de presiones.

### Características:

- > El tamaño de estos 'compartimentos' y el ancho de junta deberían calcularse y ensayarse para cada caso, pero no hay demasiado conocimiento de este tema a día de hoy.
- > La hoja exterior teóricamente se podría dimensionar para una carga de viento inferior a la de proyecto, ya que al igualarse rápidamente las presiones dentro-fuera, la carga que soporta nunca será el 100%. Pero es necesario un cálculo / ensayo muy definitivo que permita aplicar y cuantificar una reducción significativa de la carga a soportar.

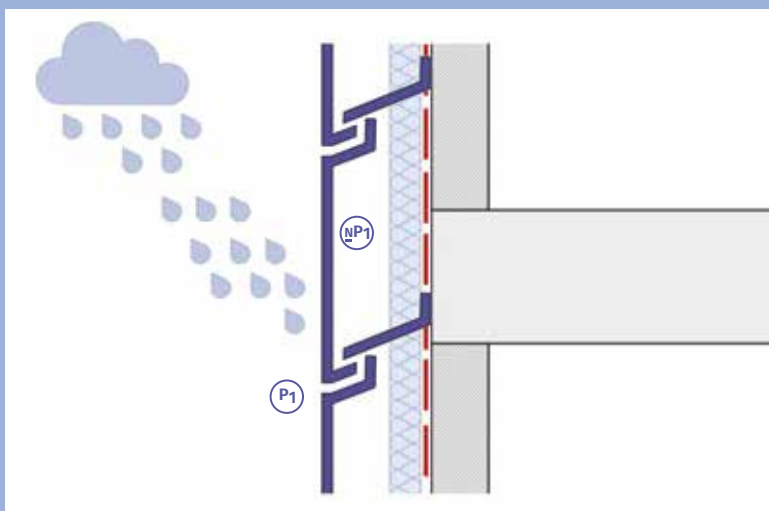


Figura 178.

Fachada  
compartimentada.

## > **Industrializada**

Lo mismo que en el caso anterior. Se trata de sistemas con poca implantación a día de hoy en el sector.

La construcción de los cerramientos viene experimentando un cambio radical en los últimos tiempos. La adopción por parte de los prescriptores de soluciones con fachada ventilada, así como el gran desarrollo que han realizado los fabricantes

en este campo ha hecho que su protagonismo vaya en aumento. Sin embargo, en España, en la gran mayoría de los casos, las fachadas ventiladas se fijan a un cerramiento base construido de manera tradicional, vinculada generalmente a la construcción en húmedo. Esto supone una inevitable sucesión de distintos oficios para un mismo cerramiento (albañilería, carpintería, instaladores de fachada ventilada, etc.). El cerramiento global no es una única solución industrializada, sino que se subdivide en distintos procesos constructivos con componentes procedentes de distintos proveedores. Es, por tanto, el proyectista el que los combina para, con su configuración final, aportar el nivel de prestaciones necesario (aislamiento térmico y acústico, impermeabilidad al aire y al agua, etc.).

Por tanto, la responsabilidad de su funcionamiento conjunto tiene como principal protagonista al proyectista y al contratista principal, ya que cada elemento goza de sus garantías por separado, pero no existe una garantía del conjunto. Especialmente críticas son las zonas de interfase, allí donde hay un cambio de sistema o de hueco de fachada, tanto por la delicadeza de su funcionamiento, como por el hecho de que puede quedar a menudo fuera de las garantías individuales.

En la fachada ligera tipo muro cortina, la situación ha sido radicalmente distinta. Los fabricantes han desarrollado sistemas industrializados completos y los fachadistas ejecutan la totalidad del cerramiento, existiendo un único sistema constructivo, una sola garantía. La “industrialización” de la envolvente ha llevado inevitablemente a que exista una mayor carga de trabajo en la fase de diseño y en la de prefabricación, que se traduce en una increíble rapidez de montaje (con mano de obra experta), en comparación con los sistemas tradicionales.

En el caso de la fachada ventilada, hay que ser conscientes de que su presente es su combinación o colocación sobre cerramientos heredados de la construcción tradicional, pero que, la inercia del sector la va a distanciar cada vez más de ello.

Los vectores de evolución del sector de la construcción, en particular en los cerramientos, son gobernados por la rapidez de instalación, la construcción en seco y la unidad de garantías. La prefabricación encaja cada vez mejor en este ámbito, pues facilita todos estos aspectos, pudiendo presentar unos mejores estándares de calidad comparados con los que se obtienen habitualmente en obra.

La actual situación que se vive en el sector de la construcción en España, en la que existe un claro déficit de mano de obra y una baja productividad, puede encontrar un aliado en la industrialización. Cada día más y más promotoras y constructoras se están abriendo hacia modelos de construcción industrializada ya que, si bien el precio final de la construcción suele ser superior frente a la construcción tradicional, por otro lado, permite aumentar significativamente la productividad y por tanto, poner a la venta en el mercado un volumen de vivienda mucho mayor en menos tiempo y de ese modo sacar mayor provecho a la fuerte demanda que hay, descompensada respecto a la velocidad a la que crece la oferta, aún insuficiente.

No hay que olvidar que también se está produciendo un radical cambio del proceso de gestión de proyectos, protagonizado por el BIM (Building Information Modelling), donde el proyecto queda cada vez más especificado y detallado técnicamente y en fases más tempranas, planteando un escenario aún más idóneo para su vinculación con un proceso industrial.

Existen ya bastantes ejemplos de fabricantes que plantean estas “soluciones



integrales de cerramiento” acabadas con sistemas de fachada ventilada, aprendiendo del mundo de los sistemas de fachada ligera modulares, combinado con una evolución de los sistemas de cerramiento en seco “steel frame”.

Estas soluciones integrales de cerramiento prefabricado no van a suponer la erradicación de los cerramientos elaborados mediante las combinaciones de sistemas, pero sí que van a ganar cada vez un mayor protagonismo. El grado de desarrollo del mismo depende directamente de su capacidad de adaptación y versatilidad para dar respuesta a cualquier tipo de proyecto, encajando con cualquier tipo de revestimiento y acomodándose dentro del proceso constructivo como una alternativa atractiva para las constructoras.



Figura 179.

Sistema industrializado

del proyecto Brock

Commons Tallwood

House Student

Residence, Vancouver.

Hoja exterior placa

compacta HPL.

## 4.2 Hoja exterior

### 4.2.1 Criterios de elección

Esta elección es propia del arquitecto. Es un criterio principalmente estético. El material de revestimiento es el que aporta la imagen y personalidad del edificio. Además, también influyen:

➤ **Precio:** ciertos materiales son bastante más caros que otros, por lo que sin duda este factor puede ser también un criterio de selección.

- > **Peso:** dependiendo del edificio y de las cargas para las que se haya diseñado, dependiendo también de si se trata de obra nueva o de rehabilitación. No es lo mismo instalar material de revestimiento muy pesado que otro que priorice la ligereza.
- > **Modulación:** ciertos materiales permiten unos formatos mucho más grandes (hasta 2000 mm x 14000 mm en el caso de paneles de aluminio fabricados en continuo, por ejemplo). Otros como el acero inoxidable o el zinc dependen de los tamaños máximos de los laminadores existentes (1500 y 1000 mm como máximo, respectivamente). La piedra o la cerámica, materiales muy frágiles, por resistencia a las cargas y manipulación no pueden instalarse, por lo general, en modulaciones muy grandes. Por otra parte, los paneles HPL pueden alcanzar con sistemas mecánicos, modulaciones de 3050 mm x 2130 mm.
- > **Prestaciones técnicas del material:** dependiendo de la clasificación de cada material, la normativa de cada país y la altura y uso del edificio (hospital, vivienda, oficina, etc.).

## 4.2.2 Geometría de placas

Alguno de los materiales de revestimiento permite una transformación de su geometría para aportar algo más que color / textura. Las operaciones de transformación que se pueden llevar a cabo una vez fabricado el revestimiento, o en su proceso de fabricación, son:

- > **Plegado:** panel composite, panel honeycomb, chapa maciza, etc.
- > **Perforado:** prácticamente todos.
- > **Curvado:** panel composite, HPL, panel honeycomb, chapa maciza, etc.
- > **Cantado:** prácticamente todos.
- > **Embutición:** fundamentalmente se realiza en materiales metálicos.

## 4.3 Subestructura

### 4.3.1 Sistema de fijación

#### a) Fijación de la hoja exterior a la subestructura

El sistema de fijación normalmente va ligado al material de revestimiento empleado. No obstante, dentro de cada material suele haber también dos o tres opciones entre las que elegir, y que pueden conllevar los siguientes criterios:

- > **Estético:** si no se quiere que se vea la fijación, en los paneles composite se opta por sistemas tipo cassette (LCH-1, SZ, TOP HAT, etc.), en los que a la placa se le hacen unos pliegues en sus cuatro lados, estos pliegues son entonces los encargados de alojar las fijaciones, que pasan a ser ocultas, o bien a sis-

temas químicos de pegado directo en obra; en los paneles de piedra, se va a sistemas de ranurado o con bulones puntuales en los cantos; en los paneles honeycomb, sistemas de grapa remachada a la piel interior; en las fachadas cerámicas, sistemas con perfil corrido y juntas horizontales preparadas para recibirlos y ocultarlos, etc. Si no es problema que la fijación quede expuesta, se pueden remachar los paneles composite desde el exterior directamente contra los perfiles verticales, fijar la piedra con grapas vistas, etc.

Los paneles HPL permiten sistemas mecánicos vistos y ocultos y sistemas de adhesivo estructural certificados y todo con subestructura de madera tratada y aluminio.

- **Registrabilidad:** si se necesita que una sola placa de acabado pueda sustituirse en caso de rotura o deterioro, sin necesidad de desmontar una o varias de las placas adyacentes, hay que decantarse por sistemas registrables.
- **Tradición constructiva:** en Europa se tiende a instalar siempre o casi siempre sistemas de fachada ventilada con junta abierta, o al menos sin sellarla. En Estados Unidos y Australia, y los países que van heredando esa tradición constructiva (Canadá, Emiratos Árabes Unidos, etc.) lo más normal es ver sistemas de fachada ventilada con junta cerrada y en muchos casos hasta con la junta siliconada.
- **Peso de la fachada:** en algunos casos, las fijaciones químicas permiten reducir el espesor del panel a instalar, reduciendo así el peso en conjunto de la fachada.

## b) Fijación de la subestructura a la estructura soporte

Existen principalmente dos tipologías de fijación de la subestructura a la estructura primaria del edificio. Dependen de la resistencia de la hoja interior:

### **Forjado a forjado**

Si se tiene una hoja interior con una resistencia muy baja (ladrillo viejo, por ejemplo), la perfilería debería fijarse únicamente a los frentes/cantos de forjado, siendo este soporte un material mucho más homogéneo y con mejores valores mecánicos. En este caso, los perfiles tienen un vano entre puntos de apoyo entre 3 y 4 metros, por lo que su inercia y módulo resistente deben ser mayores que si la fijación es con menor distancia a la hoja interior. Esto suele implicar una sección del perfil montante de mayores dimensiones, y por lo tanto que el paquete de fachada sea mayor, y que sea necesario jugar con el espesor del aislamiento para controlar el espesor de la cámara ventilada.

### **Tradicional**

Si la hoja interior lo permite, se fija el montante vertical en todos los puntos que sea necesario. Esto redundará en unas necesidades estáticas del perfil mucho menores, por lo que también el paquete total del sistema de fachada ventilada es menor (sección del perfil con dimensiones más pequeñas, resta menos metros cuadrados habitables).

## 4.4 Cámara

### 4.4.1 Dimensionado

Hay varios criterios a tener en cuenta, y no todos coherentes entre sí:

- **CTE DB-HS:** para que se considere el sistema constructivo como de máxima impermeabilidad y pueda instalarse sin problema en cualquiera de las zonas pluviométricas nacionales, el DB HS indica que el espesor de la cámara vaya de 30 a 100 mm.
- **EAD 090062-00-0404 (antes ETAG 034):** para considerar la fachada como 'ventilada' se exige que al menos el espesor de la cámara sea 20mm. El EAD permite que en alguna zona puntual se reduzca a 5-10mm, pero siempre que el paso de aire y el drenaje no se vean impedidos.
- **Aseguradoras UK (NHBC):** mínimo 50 mm.
- **Fuego:** respecto al comportamiento a fuego de una fachada ventilada, los ensayos realizados por diferentes empresas hasta la fecha parecen demostrar que, cuanto mayor espesor tiene la cámara, más efecto chimenea aparece, y por lo tanto a mayor velocidad se propaga el incendio. Es por ello que no interesa que los espesores de las cámaras sean demasiado grandes (25-50 mm sería un espesor razonable).
- **Tolerancias de montaje:** la precisión representada en los planos rara vez es trasladable a la obra. Cámaras proyectadas con espesores iguales o inferiores a 10 mm es muy probable que en algunos puntos se vean interrumpidas; bien por caída de materiales durante el montaje que las obstruirán, bien por la variabilidad en el espesor de los aislantes, bien por replanteos en obra aprovechando la regulación de las ménsulas, etc.

Se podría establecer, por lo tanto, como criterio, que la cámara de una fachada ventilada tenga un espesor mínimo de 25 mm y máximo de 50 mm, medido desde la cara interior de la hoja exterior a la cara exterior del aislante, permitiendo no obstante que en algunos puntos específicos (cantos horizontales de las bandejas de panel composite, por ejemplo) esta anchura se reduzca excepcionalmente.

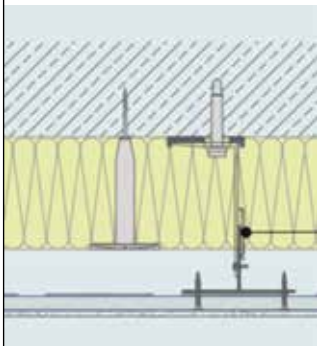
### 4.4.2 Juntas

#### a) Soluciones de juntas en fachada ventilada

La junta es un elemento de diseño que marca la modulación de la fachada y, por tanto, su desarrollo está condicionado por el material que se escoja como revestimiento.

#### Sistema de JUNTA A TESTA

Los sistemas de placas de yeso laminadas para exteriores para recibir un sistema SATE en fachada ventilada.



**Figura 180.**  
**Junta a testa.**

Una vez colocadas las placas a testa se realiza un tratamiento de las juntas con una cinta de malla (ancho según fabricante) y el mortero para regularizar.

Una vez se han finalizado las juntas se aplica en toda la superficie una capa de regularización y una malla. Finalizado el fraguado y secado de la base armada, se aplican los acabados.

## Juntas ABIERTAS



**Figura 181.**  
**Junta abierta vertical.**

Es la forma más común de solucionar la junta en la fachada ventilada mediante una junta abierta cuyo ancho depende de cada material. La junta permite los movimientos de dilatación por temperatura y humedad relativa de los diferentes materiales y ofrece al arquitecto la opción de diseñar la fachada con diferentes modulaciones según permitan los formatos de panel. Las juntas abiertas pueden realizarse en vertical y horizontal o en ocasiones se pueden mezclar diferentes soluciones de junta.

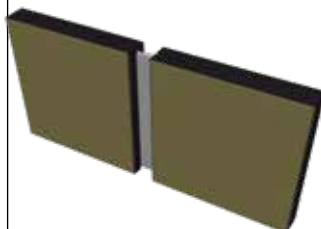
## Juntas SOLAPADAS



**Figura 182.**  
**Junta solapada horizontal.**

La junta solapada, si el material tiene rigidez suficiente, permite, fresado el núcleo del material, solapar una placa sobre otra. Es una solución que permite una junta estanca, el fresado debe permitir la holgura necesaria para moverse el material y la inclinación necesaria para evacuar el agua de lluvia en la parte exterior.

## Junta MACHIHEMBRADA



**Figura 183.**  
**Junta Machihembrada**

Si el material lo permite, se puede ranurar el material coincidente en la junta vertical para colocar entre las dos ranuras y la junta una pletina (de diferentes materiales) que cierre la junta vertical en un segundo plano. La pletina debe permitir el movimiento del material.

## Perfiles de JUNTA



**Figura 184.**

**Junta falsa.**

Las juntas se pueden cerrar fijando perfiles de junta metálicos disponibles por el fabricante o terceras empresas. Los perfiles no deben impedir el movimiento de las placas y deben fijarse sin tensión. En ocasiones se colocan perfiles de juntas para realzar o provocar un diseño o una modulación diferente en la fachada.

## Junta FALSA

Dependiendo del material, especialmente si el núcleo permite simular la sombra de una junta abierta, se puede realizar un fresado de la superficie del material para simular una junta horizontal y vertical falsa. Para materiales de gran formato y espesor suficiente esta solución permite marcar una modulación y optimizar el sistema.

## Bandas de JUNTA

En el caso de subestructuras de madera tratadas para exteriores se recomienda utilizar bandas planas de EPDM en toda la anchura del montante vertical, con sistemas de fijación aplicables de conformidad con la normativa. Estas bandas evitan la entrada de agua entre la placa y la subestructura.

Las masillas tapajuntas impiden que se muevan las placas y pueden provocar una suciedad excesiva en los bordes de las mismas. Por ello, no se recomienda específicamente utilizar este tipo de sellado, a no ser que el fabricante del material lo recomiende.



**Figura 185.**

**Ejemplo de proyecto**

**con junta horizontal**

**solapada y vertical**

**abierta. Casa Unifamiliar  
y Oficinas Comerciales en**

**Boulaide, Luxemburgo.**





Desde el punto de vista del diseño es necesario tener en cuenta los siguientes criterios.

> **Junta abierta:**

Lo más común. Lo idóneo. Permite el funcionamiento de la cámara ventilada incluso sin entradas y salidas de aire realizadas ex profeso en la parte superior e inferior. Esta ventilación seca el agua que haya podido entrar a través de las juntas en la cámara, evitando así que se generen otras patologías producidas por el agua. En climas fríos o en invierno, la junta abierta juega en contra del ahorro energético, ya que permite la entrada de aire frío a la cámara y perjudica el gradiente térmico entre interior edificio y aislante (aumenta y por lo tanto se escapa calor del interior más rápidamente). Para evitar la entrada de agua en demasía en climas muy húmedos, es interesante que la geometría de la junta (pliegues, solapes, etc.) dificulten lo más posible este efecto, o que la perfilera vertical / horizontal posterior actúe como barrera.

> **Junta cerrada:**

En ciertos países (Australia, Oriente Medio, EEUU, etc.) se usa mucho por su tradición constructiva.

> **Siliconada:** cuando se requiere estanqueidad. Esta solución es funcional cuando se tiene un aislamiento muy permeable o semipermeable entre las dos hojas principales, y un gran número de días lluviosos y ventosos al año que pueden meter agua dentro de la cámara, empapar el aislante y deteriorarlo. También en climas muy fríos la cámara prácticamente estanca actúa como aislante entre el exterior y el aislamiento, mejorando un poco las prestaciones del mismo.

> **Con pletinas:** similar al anterior, con la ventaja de que la estética no empeora con el tiempo, pero mantiene los problemas de la ausencia de ventilación descritos en el apartado anterior.

## b) Dimensionado

Depende de varios factores:

> **Control de las dilataciones:** el control -y permisión- de las dilataciones es un concepto fundamental para no tener problemas a futuro con las fachadas instaladas. La mayoría de los sistemas que comercializan los fabricantes de revestimientos para fachada tienen en cuenta esta cuestión y permiten la dilatación de los paneles tanto en la dirección vertical como en la horizontal, a la vez que delimitan los puntos fijos y los móviles para que todos los paneles dilaten en la misma dirección y sentido (unificando el crecimiento - decrecimiento de las juntas contiguas o alineadas). Pero, ¿qué dimensión se debe dar a la junta entre placas para evitar contacto? Se debe tener en cuenta el momento de la instalación y hay que fijarse en el coeficiente de dilatación lineal del material, y considerar el gradiente de temperatura máximo que tiene que soportar la fachada durante su vida útil. Por lo general basta con un posible gradiente térmico de 100°C.

> **Los materiales se calientan en base a la temperatura ambiente, dependiendo de la estación del año y la zona climática, más el incremento debido a la incidencia directa de la luz solar (ver CTE DB-SE AE):**

Para elementos expuestos a la intemperie, como temperatura mínima se adoptará la extrema del ambiente. Como temperatura máxima en verano se adoptará la extrema del ambiente incrementada debido al efecto de la radiación solar, según la tabla 3.7

**Tabla 3.7. Incremento de temperatura debido a la radiación solar**

| Orientación de la superficie | Color de la superficie |       |        |
|------------------------------|------------------------|-------|--------|
|                              | Muy claro              | Claro | Oscuro |
| Norte y Este                 | 0 °C                   | 2 °C  | 4 °C   |
| Sur y Oeste                  | 18 °C                  | 30 °C | 42 °C  |

Por lo tanto, la orientación de la fachada y el color del revestimiento también son factores a tener en cuenta a la hora de dimensionar el tamaño de esta junta.

Se puede ver un ejemplo de cálculo de este efecto en el siguiente capítulo. También puede ser que el material tenga capacidad de absorber agua / humedad e incrementar su volumen. Un cálculo similar al térmico debe realizarse entonces para tener también en cuenta este posible incremento dimensional.

➤ **Tolerancias de fabricación/mecanización del material:** la fabricación y horneado de materiales cerámicos tiene unas tolerancias, el corte por CNC de los materiales metálicos o fenólicos, otras totalmente diferentes. Hay que tenerlo en cuenta.

➤ **Tolerancias de montaje:** por muy profesional que sea el equipo de montadores, es posible que una junta proyectada de 15 mm acabe siendo de 12-13 mm. Por lo tanto, si se precisa un mínimo de 15 mm para el buen funcionamiento de la fachada, quizás lo más correcto sea proyectar una junta de 20 mm para que en ningún caso sea menor de los 15 mm que se necesitan.

➤ **Sistema:** a veces un sistema registrable o tipo SG exige un mínimo de junta per se.

Por lo general, se puede considerar que una junta tanto horizontal como vertical de fachada ventilada debe tener una anchura igual o superior a 10 mm, debiéndose analizar cada caso concreto.

### 4.4.3 Aperturas de entrada y salida de aire

Son las que determinan el tipo de ventilación de la cámara (CTE DB HE). De esto dependen los posteriores cálculos de transmitancia térmica (U) del sistema de fachada.

➤ **Cámara de aire estanca / no ventilada:** aperturas superior e inferior <500 mm<sup>2</sup>/m en horizontal (equivale a una junta corrida horizontal de 0'5 mm; cualquier fachada ventilada con juntas abiertas supera y por lo tanto incumple este criterio).

➤ **Cámara de aire muy ventilada:** aperturas superior e inferior >1500 mm<sup>2</sup>/m en horizontal. Cualquier fachada ventilada con una junta abierta (en horizontal) superior a 1'5 mm ya se considera que tiene una cámara de aire muy ventilada. Por lo tanto, la gran mayoría de las fachadas ventiladas que se instalan en España tienen esta misma consideración.

La EAD 090062-00-0404 impone otro criterio para considerar las fachadas como ‘ventiladas’: que las aperturas de aire superior e inferior sean al menos de 50 cm<sup>2</sup> por metro lineal en horizontal. Eso equivale a una junta corrida superior e inferior mayor o igual a 5 mm.

Los ensayos en prototipos reales no obstante demuestran que la existencia de juntas horizontales abiertas en una fachada ventilada provoca el mismo efecto que las aperturas inferior y superior. Por lo tanto, no es necesario por así decirlo que existan unas aperturas específicas en la parte superior e inferior de una fachada para que se considere ventilada, si las juntas horizontales son abiertas.

## 4.5 Aislamiento

### 4.5.1 Dimensionado

Existen varios tipos de aislamientos térmicos para dar respuesta a los requerimientos normativos de una fachada ventilada.

Dependiendo de la transmitancia térmica a cumplir y la conductividad térmica del material aislante se debe dimensionar su espesor. Los aislamientos plásticos, como el PIR y el PUR, tienen conductividades térmicas más bajas que el resto de aislantes, en cambio, están clasificados en la zona de materiales de menor seguridad en cuanto a reacción al fuego. Si las exigencias al fuego son elevadas, se deben utilizar materiales aislantes más seguros, con clasificación al fuego A1 y A2 (como, por ejemplo, la lana de roca y la lana de vidrio).

La cantidad y tipología de aislantes existentes en el mercado es muy grande:

| Producto                             | Conductividad térmica, $\lambda$ [ W / (m·K) ] |
|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| Poliuretano (PUR)                    | 0'022 - 0'028                                  |
| Poliisocianurato (PIR)               | 0'021 - 0'028                                  |
| Poliestireno extruido (XPS)          | 0'033 - 0'036                                  |
| Poliestireno expandido (EPS)         | 0'034 - 0'046                                  |
| Lana de vidrio                       | 0'032 - 0'040                                  |
| Lana de roca                         | 0'034 - 0'039                                  |
| Productos ligeros reflectantes (PLR) | 0'012 - 0'025                                  |
| Celulosa                             | 0'037 - 0'040                                  |
| Fibras de madera                     | 0'037 - 0'040                                  |
| Geotextiles                          | 0'028 - 0'034                                  |
| Aerogeles                            | 0'012                                          |
| Paneles de aislante al vacío (VIP)   | 0'007                                          |

Tipología y características  
de aislantes (valores  
aproximados). Fuente:  
elaboración propia.

Una vez elegido el material, y conociendo la resistencia térmica necesaria para esa capa del sistema constructivo, se puede obtener de una manera sencilla el espesor necesario.

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

$$R_{TOT} = R_{SE} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{SI}$$

Siendo R la resistencia térmica y  $\lambda$  el coeficiente de conductividad térmica (ver ejemplo en el capítulo siguiente).

Además, cada tipo de aislamiento tiene unas características técnicas que aportan a la fachada diferentes ventajas: aislamiento acústico, permeabilidad, impermeabilidad, resistencia al fuego, durabilidad, etc. Es importante determinar las necesidades de la fachada ventilada y elegir aquel aislamiento que aporte mayor valor a la fachada, teniendo en cuenta las exigencias y el diseño de la misma.

## 4.6 Compartimentación de la cámara

### Vertical (a lo alto)

➤ Desde el punto de vista de la propagación del fuego a través de la cámara:

- Normativa española, s/CTE DB SI
- Normativas varias de otros países, en algunas zonas de España y la prudencia recomiendan la instalación de barreras cortafuegos (o 'cavity barriers') en cada paso de forjado.

➤ A nivel térmico, y siempre desde el punto de vista de refrigeración, lo ideal es compartimentar lo más posible la fachada verticalmente. Si se tiene una entrada y también una salida de aire en cada forjado, se tienen muchas entradas de aire fresco. Esto permite que el aire en su ascenso se vaya reciclando y por lo tanto enfriando. Si por el contrario la fachada ventilada no tuviese ninguna compartimentación vertical en toda su altura, a partir de cierto punto la radiación emitida por la hoja exterior sobrecalentada hacia el interior de la cámara habría calentado tanto el aire ascendente que casi estaría a la misma temperatura que la hoja externa, disminuyendo por lo tanto drásticamente el efecto refrigerador buscado.

En climas fríos (o invierno), o en fachadas no expuestas al sol, esta compartimentación no aporta ni resta nada a nivel térmico.

### Horizontal (en planta)

Su principal razón es evitar la propagación del fuego lateralmente a través de la cámara. Los materiales de los elementos utilizados para la compartimentación han de cumplir los mismos requisitos que los empleados para la compartimentación vertical, ya descritos en el punto anterior.

### Vertical y horizontal

Aparte de por las ventajas evidentes ya explicadas en los apartados anteriores (reducir/ralentizar la propagación del fuego, mejoras térmicas en fachada soleadas, etc.), la compartimentación tanto en vertical como en horizontal permite una rápida y mejor ecualización de presiones cuando la carga de viento golpea la fachada. De esta forma se disminuye la carga resultante que actúa sobre el revestimiento u hoja exterior (la presión/succión exterior se transmite a la cámara a través de las juntas, y un tamaño de compartimentación de cámara pequeño permite que

se compense rápidamente presión/succión interior y exterior, 'igualando' por lo tanto la carga que afecta a la hoja exterior desde ambos lados). Este efecto permite calcular la hoja exterior y su subestructura con una carga inferior a la de proyecto (aunque hay que ser muy cuidadoso con esto, y realizar cálculos y ensayos que lo corroboren antes de construir un edificio con estas suposiciones), y además minimiza la posible entrada de agua debida a la diferencia de presiones (serían muy similares dentro-fuera y eso no provoca que el agua quiera entrar a través de las juntas).

### Esquinas

El objetivo es controlar que no haya corrientes de aire por el interior de la cámara que puedan afectar en los cálculos de viento.

El cálculo de la hoja exterior de una fachada ventilada y su subestructura se hace considerando el 100% de la carga característica de viento calculada según el CTE DB SE-AE, e incluso se puede rebajar un poco (estando totalmente seguro y realizando algún ensayo previo) si la cámara está bastante compartimentada, como ya se ha visto antes.

Pero esto suponiendo que las esquinas estén compartimentadas, ya que de no ser así el aire que entra a presión en la zona de esquina puede ser atraído por la succión creada en la cara contigua, creando una corriente muy potente no deseada. Por supuesto, a nivel de propagación de fuego también ayuda.

## 4.7 Casos particulares

### 4.7.1 Industrializada

El primer condicionante obvio aparejado al diseño de una solución modular no puede ser otro que el tamaño del módulo (y sus variantes), que viene determinado por:

- > El diseño estético de la propia fachada (huecos, material de revestimiento y sus formatos, etc.).
- > Limitaciones de transporte.
- > Limitaciones de manipulación e instalación del módulo con determinados medios auxiliares.
- > Limitaciones mecánicas ante las acciones que solicitan el módulo (peso máximo, dimensionado de montantes y travesaños, etc.).
- > Diseño de juntas. A mayor tamaño del módulo más rápida es la ejecución en obra y menos son los metros lineales de juntas en la obra, la parte más sensible de los sistemas industrializados.
- > Fases y tiempo de ejecución en obra.
- > Presupuesto. La obra industrializada, por norma general sale ligeramente más cara que la tradicional, si la comparamos con la edificación residencial

estándar en altura que más se construye en España, pese a los ahorros en tiempo (aunque por otro lado hay que recordar que se mejoran estándares de calidad). Sin embargo, el mayor desafío de las obras industrializadas a día de hoy es compatibilizarlo con la tradición de financiación de proyectos de la manera tradicional, basada en la instalación de m<sup>2</sup> en obra, mientras que en la construcción industrializada el grueso de la inversión y el tiempo son previos a la producción de m<sup>2</sup> instalados in situ.

La característica fundamental del sistema modular viene definida por qué parte del cerramiento se resuelve con el propio módulo y qué parte queda resuelta con operaciones posteriores. En ese sentido, se dan dos situaciones:

- Sistemas modulares que resuelvan enteramente el cerramiento, tanto su parte ciega (acabado en fachada ventilada) como sus huecos, incluidos. Esta resolución integral del cerramiento con los módulos es lo que consiguen la mayoría de fachadas *unitized* en el mundo del muro cortina, donde los módulos por sí mismos resuelven todas las condiciones prestacionales exigibles al cerramiento (térmicas, acústicas, resistentes, estanqueidad, etc.). Esto es más difícil de lograr en el tipo de fachadas objeto del Manual.



**Figura 186.**

**Ejemplo de sistema  
de fachada modular.  
Proyecto Kap West en  
Munich, Alemania.**

- Es habitual que tras la instalación de los módulos se requieran fases de obra posteriores, necesarias para acabar la solución de cerramiento. Esto suele ser necesario principalmente para poder llegar a las características de acabados y acordes a los edificios residenciales. Por tanto, se necesita, seguramente, realizar una o las dos actuaciones posteriores siguientes:



- Levantar de manera interna un trasdosado para conseguir un nivel de acabado acorde con los estándares habituales en residencial (radicalmente distintos a los de edificios de oficinas, por ejemplo).
- Revestir los módulos una vez instalados con los paneles de la fachada ventilada, no incluidos en los mismos inicialmente.

Una razón para proceder de esta manera es necesitar un espesor de juntas pequeñas (el habitual entre paneles de fachada ventilada) en toda la fachada. Es evidente que las juntas entre módulos de un sistema industrializado son mayores que las de los revestimientos de fachada ventilada. O bien se juega con el diseño para poder asumirlo estéticamente, o bien se procede a instalar a posteriori los paneles con un nivel de ajuste y de juntas más reducido.

Un brillante ejemplo del diseño de fachada industrializada para vivienda, acabado con revestimientos de fachada ventilada es el proyecto Rue de Meaux Housing de París (1987-1991), obra de Renzo Piano. La fabricación de módulos complejos de GRC a modo de bandeja resuelve estéticamente la compatibilidad de todos los elementos (juntas entre módulos y juntas entre placas de fachada de cerámica extruida, inclusión de huecos en el módulo, etc.).

En esta ocasión, las placas de fachada ventilada se colocaban a posteriori en unos relieves incluidos en el propio módulo, compatibles con la extrusión de las *terracottas*. Otras acciones a posteriori eran levantar un trasdosado (que se fijaba directamente al módulo, simplificando su estructura) y la colocación de las carpinterías.



**Figura 187.**  
**Rue de Meaux Housing**  
**de París (1987-1991),**  
**obra de Renzo Piano.**

Evidentemente, cuantas menos operaciones posteriores se realicen tras la instalación de los módulos, mayor es la eficiencia de producción en obra y más se aprovechan todos los beneficios de la industrialización (rapidez, estándares de calidad, etc.).

Como es evidente, las posibilidades de diseño de módulos son infinitas, dependiendo de formatos, sistemas, materiales y capas que puede incluir el mismo. Se requiere, por tanto, una importante labor del diseñador para garantizar el cumplimiento del nivel de prestaciones exigible, seguramente mediante la combinación de diferentes sistemas y kits comerciales con soluciones desarrolladas *ad hoc*.

El diseño particular de todos los elementos de fachada ventilada incluidos en el módulo se ajusta a lo descrito a lo largo de este Manual. El diseño del resto del módulo es algo que entra dentro de una casuística enorme. Es posible encontrar mucha más información al respecto en el Manual de Fachadas Ligeras desarrollado por ASEFAVE, en particular en su capítulo 6.2 Fachadas modulares (fachadas “unitized”).

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo puede funcionar estructuralmente una combinación de un sistema de fachada ventilada con un sistema *unitized*. Se reitera que es solo un tipo de solución entre la infinidad de soluciones que pueden llegar a desarrollarse.

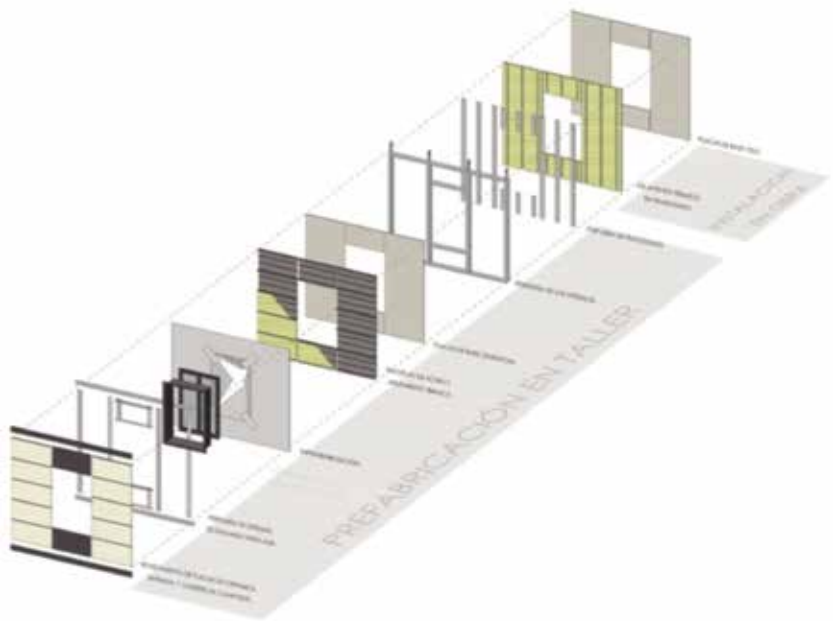


Figura 188.

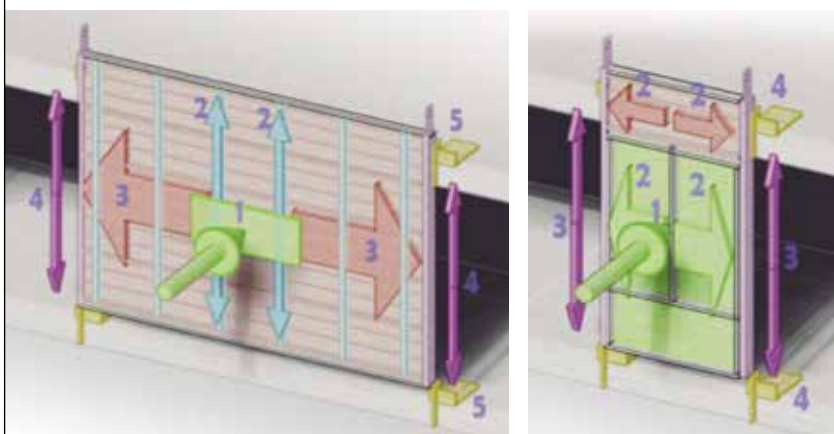
Sistema industrializado.

En los módulos ciegos, las placas de fachada ventilada reciben las cargas de presión y succión de viento (1) y las transmiten a su sistema de perfilería vertical (2). Este sistema descansa en este caso sobre unas bandejas de acero que reparten las cargas de manera unidireccional (3) hacia los extremos laterales, hacia los montantes del módulo (4), que a su vez las transmiten a los dos anclajes de muro cortina a los que están fijados (5). Dos travesaños terminan de cerrar el módulo arriba y abajo, haciendo posible la constitución de un marco junto con los travesaños para su manipulación y estabilidad. Los montantes incluyen en su parte superior los elementos de izado que hacen las veces de mechas de unión entre módulos. Tanto los montantes como los travesaños, además de cumplir la función estructural

explicada, deben resolver la junta entre módulos, encajando con los aledaños y contando con las debidas gomas o sistemas de estanqueidad.

En cuanto a las cargas de peso, la secuencia es igual (1-2-3-4-5), con la salvedad de que el peso de cada módulo descansa sobre los anclajes superiores, en los que se ha ejecutado la nivelación.

Los huecos pueden encontrarse incluidos a través de embrochalamiento de montantes y travesaños dentro de un mismo módulo, o constituir módulos independientes.



**Figura 189.**

**Sistema industrializado.**

El siguiente es un ejemplo de obra de rehabilitación que permitió instalar las fachadas en un tiempo rápido, fabricando los elementos en las mejores condiciones en taller para ofrecer una mejor garantía del producto acabado. Cada apartamento tenía cuatro módulos, dos en la fachada principal y dos más en la posterior. En solo 2 días de trabajo y de molestias a los inquilinos se consigue una envolvente totalmente acabada. Para ello se utilizó una subestructura ligera de madera con un sistema de adhesivo estructural y panel compacto HPL.



**Figura 190.**

**Proyecto de  
Rehabilitación en  
Heerlen, Holanda. 492  
apartamentos.**

# CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LA FACHADA VENTILADA

5

## 5.1 Cálculo estructural

### 5.1.1 Acciones

Para el cálculo de una fachada ventilada se consideran fundamentalmente las acciones que se listan a continuación, siendo la carga de viento y la de peso propio las de mayor importancia en magnitud.

#### a) Dimensionado

##### > Carga de viento (según el CTE DB SE-AE)

(\*) **NOTA IMPORTANTE:**

- > Todos los valores de todas las tablas se pueden interpolar para obtener los valores intermedios.
- > Las cargas de viento siempre se supone que actúan de forma perpendicular al revestimiento de fachada.

La presión unitaria de viento, en Pa o N/m<sup>2</sup>, se calcula con la siguiente metodología:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

$q_b$  = presión dinámica del viento [N/m<sup>2</sup>] =

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2$$

$\delta$  = densidad del aire = 1,25 kg/m<sup>3</sup>

$v_b$  = velocidad básica del viento [m/s].

Puede obtenerse del siguiente mapa:



Para comprobaciones de **estados límite de servicio** (cálculo de flechas/deformaciones), la velocidad básica puede modificarse con los coeficientes de la siguiente tabla según el periodo de retorno considerado.

**Tabla D.1.- Corrección de la velocidad básica en función del periodo de servicio**

| Periodo de retorno (años) | 1    | 2    | 5    | 10   | 20   | 50   | 200  |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Coefficiente corrector    | 0,41 | 0,78 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,08 |

$C_e$  = coeficiente de exposición. Depende de la altura del punto considerado y de la aspereza/rugosidad del entorno.

Para alturas inferiores o iguales a 30 m el valor se puede obtener de la siguiente tabla:

**Tabla 3.4.- Valores del coeficiente de exposición  $C_e$**

| Grado de aspereza del entorno                                                                                        | Altura del punto considerado (m) |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                                                                                                      | 3                                | 6   | 9   | 12  | 15  | 18  | 24  | 30  |
| <b>I</b> Borde de mar o un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud. | 2,4                              | 2,7 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,7 |
| <b>II</b> Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia.                                             | 2,1                              | 2,5 | 2,7 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 3,5 |
| <b>III</b> Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas.   | 1,6                              | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,9 | 3,1 |
| <b>IV</b> Zona urbana en general, industrial o forestal                                                              | 1,3                              | 1,4 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,2 | 2,4 | 2,6 |
| <b>V</b> Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura                                 | 1,2                              | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,9 | 2,0 |

En el caso de edificios situados en las cercanías de acantilados o escarpas de pendiente mayor de 40°, la altura se mide desde la base de dichos accidentes topográficos. Si el acantilado o escarpa tiene más de 50 m, se debe realizar un estudio específico (túnel de viento, CFD, etc.).

Para edificios de más de 30 m, pero no mayores de 200 m, se ha de utilizar el siguiente procedimiento, siendo  $z$  la altura sobre el terreno.

$$C_e = F \cdot (F + 7 \cdot k)$$

$$F = k \cdot \ln (\max (z, Z) / L)$$

siendo  $k$ ,  $L$  y  $Z$  parámetros característicos de cada tipo de entorno:

**Tabla D.2.- Coeficientes para tipo de entorno**

| Grado de aspereza del entorno                                                                                        | Parametro |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|-------|
|                                                                                                                      | K         | L (m) | Z (m) |
| <b>I</b> Borde de mar o un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud. | 0,156     | 0,003 | 1,0   |



| Grado de aspereza del entorno                                                                                      | Parametro |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|-------|
|                                                                                                                    | K         | L (m) | Z (m) |
| <b>II</b> Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia.                                           | 0,17      | 0,01  | 1,0   |
| <b>III</b> Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como arboles o construcciones pequeñas. | 0,19      | 0,05  | 2,0   |
| <b>IV</b> Zona urbana en general, industrial o forestal                                                            | 0,22      | 0,3   | 5,0   |
| <b>V</b> Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura                               | 0,24      | 1,0   | 10,0  |

Para el caso de edificios de altura superior a 200 m, se ha de realizar un estudio específico (túnel de viento, CFD, etc.).

$c_p$  = coeficiente eólico. Depende de la dirección relativa del viento, de la forma del edificio, de la posición del elemento considerado dentro de las diferentes fachadas y de su área.

En cerramientos tipo muro cortina, paneles industriales o carpintería de ventanas este coeficiente está compuesto por la suma vectorial del coeficiente de presión exterior ( $c_{pe}$ ) y el coeficiente de presión interior ( $c_{pi}$ ).

$$C_p = C_{pe} + C_{pi}$$

En las fachadas ventiladas, si se tiene la cámara medianamente compartimentada (en vertical con los perfiles montantes, en horizontal cada 10m tal y como indica el CTE, y en las esquinas para evitar las turbulencias y permitir el funcionamiento esperado de la corriente vertical de aire en las fachadas con soleamiento), no es necesario incluir el coeficiente de presión interior en los cálculos.

Lógicamente al haber un espacio de aire tras el revestimiento exterior, se tiene una presión / succión de viento en él, pero dadas las características de este tipo de fachadas, y su mayor o menor compartimentación, siempre actúa favorablemente, compensando la carga de viento exterior en mayor o menor medida.

$$C_{pE} > C_{pE} - C_{pIa}$$

Obviarla es calcular del lado de la seguridad, y como su estimación es complicada, simplemente se tiene en cuenta sabiendo que se calcula conservadoramente.

El coeficiente de presión exterior puede calcularse con el siguiente método:

$$C_{pe,A} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \cdot \log_{10}A$$

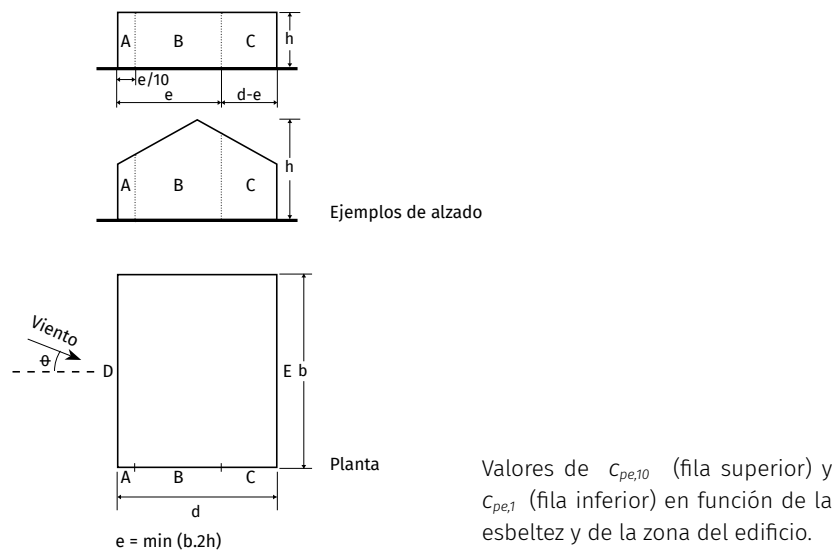
La variable A es el área de influencia del elemento o punto considerado. Para el cálculo de un panel, A es el área del panel. Para el cálculo de un perfil vertical de subestructura, A sería el área de fachada soportada por ese perfil.

Para áreas de influencia iguales o superiores a 10 m<sup>2</sup>  $C_{pe} = C_{pe,10}$

Para áreas de influencia iguales o menores a 1 m<sup>2</sup>  $C_{pe} = C_{pe,1}$

El signo negativo en los coeficientes, indica succión exterior. El signo positivo indica presión exterior.

**Tabla D.3.- Parámetros verticales**



| A<br>(m <sup>2</sup> ) | h/d         | Zona (según figura), $-45^\circ < 0 < 45^\circ$ |      |      |     |      |
|------------------------|-------------|-------------------------------------------------|------|------|-----|------|
|                        |             | A                                               | B    | C    | D   | E    |
| $\geq 10$              | 5           | -1,2                                            | -0,8 | -0,5 | 0,8 | -0,7 |
|                        | 1           | "                                               | "    | "    | "   | -0,5 |
|                        | $\geq 0,25$ | "                                               | "    |      | 0,7 | -0,3 |
| $\geq 1$               | 5           | -1,4                                            | -1,1 | -0,5 | 1,0 | -0,7 |
|                        | 1           | "                                               | "    | "    | "   | -0,5 |
|                        | $\geq 0,25$ | "                                               | "    | "    | "   | -0,3 |

$h/d$  es la esbeltez del edificio en la dirección paralela al viento, siendo  $h$  la altura del edificio y  $d$  la longitud de la planta del edificio en la dirección del viento, tal y como puede verse en el dibujo.

Se está realizando un cálculo-tipo suponiendo un edificio de volumen prismático, por lo tanto, con planta rectangular. Esto implica que la esbeltez en sus dos ejes principales es diferente → Lo mismo ocurre con los coeficientes de presión exterior.

Por lo tanto, siempre que se calculen las acciones de viento sobre un edificio de estas características, hay que realizar el estudio por duplicado, considerando que el viento sople tanto por un lado como por cualquiera de sus laterales.

**EJEMPLO:** cálculo de una fachada ventilada TRASVENTILADA, con la cámara compartimentada en las esquinas. La placa tiene una modulación de 2350 x 4000 mm.

Descripción del edificio:

- > Torre BBVA en Bilbao (centro de ciudad, zona 4)
- > Altura: 95 m
- > Base: 40 m x 21 m
- > Modulación: 2350 mm x 4000 mm

## 1.- Cálculo de viento según CTE

Se utiliza el DB SE AE del CTE.

Es una acción variable pero que se aplica como presión estática.

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

$$C_p = C_{pi} + C_{pe}$$

### A.- Presión dinámica, $Q_b$

$$q_e = 0'5 \cdot \delta \cdot v_b^2$$

$$\delta = \text{densidad del aire} = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

Observación: cerca del mar o donde hay mucha probabilidad de rocío, la densidad del aire puede ser mayor, por lo que se recomienda consultar a los institutos meteorológicos.

$$v_b = \text{valor básico de la velocidad del viento}$$

Depende de la zona eólica (A, B o C). Bilbao zona C  $\rightarrow v_b = 29 \text{ m/s}$

$$q_b = 0'5 \cdot \delta \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \text{ kg/m}^3 \cdot (29 \text{ m/s})^2 = 525,63 \text{ N/m}^2 [\text{Pa}]$$

### B.- Coeficiente de exposición, $C_e$

Al ser el edificio mayor de 30m, se calcula con el Anejo D del DB SE AE (si midiese más de 200 m o tuviese una esbeltez  $h/d > 5$ , túneles de viento).

$$C_e = F \cdot (F + 7 \cdot k)$$

$$F = k \cdot \ln(\max(z, Z)/L)$$

Se supone zona 4 (centro de ciudad)

$$k = 0,22; L(\text{m}) = 0,3; Z(\text{m}) = 5$$

La  $z$  minúscula es el punto medio del último módulo sobre el que se quiere calcular el viento. En este caso, como la fachada ventilada llega hasta la cota máxima del edificio y los módulos miden en altura 4000 mm, se puede coger:

$$z = 95000 \text{ mm} - (4000 \text{ mm} / 2) = 93 \text{ m}$$

Si no se desea afinar tanto se puede tomar  $z = 95 \text{ m}$

$$F = k \cdot \ln\left(\frac{\max(z, Z)}{L}\right) = 0,22 \ln\left(\frac{\max(95, 5)}{0,3}\right) = 0,22 \ln \frac{95}{0,3} = 1,27$$

$$C_e = 1,27 (1,27 + 7 \cdot 0,22) = 3,57$$

### C.- Coeficiente de presión exterior (o eólico), $C_{pe}$

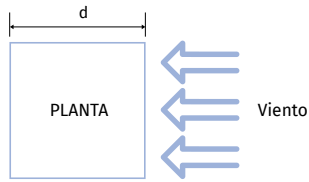
Es función del área de influencia sobre el que se quiere aplicar la carga de viento, en este caso, una modulación de la fachada ventilada (2350 mm x 4000 mm).

$$C_{pe,A} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \cdot \log A \text{ para } 1 \leq A \leq 10 \text{ m}^2$$

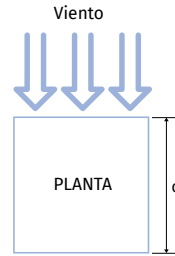
En este caso,  $A = 2,35 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 9,4 \text{ m}^2 \rightarrow \text{ok}$

Por ser planta rectangular y exigir la reglamentación una comprobación en al menos 2 direcciones perpendiculares, hay que estudiar dos casos:

I.



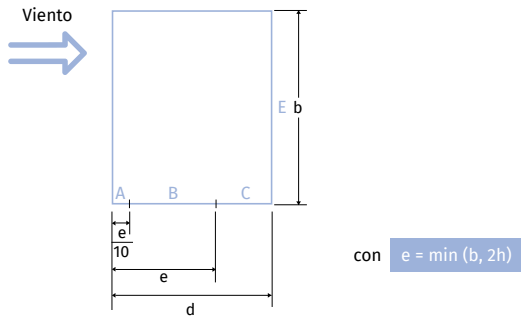
II.



**Caso I.** Esbeltez =  $h/d = 95 / 21 = 4,52$  ( $h$  = altura del edificio)



De la norma se obtiene la distribución de zonas y lo que mide cada una:



**NOTA.** El Eurocódigo establece como  $A \ e/5$

Para el caso I:

$d = 21 \text{ m}$

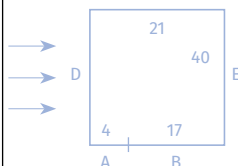
$b = 40 \text{ m}$

$e = \min(40, 2 \cdot 95) = 40 \text{ m}$ ;  $e/10 = 40 / 10 = 4 \text{ m}$

Por lo tanto, la zona de esquina A mide 4 m

Como  $e = 40 \text{ m} > d = 21 \text{ m}$ , **no existe zona C para el caso I**

La zona B mide  $21 \text{ m} - 4 \text{ m} = 17 \text{ m}$



Se calculan ahora los valores usando la tabla del DB SE AE.

Para la zona A:  $C_{pe, 9,4}^A = -1,4 + (-1,2 - (-1,4)) \log_{10} 9,4 = -1,21$

Para la zona B:  $C_{pe, 9,4}^B = -1,1 + (-0,8 - (-1,1)) \log_{10} 9,4 = -0,81$

Para la zona D:  $C_{pe, 9,4}^D = +1,0 + (0,8 - 1) \log_{10} 9,4 = 0,81$

Para la zona E:  $C_{pe, 9,4}^E =$  No es función del área

Hay que interpolar:

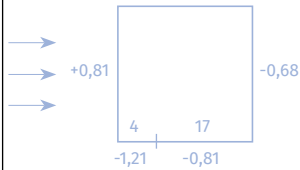
$h/d = 5 \rightarrow C_{pe}^E = -0,7$

$h/d = 1 \rightarrow C_{pe}^E = -0,5$

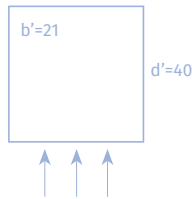
para  $h/d = 4,52$  entonces:

$$C_{pe}^E = -0,5 + (4,52-1) \cdot \frac{-0,7 - (-0,5)}{5-1} = -0,68$$

Queda, por tanto:



Caso II. Esbeltez' =  $h / d' = 95 / 40 = 2,38$



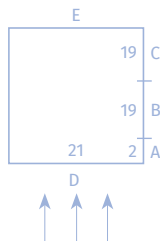
Ahora  $e' = \min(b', 2h) = \min(21, 2 \cdot 95) = 21$  m

La zona de esquina será:

$A = e'/10 = 21/10 = 2,1$  aprox. 2

La zona B =  $e' - e'/10 = 21-2 = 19$  m

Y la zona C =  $d' - e' = 40 - 21 = 19$  m



Para la zona A:  $C_{pe, 9,4}^A = -1,4 + (-1,2 - (-1,4)) \log_{10} 9,4 = -1,21$

Para la zona B:  $C_{pe, 9,4}^B = -1,1 + (-0,8 - (-1,1)) \log_{10} 9,4 = -0,81$

Para la zona D:  $C_{pe, 9,4}^D = +1,0 + (0,8 - 1) \log_{10} 9,4 = 0,81$

Para la zona E:  $C_{pe, 9,4}^E =$  se vuelve a interpolar = -0,57

Hay que interpolar:

$h/d = 5 \rightarrow C_{pe}^E = -0,7$

$h/d = 1 \rightarrow C_{pe}^E = -0,5$

para  $h/d = 2,38$  entonces:

$$C_{pe}^E = -0,57$$

→ coeficiente de presión interior,  $C_{pi}$ :

Es un concepto más utilizado para el cálculo de muros cortina. Hace referencia a la posible diferencia de presión existente entre el interior y el exterior de un edificio.

En el caso de las fachadas ventiladas, no tiene del todo sentido ya que la hoja interior se encarga de soportar esta posible diferencia de presión.

No obstante, sí podría haber una diferencia de presión entre el exterior y la cámara de la fachada ventilada, que debería sumarse/restarse de la acción actuante del viento.

Por lo general, y siempre que la cámara en las esquinas entre diferentes fachadas esté compartimentada (cerrada) y siempre que se tengan juntas abiertas, se puede considerar que la presión dentro de la cámara tiende a igualar a la exterior, pero con signo contrario, por lo que compensa por el interior la carga recibida por el exterior.

Para el caso de fachadas trasventiladas, la operativa es, por así decirlo, 'obviar' esta compensación, ya que ni es muy relevante ni es fácil de calcular, y de esta forma se trabaja del lado de la seguridad.

Para el caso de fachadas compartimentadas, aquí la compensación sí puede ser relevante (las compartimentaciones tienen un volumen de aire mucho más pequeño y que puede ecualizarse con la suficiente rapidez como para que el efecto pueda ser tenido en cuenta). Hay que realizar algún cálculo o ensayo que permita justificar cuánto se puede reducir la carga que llega por el exterior al ser compensada por la presión/succión ecualizada desde el interior de la cámara.

Por lo general, obviar el  $C_{pi}$  y considerar que el 100% de la carga de proyecto afecta a la fachada ventilada es correcto (siempre que la cámara esté cerrada en las esquinas y no haya paso de aire entre una cara y otra del edificio).

Por lo tanto,  $C_p = C_{pe}$  en este caso..

Y las cargas de viento para las diferentes zonas calculadas son:

$$q_e^A = 525,63 \text{ Pa} \times 3,57 \times (-1,21) = -2271 \text{ Pa}$$

$$q_e^B = 525,63 \text{ Pa} \times 3,57 \times (-0,81) = -1520 \text{ Pa}$$

$$q_e^C = 525,63 \text{ Pa} \times 3,57 \times (-0,5) = -939 \text{ Pa}$$

$$q_e^D = 525,63 \text{ Pa} \times 3,57 \times (0,81) = 1520 \text{ Pa}$$

$$q_e^E \text{ (esbeltez } 4,52) = 525,63 \text{ Pa} \times 3,57 \times (-0,68) = -1276 \text{ Pa}$$

$$q_e^E \text{ (esbeltez } 2,38) = 525,63 \text{ Pa} \times 3,57 \times (-0,57) = -1070 \text{ Pa}$$

Los resultados con signo negativo indican succión, los positivos presión.

### > **Carga térmica (consideración de dilataciones)**

La carga térmica como tal no es interesante tener que considerarla. Es mucho más interesante calcular/dimensionar cuánto y hacia dónde se dilatarán los diferentes componentes del sistema de fachada, y liberar esas restricciones en las uniones.



Coeficientes de dilatación (f) de los principales materiales que forman parte de una fachada ventilada:

- > Aluminio:  $24 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- > Acero:  $12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- > Piedra:  $3 \text{ a } 8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- > Cerámica:  $4'8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- > Hormigón polímero:  $13'4 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- > Sinterizado:  $6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- > Fenólico (HPL):  $18 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Esto significa, por ejemplo, que, por cada  $100^\circ\text{C}$  de incremento térmico, un metro de aluminio se elonga  $2'4 \text{ mm}$ . Igual para el resto de los materiales.

Si la temperatura baja  $50^\circ\text{C}$ , un metro de aluminio se acortará  $1'2 \text{ mm}$ .

Es importante conocer qué temperatura pueden alcanzar los elementos de una fachada expuesta al sol. Para ello tenemos la siguiente tabla del CTE DB SE-AE:

**Tabla 3.7.- Incremento de temperatura debido a la radiación solar**

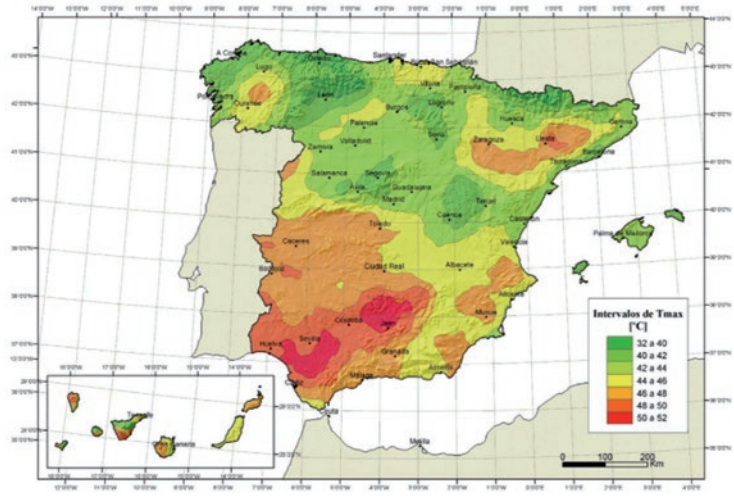
| Orientación de la superficie | Color de la superficie       |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                              | Muy claro                    | Claro                        | Oscuro                       |
| Norte y Este                 | $0 \text{ } ^\circ\text{C}$  | $2 \text{ } ^\circ\text{C}$  | $4 \text{ } ^\circ\text{C}$  |
| Sur y Oeste                  | $18 \text{ } ^\circ\text{C}$ | $30 \text{ } ^\circ\text{C}$ | $42 \text{ } ^\circ\text{C}$ |

Estos son los incrementos de temperatura que hay que añadir a las máximas de verano de la zona en la que esté situada el edificio.

Las temperaturas máximas y mínimas de cada zona se obtienen del CTE DB SE-AE:

- 1
- El valor característico de la temperatura máxima del aire, depende del clima del lugar y de la altitud. A falta de datos empíricos más precisos se podrá formar, independientemente de la altitud, igual al límite superior del intervalo reflejado en el mapa de la figura E.1.

**Figura E.1.**  
**Isotermas de la**  
**temperatura anual**  
**máxima del aire**  
**( $T_{\text{max}}$  en  $^\circ\text{C}$ ).**



2 Como valor característico de la temperatura del aire exterior, puede tomarse la de la tabla E.2. en función de la altitud del emplazamiento, y la zona climática invernla, según el mapa de la figura E.3.

Tabla E.1.- Temperatura mínima del aire exterior (°C)

| Altitud (m) | Zona de clima invernla (según figura E.2.) |     |     |     |     |     |     |
|-------------|--------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|             | 1                                          | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 0           | -7                                         | -11 | -11 | -6  | -5  | -6  | 6   |
| 200         | -10                                        | -13 | -12 | -8  | -8  | -8  | 5   |
| 400         | -12                                        | -15 | -14 | -10 | -11 | -9  | 3   |
| 600         | -15                                        | -16 | -15 | -12 | -14 | -11 | 2   |
| 800         | -18                                        | -18 | -17 | -14 | -17 | -13 | 0   |
| 1.000       | -20                                        | -20 | -19 | -16 | -20 | -14 | -2  |
| 1.200       | -23                                        | -21 | -20 | -18 | -23 | -16 | -3  |
| 1.400       | -26                                        | -23 | -22 | -20 | -26 | -17 | -5  |
| 1.600       | -28                                        | -25 | -23 | -22 | -29 | -19 | -7  |
| 1.800       | -31                                        | -28 | -25 | -24 | -32 | -21 | -8  |
| 2.000       | -33                                        | -28 | -27 | -26 | -35 | -22 | -10 |

Figura E.2.  
Zonas climáticas de  
invierno.



Tabla 3.8.- Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

| Capital          | Altitud (m) | S <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup> | Capital         | Altitud (m) | S <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup> | Capital        | Altitud (m) | S <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup> |
|------------------|-------------|----------------------------------|-----------------|-------------|----------------------------------|----------------|-------------|----------------------------------|
| Albacete         | 690         | 0.6                              | Castellón       | 0           | 0.2                              | Jaén           | 570         | 0.4                              |
| Alicante/Alacant | 0           | 0.2                              | Ciudad Real     | 640         | 0.6                              | León           | 820         | 1.2                              |
| Almería          | 0           | 0.2                              | Córdoba         | 100         | 0.2                              | Lérida/Lleida  | 150         | 0.5                              |
| Ávila            | 1.130       | 1.0                              | Coruña/A Coruña | 0           | 0.3                              | Logroño        | 380         | 0.6                              |
| Badajoz          | 180         | 0.2                              | Cuenca          | 1.010       | 1.0                              | Lugo           | 470         | 0.7                              |
| Barcelona        | 0           | 0.4                              | Gerona/Girona   | 70          | 0.4                              | Madrid         | 660         | 0.6                              |
| Bilbao/Bilbo     | 0           | 0.3                              | Granada         | 690         | 0.5                              | Málaga         | 0           | 0.2                              |
| Burgos           | 860         | 0.6                              | Guadalajara     | 680         | 0.6                              | Murcia         | 40          | 0.2                              |
| Cáceres          | 440         | 0.4                              | Huelva          | 0           | 0.2                              | Orense/Ourense | 130         | 0.4                              |
| Cádiz            | 0           | 0.2                              | Huesca          | 470         | 0.7                              | Oviedo         | 230         | 0.5                              |

| Capital                | Altitud (m) | S <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup> |
|------------------------|-------------|----------------------------------|
| Palencia               | 740         | 0.4                              |
| Palma de Mallorca      | 0           | 0.2                              |
| Las Palmas             | 0           | 0.2                              |
| Pamplona/Iruña         | 450         | 0.7                              |
| Pontevedra             | 0           | 0.3                              |
| Salamanca              | 780         | 0.5                              |
| San Sebastián/Donostia | 0           | 0.3                              |

| Capital   | Altitud (m) | S <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup> |
|-----------|-------------|----------------------------------|
| Santander | 0           | 0.3                              |
| Segovia   | 1.000       | 0.7                              |
| Sevilla   | 10          | 0.2                              |
| Soria     | 1.090       | 0.9                              |
| Tarragona | 0           | 0.4                              |
| Tenerife  | 0           | 0.2                              |
| Teruel    | 950         | 0.9                              |

| Capital           | Altitud (m) | S <sub>k</sub> kN/m <sup>2</sup> |
|-------------------|-------------|----------------------------------|
| Toledo            | 550         | 0.5                              |
| Valencia/València | 0           | 0.2                              |
| Valladolid        | 690         | 0.4                              |
| Vitoria/Gasteiz   | 520         | 0.7                              |
| Zamora            | 650         | 0.4                              |
| Zaragoza          | 210         | 0.5                              |
| Ceuta y Melilla   | 0           | 0.2                              |

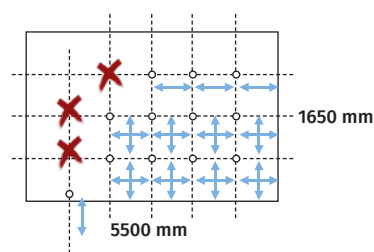
Hay que tener en cuenta, por lo tanto, la temperatura mínima del invierno, y la máxima de verano más el incremento por soleamiento dependiendo del color y la zona de instalación del elemento en cuestión. Dependiendo entonces de en qué fecha y a qué temperatura se va a realizar la instalación, o mejor aún, para asegurar, teniendo en cuenta el gradiente total entre la máxima y mínima temperaturas posibles para esa fachada, se determinan los elementos necesarios para permitir estas dilataciones; por lo general agujeros rasgados - colisos- en elementos con una dimensión predominante (barras, perfiles, etc.) y agujeros sobredimensionados en elementos planos fijados por tornillos/remaches (placas de revestimiento).

Lo ideal para facilitar este movimiento es que los conectores utilizados para la unión (tornillos, remaches) sean especiales para no sobrepasar el par de apriete que, por rozamiento, impida una libre dilatación de los elementos conectados.

**EJEMPLO:** se supone un panel composite con pieles de aluminio, acabado oscuro en la cara vista, y modulación horizontal 5500 x 1650 mm. El sistema de fijación será mediante remaches a una subestructura de montantes verticales. El panel estará colocado en una fachada orientación sur de un edificio en construcción en Bilbao.

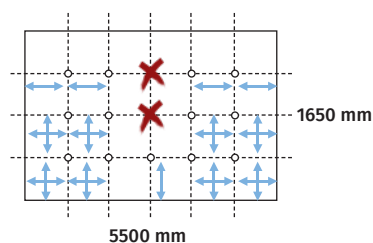
Se tienen dos opciones de colocación de los puntos fijos, y por lo tanto de consideración de las dilataciones:

#### A. Opción punto fijo en esquina



Longitud H a considerar: 5500 mm  
Longitud V a considerar: 1650 mm

#### B. Opción punto fijo en centro



Longitud H a considerar: 5500/2 = 2750 mm  
Longitud V a considerar: 1650 mm

Según la figura E1, la temperatura máxima del aire en verano en Bilbao es de 42°C.

Se observa en la figura E2 que Bilbao se encuentra en zona climática de invierno 1.

Se ve en la tabla 3.8 Sobrecarga de nieve, que la altitud de Bilbao sobre el nivel del mar es de 0m.

Por lo tanto, se considera una temperatura mínima en invierno de -7°C.

Tal y como se puede ver en la tabla 3.7, al ser un panel de acabado oscuro y colocado en fachada sur, el incremento de temperatura debido a la radiación solar puede llegar a 42°C.

Se tiene por lo tanto una posible temperatura máxima en el panel en verano de  $42 + 42 = 84^{\circ}\text{C}$ , y una posible temperatura mínima de  $-7^{\circ}\text{C}$ .

El gradiente máximo posible es, por lo tanto,  $84 - (-7) = 91^{\circ}\text{C}$ .

Si se considera la forma de fijación con el punto fijo en el centro (opción B) la distancia a considerar en las dilataciones horizontales es 2750 mm, y en vertical 1650 mm.

$$\Delta L_H = \alpha \cdot L \cdot \Delta T = 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot 2750 \cdot 91 = 6 \text{ mm}$$

$$\Delta L_V = \alpha \cdot H \cdot \Delta T = 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot 1650 \cdot 91 = 3,6 \text{ mm}$$

Estas son las máximas dilataciones/contracciones posibles del panel en horizontal y vertical, si se instalase según la opción B en el más frío invierno o durante un caluroso verano.

#### > **Carga de nieve**

No aplica. Si es  $\pm 15^{\circ}$  respecto de la vertical, la nieve no se puede posar en la fachada.

### b) **Acciones accidentales**

#### > **Sismo**

Deben considerarse en aquellas zonas del territorio nacional incluidas en las Norma Sismorresistente NCSE 2002, como incremento de esfuerzos en todas direcciones.

### c) **Acciones accidentales**

#### > **Carga de peso (revestimiento exterior)**

El del aislante no se considera ya que, aparte de que su densidad es muy pequeña, se suele fijar directamente mediante fijaciones especiales a la hoja interior pesada.

La carga de peso propio a considerar, por lo tanto, depende principalmente del material de revestimiento utilizado. Para conocer su peso se necesita primero la densidad exacta del material; lo ideal es pedir al fabricante del mismo la ficha técnica de su producto.

Por lo general el dato suele darse en  $\text{kg/m}^2$ .

A continuación, se adjuntan unos valores típicos (para un cálculo exacto se recomienda confirmar con el proveedor):

> Panel composite, pieles de aluminio, núcleo PE:  $5 \text{ kg/m}^2$

> Panel composite, pieles de aluminio, núcleo FR:  $8 \text{ kg/m}^2$

> Panel composite, pieles de aluminio, núcleo A2:  $9 \text{ kg/m}^2$

> Panel honeycomb, espesor 14 mm, pieles de aluminio de 0'7 mm:  $5 \text{ kg/m}^2$

- > Panel honeycomb, espesor 40 mm, pieles de aluminio de 1'0 mm: 8 kg/m<sup>2</sup>
- > Chapa maciza de aluminio (espesor 3 mm): 8'1 kg/m<sup>2</sup>
- > Chapa maciza de acero (espesor 2 mm): 15'6 kg/m<sup>2</sup>
- > Panel de piedra (espesor 15 mm): 40 kg/m<sup>2</sup>
- > Panel HPL: 6 mm 8,4 kg/m<sup>2</sup> y 8 mm 11,4 kg/m<sup>2</sup>

También se puede considerar para la actuación sobre los elementos de fijación de la subestructura al forjado/estructura primaria el peso de esta subestructura, pero por lo general es despreciable en comparación con las cargas de viento o el peso del material de revestimiento.

**EJEMPLO:** se tiene una fachada de piedra con una modulación vertical de 1250x2000 mm. El espesor de las placas es de 30 mm. La densidad de la piedra, 2500 kg/m<sup>3</sup>.

Se calcula primero la densidad por m<sup>2</sup> (densidad superficial) de la piedra de 30 mm de espesor:

$$30 \text{ mm} = 30 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\delta \text{ superficial} = 2500 \text{ kg/m}^3 \times (30 \times 10^{-3} \text{ m}) = 75 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{El área de una placa es } 1250 \text{ mm} \times 2000 \text{ mm} = 1'250 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 2'5 \text{ m}^2$$

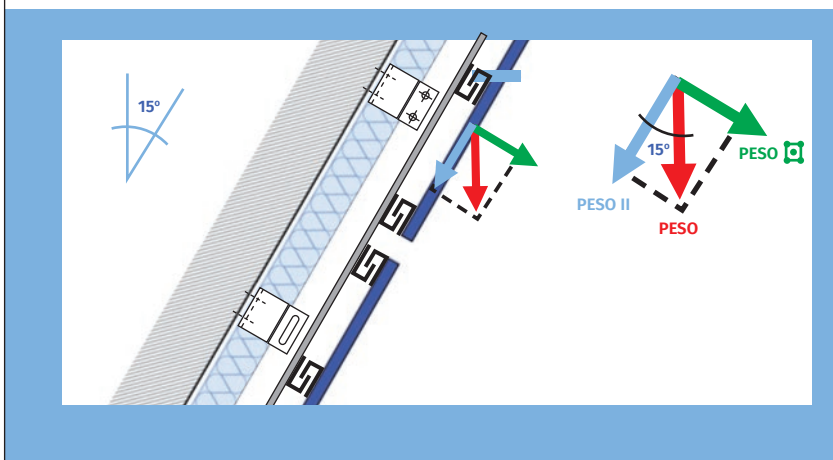
$$\text{Peso placa} = \text{área} \times \delta \text{ superficial} = 2'5 \text{ m}^2 \times 75 \text{ kg/m}^2 = 187'5 \text{ kg}$$

## > **Inclinación**

Se considera fachada ligera a todo aquel cerramiento que mantenga una inclinación respecto a la vertical de  $\pm 15^\circ$  (norma UNE-EN 13830).

Por lo tanto, hay casos en los que peso y viento actúan 'independientemente', y otros en los que la inclinación hace que parte del peso se combine con el viento en su actuación perpendicular sobre el revestimiento. Esta combinación se obtiene directamente por trigonometría.

**EJEMPLO:** se considera la piedra del ejemplo anterior, con una densidad superficial de 75 kg/m<sup>2</sup>, instalada en una fachada ventilada con inclinación de 15°.



La componente de peso  $\parallel$  (paralela) al panel es:  $75 \text{ kg/m}^2 \times \cos 15^\circ = 72'4 \text{ kg/m}^2$

La componente de peso  $\perp$  (perpendicular) al panel es:  $75 \text{ kg/m}^2 \times \sin 15^\circ = 19'4 \text{ kg/m}^2$ .

Por lo tanto, para el dimensionamiento de los componentes del sistema que trabajen en la dirección paralela a la fachada se considera  $72'4 \text{ kg/m}^2$ , y para los que trabajen en la dirección perpendicular se tiene que combinar la presión/succión de viento con los  $19'4 \text{ kg/m}^2$  recién calculados.

Hay que recordar que las cargas de viento siempre actúan en la dirección perpendicular al plano de fachada, independientemente de su inclinación.

### 5.1.2 Hipótesis de cálculo

Se ha visto por lo tanto que para la mayoría de las fachadas ventiladas basta con tener en cuenta la acción del viento y la del peso propio del material de revestimiento.

La combinación y mayoración de estas cargas sigue los dictados del documento CTE DB SE.

#### a) Estado Límite de Servicio (ELS)

Ambas cargas actúan simultáneamente sobre la fachada, con su valor característico.

#### b) Estado Límite último (ELU)

Ambas cargas actúan simultáneamente sobre la fachada, con su valor de diseño. Para tal efecto, se mayor el viento (acción variable) por el coeficiente parcial de seguridad  $\gamma = 1,5$ . Y la acción de peso propio (acción permanente), por  $\gamma = 1,35$ .

## 5.2 Cálculo de componentes

### 5.2.1 Hoja Exterior

#### a) Cálculo de la placa

La placa ha de calcularse para los Estados Límites de Servicio (criterio de flecha), y evitar así deformaciones grandes que puedan incomodar - asustar al usuario del edificio o al viandante (confort). También se limitan así grandes vibraciones que puedan provocar fallos por fatiga o resonancia (cuando la frecuencia de algún elemento de fachada es similar a la del viento).

Además, también se debe calcular, bajo cargas mayoradas, a rotura / deformación plástica permanente según el criterio de Estados Límite Últimos (criterio de tensiones).

El cálculo de la placa como tal no es sencillo. Existen métodos manuales que, mediante fórmulas, permiten el cálculo de paneles apoyados en dos o cuatro lados de forma continua, pero la realidad es que las fijaciones de las placas situadas en fachada pocas veces presentan estas condiciones de contorno.



Lo más normal es que las fijaciones en una placa de revestimiento sean a través de elementos puntuales (botas de cuelgue, remaches para los paneles composite; clips o garras remachadas por el interior en el caso de los paneles honeycomb; grapas puntuales que se introducen en las aristas mecanizadas de las placas de piedra, etc.) o lineales (hormigón polímero, cerámica, etc.).

Y no hay fórmulas sencillas para el cálculo de un elemento placa fijado con este tipo de restricciones. Por lo tanto, normalmente es necesario utilizar softwares de elementos finitos (FEM).

Además, salvo en el caso en que se utilicen revestimientos de materiales macizos y con propiedades mecánicas muy claras y conocidas, es necesario que el fabricante haya caracterizado estos productos previamente, a través de ensayos en laboratorios especializados.

Es por ello que, por lo general, sólo el fabricante de un producto tiene claras sus propiedades y su comportamiento real frente a cargas, por lo que es el encargado –y responsable– de cuantificar el número y tipo de fijaciones necesarias para sustentar su producto en fachada bajo unas determinadas sollicitaciones. Es frecuente encontrar tablas para determinar su aptitud.

## b) Cálculo de la fijación de la placa a la subestructura

Como ya se ha comentado antes, el abanico de fijaciones entre la placa y la subestructura es muy grande, y depende en gran medida de la hoja exterior utilizada.

Igual que se ha comentado en el apartado anterior, la mayoría de estas fijaciones son específicas para cada material, y por lo general es el fabricante de la hoja exterior el que mejor las conoce y las tiene calculadas y ensayadas. Y es por lo tanto el encargado de recomendar la tipología más adecuada para cada proyecto, y el número necesario para la dimensión de placa y para las cargas específicas.

Si esta fijación es a través de una pieza intermedia, fijada a su vez a la subestructura, es también el fabricante de la hoja exterior por lo general el que recomienda o prescribe el sistema y cantidad de fijaciones entre ambos elementos.

## 5.2.2 Subestructura

### a) Subestructura formada por perfilería

#### > Montantes

#### Perfilería vertical:

Es el sistema de subestructura más utilizado en fachadas ventiladas.

Por lo general y como ya se ha visto en apartados anteriores, estos montantes son de extrusión de aluminio, y se fijan a la hoja interior mediante ménsulas. La hoja exterior cuelga de ellos a través de unas fijaciones que suelen ser específicas para cada tipo de material.

#### > Cargas perpendiculares a la fachada. Reparto de carga por montante

Contrariamente a lo que se piensa, el reparto de las cargas por montante en una fachada ventilada no es similar al que se realiza en un muro cortina, por poner un ejemplo. Sí lo es para una placa de revestimiento que sea soportada por dos montantes, uno a cada lado.

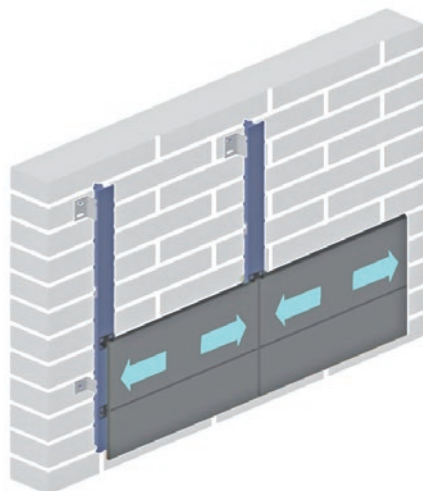
Cuando la placa de revestimiento se soporta por dos montantes (uno a cada lado), cada montante se lleva la mitad de la carga de viento soportada por la placa. En

estos casos, cada montante sostiene dos mitades de placa, por lo que soporta la carga de viento correspondiente a cada media placa.

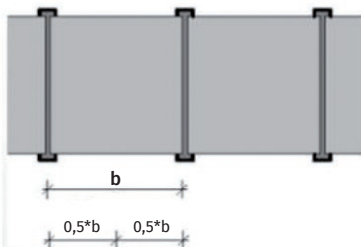
En cambio, cuando la placa se soporta por tres o más montantes, el reparto no es uniforme por geometría, debido al momento longitudinal generado en la placa. Algo similar al reparto de cargas en las vigas continuas con varios apoyos.

Para tener este efecto en cuenta, y sin entrar en complejas verificaciones, se pueden considerar los gráficos siguientes:

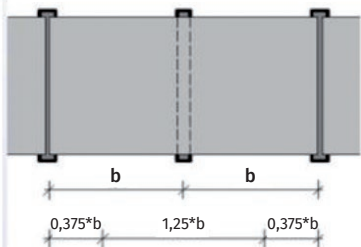
**Figura 191.**  
**Distribución de carga**  
**de viento en Fachada**  
**Ventilada con perfilera**  
**vertical.**



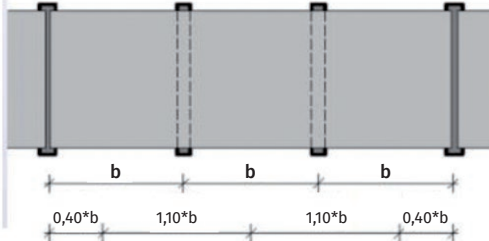
**i=1**



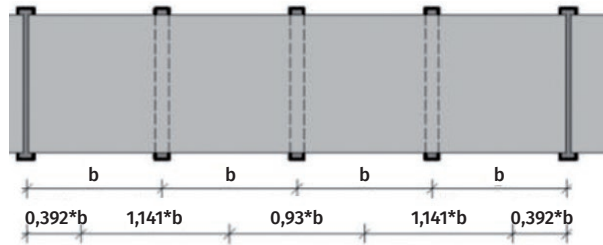
**i=2**



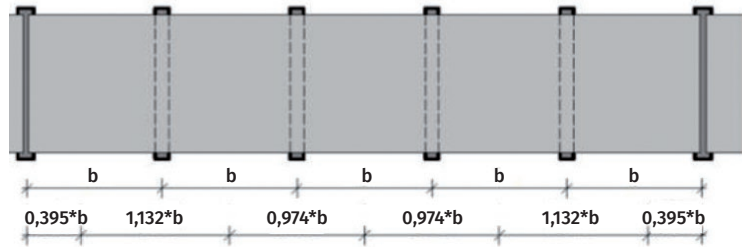
**i=3**



i=4



i=5



i=6

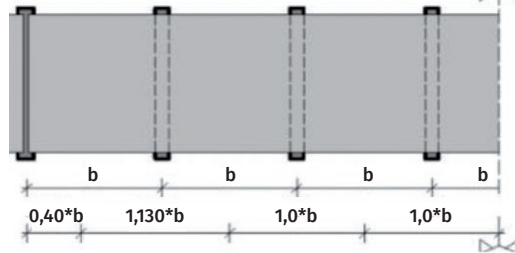
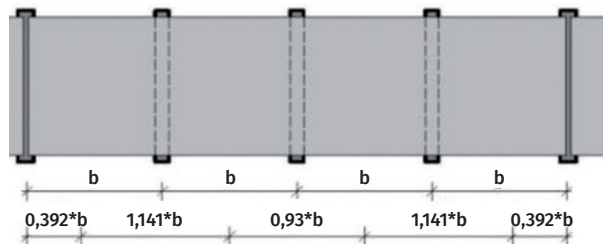


Figura 192.  
Gráficos.

**EJEMPLO:** se tiene un panel de 4800x1250mm, modulación horizontal, sujeto por 5 montantes verticales (2 en los laterales y 3 en la parte central). La carga de viento a la que está sometido el panel son 2300 Pa. Suponiendo que el panel se encuentra ‘pegado’ completamente a los perfiles verticales, calcular la carga lineal que llega a cada montante.

Se parte del gráfico que pondera este caso:

i=4



Por lo tanto, para repartir la carga de superficie hay que obtener en primer lugar la distancia entre montantes, b:

$$b = 4800 \text{ mm} / 4 = 1200 \text{ mm} = 1'2 \text{ m}$$

2300 Pa equivalen a 2300 N/m<sup>2</sup>.

Sobre los montantes laterales actúan  $2300 \text{ N/m}^2 \times 0'392 \times 1'2 \text{ m} = 1082 \text{ N/m}$  (carga uniforme lineal).

Si como es esperable, ese montante se comparte con otros paneles contiguos a izquierda y derecha, con la misma modulación y número de montantes que el caso que se está estudiando, entonces se debe multiplicar por dos la carga recién calculada.

Carga total sobre montantes laterales =  $1082 \times 2 = 2164 \text{ N/m}$

Sobre el montante central actúan  $2300 \text{ N/m}^2 \times 0'93 \times 1'2 \text{ m} = 2567 \text{ N/m}$

Sobre los dos montantes restantes,  $2300 \text{ N/m}^2 \times 1'141 \times 1'2 \text{ m} = 3149 \text{ N/m}$

### > Cálculo de ELS - Cargas perpendiculares a la fachada (viento)

Se obvian las cargas de peso de la hoja exterior para este requisito. No es necesario incluirlas.

Para la comprobación a flecha la norma de producto UNE-EN 13830 establece lo siguiente:

**Tabla 5.7.- Resistencia a la carga de viento**

La fachada ligera debe ensayarse según la Norma EN 12179. Actuando solo las cargas de viento impuestas, la flecha máxima frontal (d) de los perfiles de la fachada ligera no debe superar los siguientes límites:

$$> d \leq L/200, \text{ si } L \leq 3.000 \text{ mm}$$

$$> d \leq 5 \text{ mm} + L/300, \text{ si } 3.000 \text{ mm} < L < 7.500 \text{ mm}$$

$$> d \leq L/250, \text{ si } L \leq 7.500 \text{ mm}$$

L es la medida entre los puntos de apoyo o anclajes a la estructura del edificio.

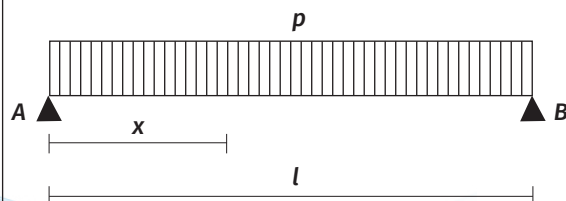
Además, deben tenerse en cuenta los límites permitidos de deformación del relleno (por ejemplo, unidad de vidrio aislante, piedra, etc.)

Por lo tanto, una vez calculadas y aplicadas las cargas que transmite la fachada al montante, y dependiendo la longitud de éste, del número de ménsulas por montante y del vano mínimo existente, se verifica si la flecha obtenida cumple con los requisitos normativos.

Para vanos iguales entre ménsulas y cargas uniformemente distribuidas, se pueden buscar fórmulas teóricas en prontuarios. Para distribuciones de ménsulas arbitrarias y fijaciones placa-montante separadas más de ~500 mm (la hipótesis de sustituir las cargas puntuales por carga distribuida ya no aplica), lo más sencillo es realizar los cálculos con un programa de estática de vigas en 2D.

**Figura 193.**

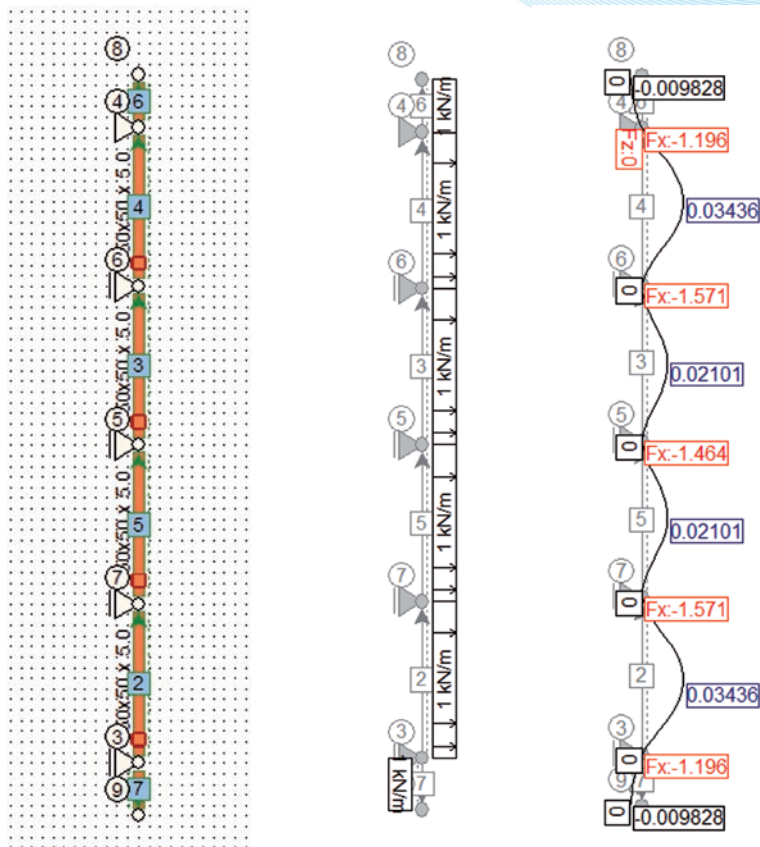
**Ejemplo de prontuario de flecha en viga biapoyada con carga distribuida.**



Flecha máxima:

$$f_{\text{máx}} = \frac{5pl^4}{384EI} \quad \text{para } x = \frac{l}{2}$$

Figura 194.  
Ejemplo de cálculo de  
montante con 5 apoyos  
mediante software de  
cálculo de barras 2D.



### > Cálculos de ELU - Cargas perpendiculares (viento) y longitudinales al perfil montante (peso)

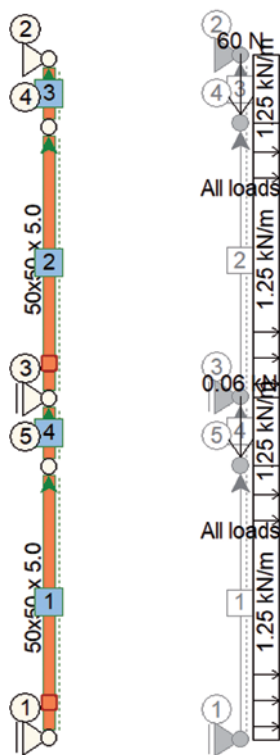
Para el cálculo de tensiones hay que tener en cuenta tanto las cargas de viento como las de peso.

Es importante señalar que mientras que las cargas de viento se reparten como ya se ha visto antes, y actúan 'más o menos' uniformemente sobre los diferentes apoyos de la placa, las de peso por lo general sólo se transmiten entre la placa y los montantes verticales a través de DOS puntos. O en el caso de los materiales pétreos – cerámicos, a veces a través de todo el perfil inferior. Hay que tener claro, por lo tanto, cómo funciona el soporte de peso de cada sistema de instalación antes de calcular la subestructura.

Se muestra a continuación un ejemplo típico (para otros casos, se debe consultar al fabricante).

**EJEMPLO:** se dispone de una fachada de composite con núcleo FR (peso:  $8 \text{ kg/m}^2$ ), sistema de instalación cassette. La modulación es horizontal ( $1000 \times 750 \text{ mm}$ ) y la configuración de subestructura la que se ve en los dibujos que se muestran a continuación. El montante es de aluminio extruido, aleación EN AW 6063 T5, y las características geométricas del perfil son:  $A = 4'589 \text{ cm}^2$ ,  $I_{xx} = 16'94 \text{ cm}^4$  y  $W_{xx} = 6'788 \text{ cm}^3$ .

Figura 195.  
Modelo y cargas  
aplicadas sobre el  
montante estudiado.



Este tipo de software permite, por lo general, aplicar los coeficientes de mayoración de carga en una tabla específica, de forma que permite analizar en el mismo cálculo el resultado para cargas características (flechas, ELS) y para cargas de diseño (tensiones, ELU):

Tabla de casos y  
combinaciones de carga.

|              | Limite state   | Fi creep/Skew/Critical | G         | Q         |
|--------------|----------------|------------------------|-----------|-----------|
| Duration --> | -              | -                      | Permanent | Permanent |
| ULT. p&t G+Q | Ultimate       |                        | 1.350     | 1.500     |
| ES G+Q/ser   | Serviceability |                        | 1.000     | 1.000     |

Los resultados obtenidos son los siguientes:

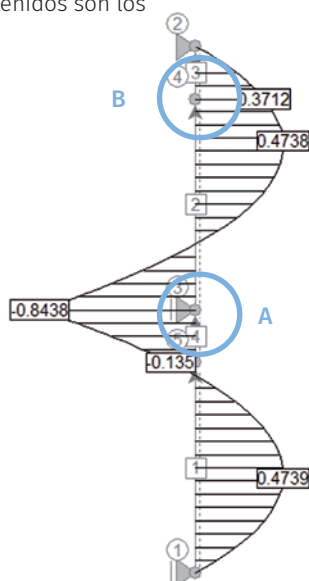
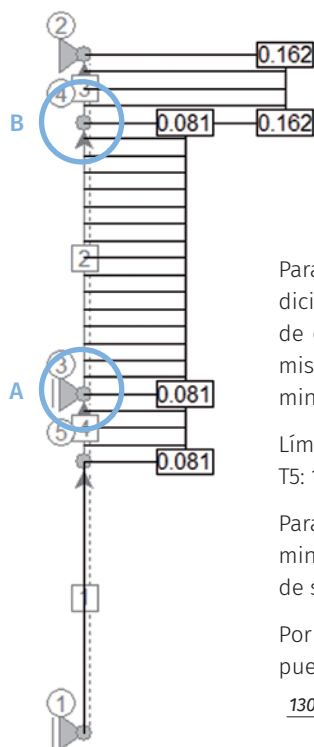


Figura 196.  
Momentos flectores  
[kNm] bajo carga  
de viento de diseño  
(mayorada).





**Figura 197.**  
**Esfuerzos axiales [kN]**  
**bajo carga de peso de**  
**diseño (mayorada).**

Para que el perfil, bajo las cargas aplicadas y las condiciones de apoyo descritas, se considere válido, ha de cumplirse que las tensiones que aparezcan en el mismo no superen el límite elástico de diseño del aluminio utilizado para la fabricación del montante.

Límite elástico característico del aluminio EN AW 606 T5: 130 N/mm<sup>2</sup>

Para las comprobaciones de ELUs en secciones de aluminio, el Eurocódigo 9 establece un coeficiente parcial de seguridad  $\gamma_{M1}$  1,10

Por lo tanto, las tensiones resultantes del cálculo no pueden superar:

$$\frac{130 \text{ N/mm}^2}{1,10} = 118 \text{ N/mm}^2$$

En las gráficas de momentos flectores y tensiones axiales resultados se detecta que hay dos puntos que se deben comprobar: aquél con el momento máximo (A), y aquél con el axil máximo (B).

Se obtienen las tensiones en ambos puntos debidas al momento y al axil, se suman y se comparan con la admisible (118 N/mm<sup>2</sup>).

**Importante:** no hay que olvidar que ambos efectos suceden a la vez y por eso se han de considerar siempre en conjunto. El esfuerzo axil debido al peso se mantiene en el perfil montante durante toda su vida útil, y por lo tanto hay que añadirlo a las tensiones generadas por el viento cuando éste presione/succione.

Punto con el momento flector máximo (A):

$$\sigma = \frac{M_x}{W_{xx}} = \frac{0,8438 \text{ kNm}}{6,788 \text{ cm}^3} = \frac{843800 \text{ Nmm}}{6788 \text{ mm}^3} = \frac{124 \text{ N}}{\text{mm}^2} > \frac{118 \text{ N}}{\text{mm}^2} \rightarrow \text{NOK}$$

Solamente con las tensiones generadas por los momentos flectores, el perfil no cumple. Se cambia entonces el temple de la aleación y se pide fabricar de EN AW 6063 T6;  $f_o = 190 \text{ N/mm}^2$ .

Se aplica el coeficiente de seguridad parcial:

$$\frac{190 \text{ N/mm}^2}{1,10} = \frac{173 \text{ N}}{\text{mm}^2} > 124 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Se añaden ahora las tensiones debidas al esfuerzo axial en ese punto (A):

$$\sigma = \frac{\text{Axil}}{\text{Área}} = \frac{0,081 \text{ kN}}{4,589 \text{ cm}^2} = \frac{81 \text{ N}}{458,9 \text{ mm}^2} = \frac{0,18 \text{ N}}{\text{mm}^2} < \frac{173 \text{ N}}{\text{mm}^2} \rightarrow \text{OK}$$

Como puede verse, y tal y como se comentó anteriormente, salvo para materiales de hoja exterior muy pesados o montantes muy débiles, en la mayoría de los cálculos de fachadas ventiladas el peso propio del panel + sistema se puede obviar.

Se considera no obstante un peso por demás de subestructura, accesorios, etc. del 30% del panel.

La tensión total debido al peso es:

$$0,18 \text{ N/mm}^2 \times 130\% = 0,23 \text{ N/mm}^2$$

Ya se ha visto que por separado las tensiones debidas al momento flector y al peso del sistema no superan la tensión minorada de límite elástico. Se suman ahora ambas tensiones obtenidas para confirmar que el total tampoco lo hace, y validar, por lo tanto, el perfil en este punto (sección) A:

$$124 \text{ N/mm}^2 + 0,23 \text{ N/mm}^2 = 124,23 \text{ N/mm}^2 < 173 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Se repiten ahora ambas las comprobaciones para el punto (sección) B.

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{F}{A}$$

Primero se obtiene la tensión debida al momento flector:

$$\sigma = \frac{Mx}{W_{xx}} = \frac{0,3712 \text{ kNm}}{6,788 \text{ cm}^3} = \frac{371200 \text{ Nmm}}{6788 \text{ mm}^3} = 55 \text{ N/mm}^2 < 173 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Ahora la debida al esfuerzo axil:

$$\sigma = \frac{Axil}{\text{Área}} = \frac{0,162 \text{ kN}}{4,589 \text{ cm}^2} = \frac{162 \text{ N}}{458,9 \text{ mm}^2} = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

Se añade una estimación de peso debida a la subestructura (130%):

$$0,35 \text{ N/mm}^2 \times 130\% = 0,46 \text{ N/mm}^2 < 173 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

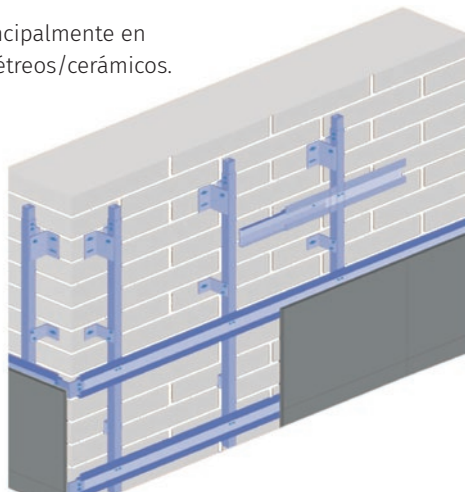
Por último, se realiza la suma de ambas y se compara:

$$55 \text{ N/mm}^2 + 0,46 \text{ N/mm}^2 = 55,46 \text{ N/mm}^2 < 173 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Por lo tanto, se puede considerar válido el montante de las características geométricas consideradas, pero siempre que se cambie la aleación de su aluminio de extrusión de EN AW 6063 T5 a EN AW 6063 T6.

### Perfilería vertical y horizontal:

Utilizada principalmente en elementos pétreos/cerámicos.



**Figura 198.**

**Distribución de carga  
de viento en Fachada  
Ventilada con perfilaría  
de montantes verticales  
y horizontales.**

En este caso hay que calcular por separado la parte horizontal de la vertical.

La perfilería vertical ya se ha indicado cómo calcularla en el apartado anterior. En este caso simplemente hay que ver las reacciones que la perfilería horizontal transmite a la vertical, y aplicarlas sobre ésta como acciones. Tal y como se ha comentado anteriormente, si la distancia entre los perfiles horizontales es superior a 500 mm, no se puede considerar su influencia en los verticales como si fuese una carga uniformemente repartida, y hay que aplicar puntualmente la reacción que transmite cada perfil horizontal al vertical, y calcular el sistema resultante en un software de cálculo de barras 2D.

Para el cálculo de la horizontal se deben llevar a cabo las siguientes comprobaciones:

#### Cálculo de ELS - Cargas perpendiculares a la fachada (viento)

Se realizan las mismas comprobaciones que para el caso de perfilería vertical, pero tanto para los perfiles verticales como para los horizontales.

#### Cálculo de ELS - Cargas paralelas a la fachada (peso)

Aquí hay que tener en cuenta cómo se soporta el peso en cada sistema y material utilizado. En base a eso, debe cumplirse la restricción que aplica la norma UNE-EN 13830 para esta circunstancia:

#### Tabla 5.6.- Resistencia al peso propio

El peso propio debe calcularse según la Norma EN 1991-1-1, teniendo en cuenta los parámetros pertinentes determinados en cada país donde se instale la fachada.

La deformación máxima de cualquier perfil horizontal principal (travesaño) frente a las cargas verticales no debe superar  $L/500$  y debe evitarse cualquier contacto entre el travesaño y el panel de relleno, asegurando una ventilación adecuada y el drenaje del panel de relleno si es necesario.

NOTA 1: L es la longitud del elemento horizontal del perfil medido entre sus puntos de apoyo.

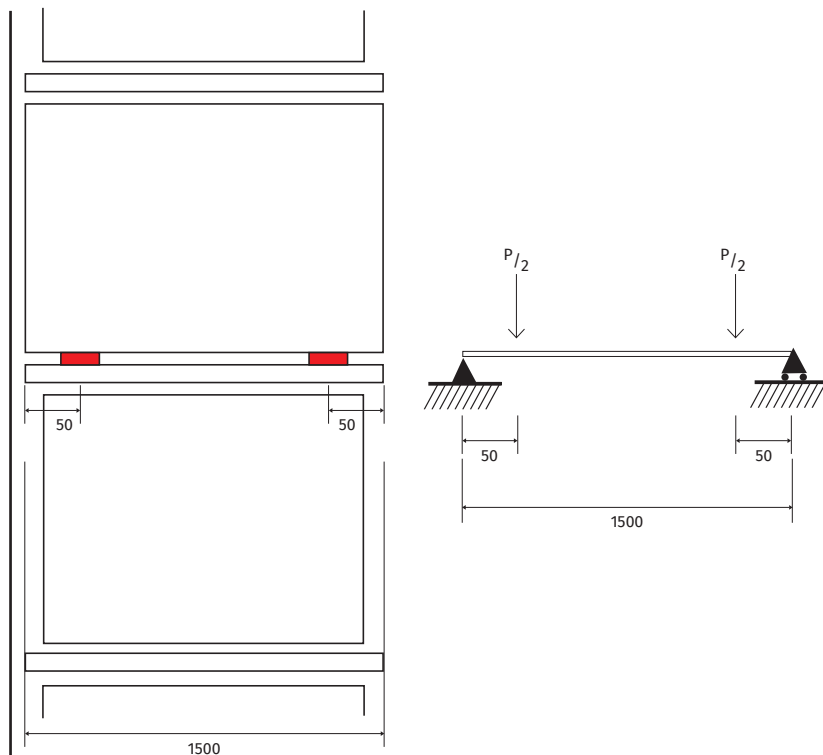
NOTA 2: El perfil puede deformarse dentro de unos límites distintos de los antes mencionados en función del tipo de material de relleno (vidrio, unidades de vidrio aislante, piedra, etc.).

Tal y como ocurre en el caso de la perfilería vertical, para situaciones 'simples' (perfilería horizontal biapoyada y peso repartido equitativamente entre dos apoyos puntuales), se pueden utilizar fórmulas de prontuario para realizar este cálculo.

En caso de no ser así, se deben modelizar las condiciones de contorno de la forma más fidedigna posible en un software de cálculo de barras en 2D.

**EJEMPLO:** se tiene una fachada de aplacado cerámico, espesor 25 mm, modulaciones de las piezas 1500 x 750 mm. La distancia entre montantes verticales es de 1500 mm, y entre ellos cada 750 mm se colocan unos perfiles en horizontal que soportan, aparte de la carga de viento, el peso del panel inmediatamente superior. El peso

se transmite a través de dos calzos puntuales, colocados a 50 mm de cada extremo del perfil. La densidad del material cerámico es de  $2400 \text{ kg/m}^3$ . Las propiedades del perfil, refiriendo como siempre los valores que trabajan en la dirección de viento como 'eje X' y en la dirección del peso 'eje Y' son:  $A = 4'582 \text{ cm}^2$ ,  $I_{xx} = 11'22 \text{ cm}^4$ ,  $W_{xx} = 4'487 \text{ cm}^3$ ,  $I_{yy} = 2'413 \text{ cm}^4$ ,  $W_{yy} = 2'413 \text{ cm}^3$ . La extrusión se realiza en aluminio EN AW 6063 T6 ( $f_o = 190 \text{ N/mm}^2$ ).



**Figura 199.**  
**Ejemplo de cálculo.**

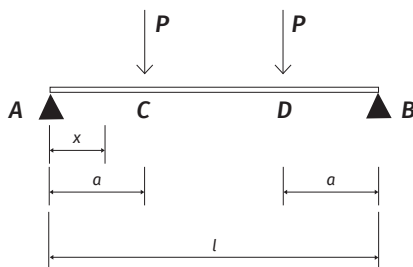
Según la norma UNE-EN 13830, la flecha máxima para esta configuración es  $L/500 = 1500\text{mm} / 500 = 3 \text{ mm}$ .

El peso del panel es:

$$1500 \text{ mm} \times 750 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} = 28125000 \text{ mm}^3 = 28'125 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$P = V \times d = 28'125 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 67'5 \text{ kg} = 675 \text{ N}$$

Para este caso se puede aplicar una fórmula estándar de cálculo de flecha en viga biapoyada para dos cargas simétricas:



Flecha máxima:

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{Pa}{24EI} (3l^2 - 4a^2) \quad \text{para } x = \frac{l}{2}$$

$$f_{max} = \frac{\left(\frac{675N}{2}\right) \times 50mm}{24 \times 70000 \frac{N}{mm^2} \times 24130 \text{ mm}^4} \times (3 \times 1500^2 - 4 \times 50^2) = 2,81 \text{ mm} < 3 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Por lo tanto, el perfil utilizado como 'travesaño' es correcto desde el punto de vista de ELS a peso.

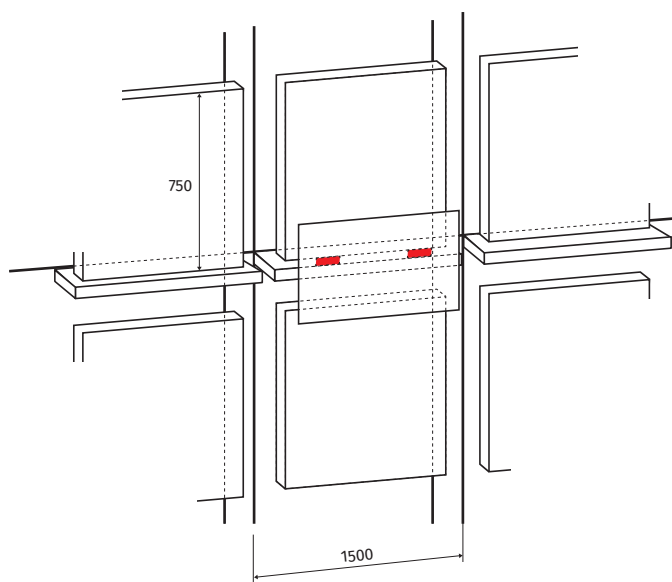
### Cálculo de ELU - Cargas perpendiculares (viento) y paralelas (peso) a la fachada

Mientras que las condiciones para los ELS se comprueban por separado, para el caso tensional hay que suponer que ambas pueden actuar a la vez (el peso actúa siempre, y a veces se le añade el viento) a la hora de ver si la tensión máxima que aparece en el perfil horizontal supera o no el límite elástico de diseño del material que lo conforma.

Dependiendo de las condiciones de contorno (posición y tipología de cargas, posición y tipologías de apoyos), y aplicando las cargas de diseño (mayoradas), se realiza el cálculo de momentos y tensiones en cada eje del perfil utilizado.

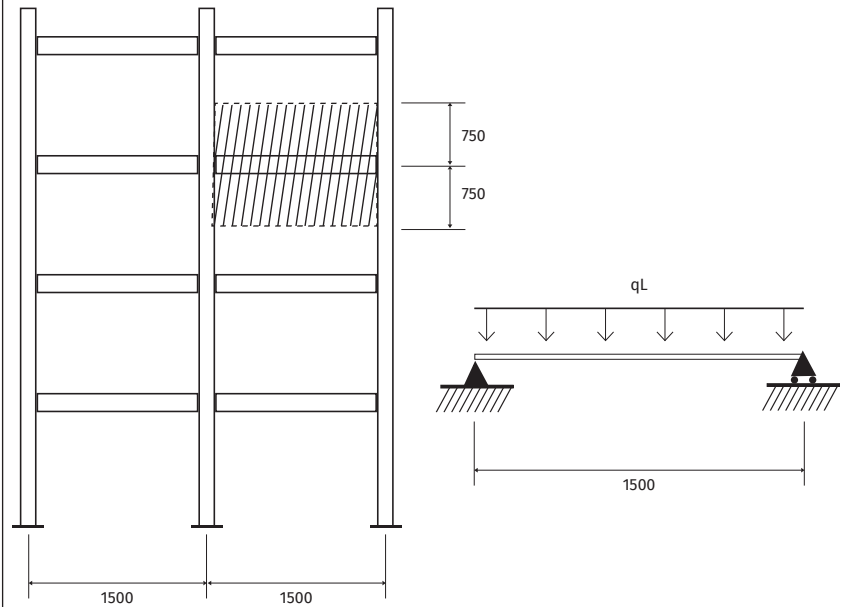
Si la suma de ambas no supera el límite elástico de diseño (minorado de ser necesario) del material utilizado, el perfil utilizado cumple el cometido para el que ha sido elegido.

**EJEMPLO:** se tiene una fachada de aplacado cerámico, espesor 25 mm, modulaciones de las piezas 1500 x 750 mm. La distancia entre montantes verticales es de 1500 mm, y entre ellos cada 750 mm se colocan unos perfiles en horizontal que soportan, aparte de la carga de viento, el peso del panel inmediatamente superior. El peso se transmite a través de dos calzos puntuales, colocados a 100 mm de cada extremo del perfil. La densidad del material cerámico es de 2400 kg/m<sup>3</sup>. La carga de viento, 1250 Pa. Las propiedades del perfil, refiriendo como siempre los valores que trabajan en la dirección de viento como 'eje X' y en la dirección del peso 'eje Y' son: A = 4'582 cm<sup>2</sup>, Ixx = 11'222 cm<sup>4</sup>, Wxx = 4'487 cm<sup>3</sup>, Iyy = 2'413 cm<sup>4</sup>, Wyy = 2'413 cm<sup>3</sup>. La extrusión se realiza en aluminio EN AW 6063 T6 (f<sub>o</sub> = 190 N/mm<sup>2</sup>).



Como ocurría en los montantes verticales, se ha de calcular por separado la influencia de viento y peso, y después sumar la tensión provocada por cada carga.

### VIENTO

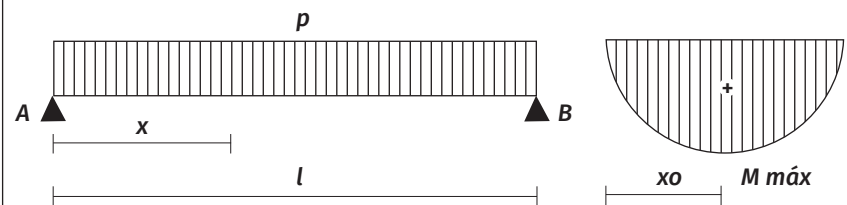


Para ELUs se ha de utilizar la carga de diseño (mayorada):

$$q_d = 1250 \text{ Pa} \times 1'5 = 1875 \text{ Pa}$$

La carga lineal de viento es  $q_L = 1875 \text{ N/m}^2 \times 0'75 \text{ m} = 1406 \text{ N/m}$

El momento provocado por esta carga se puede obtener también a través de pronuario:



$$M_{\text{máx}} = \frac{pl^2}{8}$$

$$M = \frac{1,406 \text{ N/mm}^2 \times 1500 \text{ mm}^2}{8} = 395438 \text{ Nmm}$$

La tensión provocada por este momento en la fibra extrema de la sección es:

$$\sigma = \frac{Mx}{W_{xx}} = \frac{395438 \text{ Nmm}}{4487 \text{ mm}^2} = 88,13 \text{ N/mm}^2 < 173 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

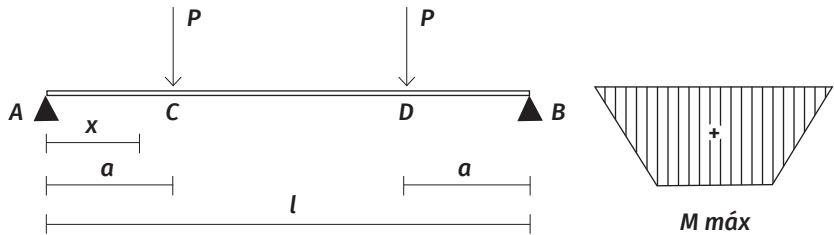
### PESO

Se mayor el peso por el coeficiente de seguridad correspondiente:

$$P^* = P \times 1'35 = 675 \text{ N} \times 1'35 = 911 \text{ N}$$



Se obtiene el momento provocado por el peso sobre el perfil horizontal:



$$M_{\text{máx}} = M_{CD} = Pa = \text{const.}$$

$$M = (P/2) \times a = (675 \text{ N}/2) \times 50 \text{ mm} = 16875 \text{ Nmm}$$

La tensión provocada debido al peso es:

$$\sigma = \frac{Mx}{W_{xx}} = \frac{16875 \text{ Nmm}}{2413 \text{ mm}^2} = 6,99 \text{ N/mm}^2 < 173 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

La suma, por lo tanto, es:

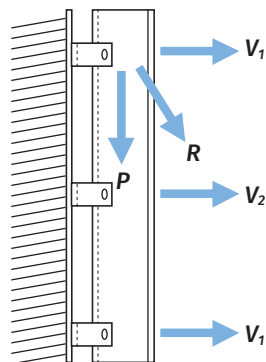
$$88,13 \text{ N/mm}^2 + 6,99 \text{ N/mm}^2 = 95,12 \text{ N/mm}^2 < 173 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

## b) Cálculo de la fijación de la perfilería a las ménsulas

Esta fijación suele ser mecánica, y a través de tornillos pasantes, autotaladrantes o remaches.

Por un lado, hay que calcular la propia fijación, que trabaja a cortante. La carga que recibe, dependiendo de si es un punto fijo o punto móvil, es la parte de viento que le corresponda (al igual que sucede entre los montantes y las placas, el reparto no es simplemente geométrico, estos valores hay que obtenerlos bien de fórmulas de prontuario en los casos sencillos, o bien de softwares de cálculo de barras para los casos más complejos), o la parte de viento más el peso propio, cuya resultante tiene que aplicarse y se obtiene con una suma vectorial de componentes.

**EJEMPLO:** se tiene un montante conectado a la hoja interior a través de tres ménsulas, tal y como se ve en la figura. Tras aplicar las cargas que le transmite la hoja exterior, a la ménsula superior le llega una reacción  $P$  de peso y una  $V_1$  de viento, a la central una  $V_2$  de viento, y a la inferior una  $V_1$  de viento, con los valores indicados.



$$P = 250 \text{ N}$$

$$V_1 = 1500 \text{ N}$$

$$V_2 = 3000 \text{ N}$$

Tornillo punto fijo

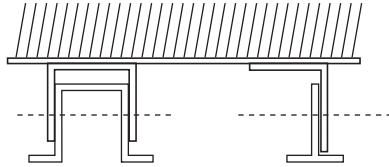
$$R = \sqrt{P^2 + V_1^2} = \sqrt{250^2 + 1500^2} = 1521$$

Tornillo punto móvil

$$V_2 = 3000 \text{ N}$$

Se observa que, incluso combinando peso y viento, en la ménsula superior es mayor la carga neta que le llega a la ménsula central. Así que se calculan los tornillos que conectan las ménsulas al montante utilizando la carga máxima que tiene que soportar a cortante, es decir, 3000 N.

Se suponen dos casos posibles: montante vertical con sección omega y ménsulas en forma de U, o montante vertical con sección T y ménsulas con forma de L.



**N (Nº DE PLANOS)= 2      N (Nº DE PLANOS)= 1**

La resistencia de un tornillo a cortante (por plano) es:

$$F_{V.Rd} = \frac{a_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \cdot N$$

#### Para tornillo inoxidables:

$a_v = 0,5$  Si el plano de corte pasa por la parte roscada del tornillo.

$a_v = 0,6$  Si el plano de corte pasa por la parte no roscada del tornillo.

#### Para tornillo cincado/galvanizado:

$a_v = 0,6$  Si el plano de corte pasa por la parte no roscada del tornillo

Si el plano de corte pasa por la parte roscada del tornillo:

- Para clases 4.6, 5.6 y 8.8:  $a_v = 0,6$

- Para clases 4.8, 5.8, 6.8 y 10.9:  $a_v = 0,5$

Para todos los casos:

$f_{ub}$  = límite último del acero del tornillo utilizado

$A_s$  = sección NETA de la zona del tornillo por la que pasa el plano de corte

$\gamma_{M2}$  = factor de seguridad para uniones, 1,25

$n$  = número de planos de corte

Se prueba para el **caso 1** (omega + U) un tornillo DIN 933 M 6 x 80 mm A2/50. Por ser un tornillo DIN 933, ambos planos de corte pasan por la zona roscada.

$a_v = 0,5$

$f_{ub}$  para un tornillo A2/50 = 500 N/mm<sup>2</sup>

$A_s$  = para un tornillo M6 =  $\pi \left( \frac{\phi_{eff}}{2} \right)^2 = \pi \left( \frac{4,7}{2} \right)^2 = 17,35 \text{ mm}^2$

$n = 2$

$\gamma_{M2} = 1,25$

$$F_{V.Rd} = \frac{a_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \cdot N = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 17,35}{1,25} \cdot 2 = 6940 > 1521 \rightarrow OK$$

Se prueba para el **caso 2** (perfil T + L) un tornillo autotaladrante DIN 7504-K Ø 6,3 x 19 mm A4/70. Por ser un tornillo autotaladrante, el plano de corte pasa por la zona roscada.

$$av = 0,5$$

$$F_{ub} \text{ para un tornillo A4/70} = 700 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s = \text{para un tornillo } \varnothing 6,3 = \pi \left( \frac{\varnothing}{2} \right)^2 = \pi \left( \frac{4,88}{2} \right)^2 = 18,70 \text{ mm}^2$$

$$n = 1$$

$$yM2 = 1,25$$

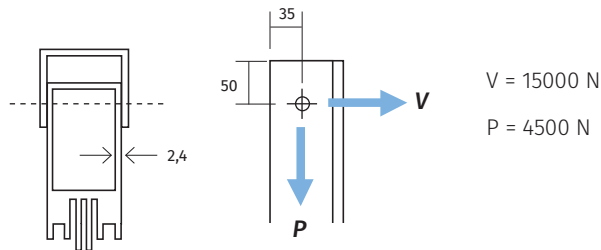
$$F_{V,Rd} = \frac{av \cdot f_{ub} \cdot A_s}{yM2} \cdot N = \frac{0,5 \cdot 700 \cdot 18,70}{1,25} \cdot 1 = 5236 > 1521 \rightarrow OK$$

Por otro lado, hay que calcular el aplastamiento, tanto en la ménsula como en el perfil, mediante las fórmulas que aparecen en el CTE (DB SE A) para los montantes de acero, o en el Eurocódigo 9 para los de aluminio. Se adjunta un ejemplo de cálculo para el caso de un único tornillo extremo al borde de un perfil de aluminio. En el caso de haber más de una fila o columna de tornillos, o de ser un coliso, basta con seguir las instrucciones indicadas en las normas ya referenciadas.

Es un tornillo de soporte para punto fijo, por lo que recibe tanto carga de peso como carga de viento. La comprobación de aplastamiento ha de verificarse en ambas direcciones. Si cumple ambas, se considera que en el montante no hay aplastamiento bajo ambas cargas combinadas.

Por lo general, basta con comprobar el más débil de los elementos unidos por el tornillo (ménsula y montante), que suele ser el montante.

### EJEMPLO



Tornillo DIN 933 m 12 x 100 mm A2 70. Montante A1 EN AW 6063 T5

$$F_{b,Rd} = \frac{K1 \cdot ab \cdot f_u \cdot d \cdot t}{yM2}$$

$$F_{ub} = 700 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 175 \text{ Mpa}$$

**Viento, V:**

Tornillo extremo:

$$ad = \frac{e1}{3d0} = \frac{35}{3 \times 14} = 0,83 \text{ (d0 = 14 para M12 agujero de 14 mm)}$$

Para tornillos de borde:

$$K_1 = \min \left( 92,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min \left( 2,8 \cdot \frac{50}{14} - 1,7; N/A; 2,5 \right) = \min (8,3; N/A; 2,5) = 2,5$$

$$ab = \min \left( ab \cdot \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right) = \min \left( 0,83 \cdot \frac{700}{175}; 1,0 \right) = \min (3,32; 1,0) = 1,0$$

$$F_{b,Rd} = \frac{K_1 \cdot ab \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1 \cdot 175 \cdot 12 \cdot 2,4}{1,25} = 10080 \text{ N}$$

Como el tornillo actúa sobre 2 paredes:

$$F_{b,Rd} = 20160 \text{ N} > V = 15000 \text{ N} \rightarrow OK$$

**Peso, P:**

Tornillo extremo:

$$ad = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{50}{3 \times 14} = 1,19$$

Para tornillos de borde:

$$K_1 = \min \left( 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; N/A; 2,5 \right) = \min \left( 2,8 \cdot \frac{35}{14} - 1,7; N/A; 2,5 \right) = \min (5,3; N/A; 2,5) = 2,5$$

$$ab = \min \left( ab \cdot \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right) = \min \left( 1,19 \cdot \frac{700}{175}; 1,0 \right) = \min (3,32; 1,0) = 1,0$$

$$F_{b,Rd} = \frac{K_1 \cdot ab \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 175 \cdot 12 \cdot 2,4}{1,25} = 10080 \text{ N}$$

Como el tornillo actúa sobre 2 paredes:

$$F_{b,Rd} = 20160 \text{ N} > P = 4500 \text{ N} \rightarrow OK$$

### c) Subestructura formada por elementos puntuales

En la mayoría de los sistemas la subestructura tal y como se ha visto consta de una perfilera vertical o vertical y horizontal entre la placa y la hoja interior. No obstante, en algunos casos particulares (por ejemplo, en algunos sistemas de piedra) la fijación es directa y puntual entre hoja exterior e interior.

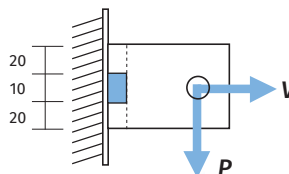
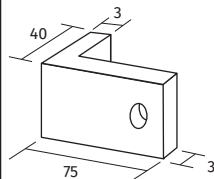
En estos casos es el fabricante del sistema es quien debe orientar al respecto de la resistencia de cada uno de estos elementos puntuales.

## 5.2.3 Ménsulas

### a) Cálculo de las ménsulas

El cálculo de una ménsula en U o L puede hacerse 'fácilmente' a mano mediante el método de la sección más desfavorable.

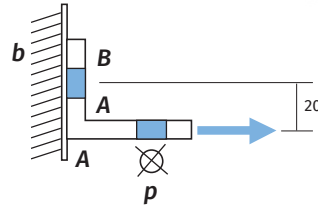
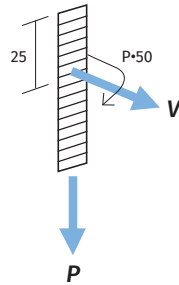
Hay que tener en cuenta las dos posibilidades de carga de viento (presión y succión), combinarla con la de peso propio, ver cuál es más desfavorable y calcularla.



$$V = 2000 \text{ N}$$

$$P = 300 \text{ N}$$

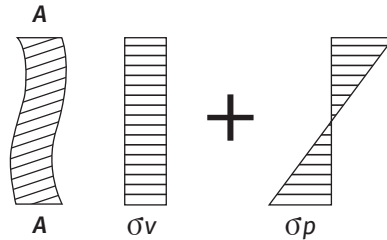
### Sección A-A



$$\sigma_v = \frac{V}{\text{Área}} = \frac{2000 \text{ N}}{3 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm}} = 13,33 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_v = \frac{M}{W} = \frac{300 \text{ N} \cdot 50 \text{ mm}}{\left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 50^3\right)} = 12 \text{ N/mm}^2$$

$$= 12 \text{ N/mm}^2 < 118 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$



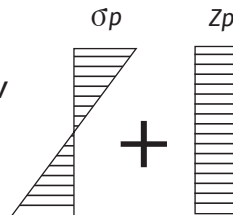
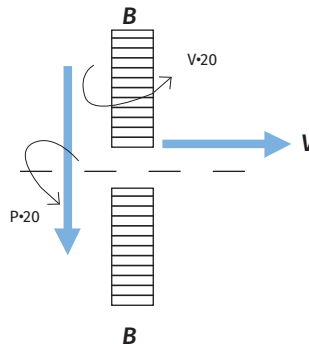
Se va a incluir la influencia al trasladar P sobre la sección A-A (más el momento P. 50 mm que ya se ha tenido en cuenta):

$$r = \frac{P}{\text{Área}} = \frac{300 \text{ N}}{3 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm}} = \frac{300 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2} = 2 \text{ N/mm}^2$$

Si se añaden las tensiones axiales con la fórmula de la tensión comparativa de Von Mises:

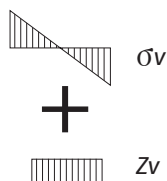
$$\sigma_{co} = \sqrt{a^2 + 3r^2} = \sqrt{25,33^2 + 3 \cdot 2^2} = 25,57 \text{ N/mm}^2 < 118 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

### Sección B-B



$$Mp = 300 \cdot 18,5 = 5550 \text{ N}\cdot\text{mm},$$

$$Mv = 2000 \cdot 18,5 = 37000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$



$$\sigma_p = \frac{5550 \text{ N}\cdot\text{mm}}{\left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 20^3 + 20 \cdot 3 \cdot 15^2\right) \cdot 2} = 4,48 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_p = \frac{37000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{\left( \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 3^3 \right) \times 2} = 611 \text{ N/mm}^2 \gg 118 \text{ N/mm}^2$$

↓  
NOK !!!

1,5

Como puede verse, la ménsula falla y por mucho. La solución pasa por usar una aleación de aluminio de mayor límite elástico, usar una ménsula de paredes con mayor espesor o directamente aumentar el número de ménsulas.

## b) Fijación de las ménsulas a la hoja interior

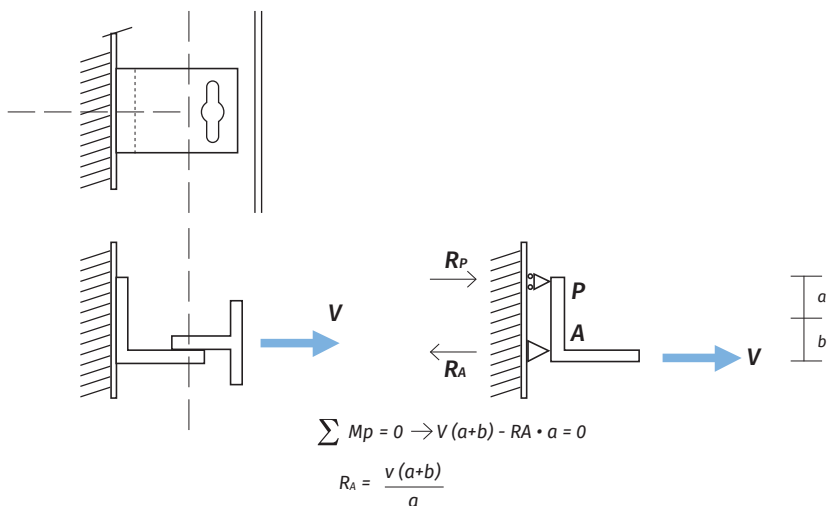
Ahora toca trasladar las cargas que llegan a la ménsula hasta la hoja interior. Se muestra cómo hacerlo para una ménsula en L. Para una ménsula con sección en U (simétrica) el procedimiento es similar pero más sencillo, ya que existe excentricidad en planta, acción – taco de anclaje.

Es muy importante también encontrar el ‘punto de giro’ donde se tienen los momentos igual a cero.

Una vez obtenidas las reacciones que llegan a cada anclaje, hay que solicitar al fabricante de los mismos un producto que cumpla con las solicitaciones dadas.

### EJEMPLO

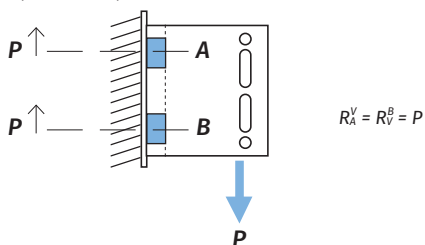
#### MÉNSULA DE RETENCIÓN (VIENTO)



#### MÉNSULA DE SUSTENTACIÓN (PESO+VIENTO)

##### 1. FUERZA CORTANTE

Por el lado de la seguridad, se suele considerar que cada anclaje (o taco) debe ser capaz de soportar todo el cortante.

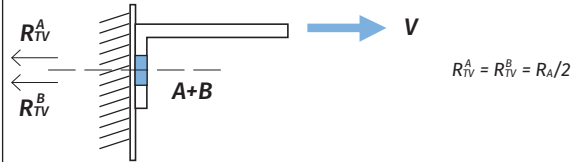




## 2. FUERZA TRACCIÓN

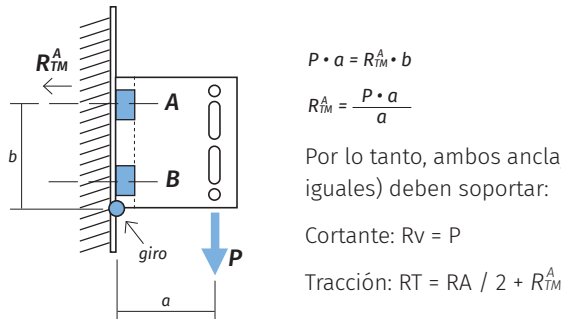
### a) Viento

Mismo procedimiento que para la ménsula de retención, solo que ahora al tener dos anclajes la reacción (RA se llamaba antes) se divide a partes iguales entre ambos:



### b) Momento (peso)

Se suele considerar por el lado de la seguridad que el anclaje inferior no ayuda a soportar el momento del peso.



## 5.3 Cálculo térmico

### 5.3.1 Cálculo de la U de la solución de cerramiento

La transmitancia térmica U [W/m²K] viene dada por la siguiente expresión:

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

siendo  $R_T$  la resistencia térmica total de los componentes constructivos de la solución.

$$R_T = R_{se} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Y siendo  $R_1, R_2 \dots R_n$  las resistencias térmicas de cada capa, y  $R_{se}$  y  $R_{si}$  las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente.

| Posicionamiento del cerramiento y sentido del flujo de calor                        | Rse  | Rsi  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal | 0,04 | 0,13 |

Se van a calcular ahora las resistencias térmicas de cada capa, entonces:

**Revestimiento:**

- > Tal y como se ha visto antes, la gran mayoría de las fachadas ventiladas consideradas por el CTE son como con 'cámara muy ventilada'.
- > Esto implica que la resistencia térmica de la hoja exterior (revestimiento) no se considera en el cálculo de la U de la solución.

**Cámara:**

- > Para la cámara se considera el  $R_{se} = 0,04$ .

**Aislamiento:**

- > El valor que aportan los fabricantes de aislamiento suele ser la conductividad térmica  $\lambda$ .

- > La resistencia térmica se calcula:

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

Siendo  $e$  = espesor del material [m] y  $\lambda$  = conductividad térmica [W/mK]

- > **Hoja de ladrillo: mismo procedimiento que con el aislamiento.**
- > **Acabados, etc.: mismo procedimiento.**
- > **Resistencia térmica de la superficie interior:  $R_{si} = 0,13$ .**

De esta forma se obtiene la RT y posteriormente la U del de la solución de fachada ventilada.

Además de los programas de cálculo existentes, la mayoría de los fabricantes de aislamiento disponen de hojas de cálculo que permiten determinar la U de la solución constructiva de una forma sencilla.

## 5.3.2 Cálculo de puentes térmicos

### Generalidades

El Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico HE, sección HE1, define el puente térmico como aquella zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.

La norma UNE-EN ISO 10211 define el puente térmico como aquella parte del cerramiento de un edificio donde la resistencia térmica normalmente uniforme cambia significativamente debido a:

- a) Penetraciones completas o parciales en el cerramiento de un edificio, de materiales con diferente conductividad térmica;
- b) Un cambio en el espesor de la fábrica;

- c) Una diferencia entre las áreas internas o externas, tales como juntas entre paredes, suelos, o techos.

Además del efecto en la demanda energética del edificio, los puentes térmicos son partes sensibles de los edificios al aumentar en ellos el riesgo de formación de mohos por condensaciones superficiales debidas a la disminución de la temperatura de las superficies interiores (en condiciones de invierno).

Es, por tanto, necesario considerar el impacto de los puentes térmicos en la demanda energética de los edificios, así como en el riesgo de formación de mohos.

En el caso de las fachadas ventiladas, efectivamente son susceptibles de incorporar puentes térmicos en sus soluciones debido a dos casos:

- a) Para resolver elementos ajenos al sistema de fachada ventiladas; por ejemplo: anclajes para carteles, soluciones con chapa metálica para resolver retornos de las embocaduras, coronaciones metálicas, etc.
- b) Ocasionados por los mismos elementos que componen la fachada ventilada: como las ménsulas que soportan la subestructura de la fachada ventilada al paramento.

## Estrategias para reducir el efecto de los puentes térmicos

La gran mayoría de sistemas de subestructura de fachada ventilada existentes en el mercado son de aluminio. El aluminio, a pesar de presentar grandes ventajas como su ligereza y resistencia a la corrosión, tiene la característica de ser muy buen conductor térmico, por lo que, aunque los apoyos que suponen las ménsulas en el edificio son pequeños, son a su vez muy numerosos, suponiendo puentes térmicos. Aunque la superficie de contacto total es pequeña considerando todo el contexto de la fachada, la transmitancia de estos puntos es muy infinitamente superior a la del resto de superficie cubierta por el aislamiento térmico, por lo que no es algo despreciable.

No obstante, las siguientes estrategias indicadas a continuación suponen mejoras importantes para combatir dichas pérdidas. Por orden de efectividad, de menor a mayor:

### Inclusión de piezas plásticas de rotura de puente térmico.

Se interponen entre el aluminio de la subestructura y el material base. Estas piezas solo mitigan las pérdidas térmicas. No obstante, su utilización tiene a menudo una justificación adicional para evitar contactos que generen par galvánico (incluso con el hormigón) y mejor apoyo de las ménsulas en superficies irregulares.



Figura 199.

Ménsulas MFT-MFI con  
rotura de puente térmico  
en su base.

### Realización de sistemas de forjado a forjado.

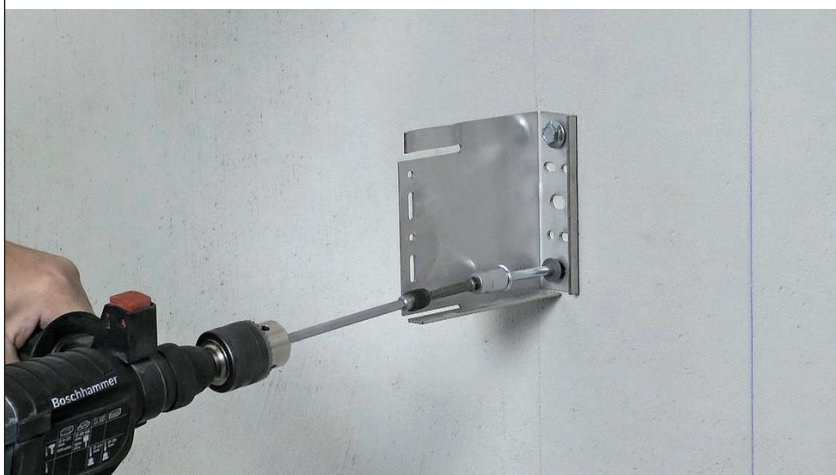
La efectividad reside principalmente en que se reducen drásticamente el número de apoyos de la subestructura que pueden llegar hasta ser una quinta parte respecto a un sistema tradicional. Lógicamente, al reducir los apoyos se reducen los puentes térmicos y por tanto, las pérdidas energéticas.



**Figura 200.**  
**Sistema S2S de forjado a forjado.**

### Utilización de ménsulas de acero inoxidable.

El acero es bastante menos conductor que el aluminio. Si bien un sistema entero de acero galvanizado funcionaría mejor que uno de aluminio térmicamente, resultaría más pesado y sensible a la corrosión durante su vida útil. La alternativa de un sistema integral de acero inoxidable corregiría el problema de corrosión, pero igualmente sería muy pesado y con un elevado coste. Una solución óptima puede ser emplear solo las ménsulas de acero (y mantener perfiles de aluminio), para mejorar estos apoyos térmicamente y no encarecer el sistema ni tampoco su peso. Por motivos de corrosión galvánica, estas ménsulas deben ser de acero inoxidable. Si fuesen galvanizadas, debe evitarse el contacto con el aluminio con algún tipo de barrera, pero evidentemente presentan un mayor riesgo ante la corrosión ambiental que repercute en su vida útil.



**Figura 201.**  
**Ménsulas de acero inoxidable.**

### Utilización de ménsulas con rotura de puente térmico total.

Suelen contener materiales plásticos o resinas, y el puente térmico es prácticamente nulo. Estas ménsulas son las únicas con las que puede realizarse el cálculo de la U del cerramiento por capas, ignorando las pérdidas térmicas de las ménsulas.



Figura 202.

Ménsulas MFT-FOX VT de  
rotura de puente térmico  
total.

### Utilización de subestructura de madera para reducir los puentes térmicos.

Utilización de la subestructura de madera tratada para exteriores. La madera tiene una  $\lambda = 0,13 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , por tanto, es un buen aislante para romper el cambio térmico entre el exterior de la hoja portante y el panel exterior. Es una excelente solución para edificios que buscan una certificación Passivhaus.

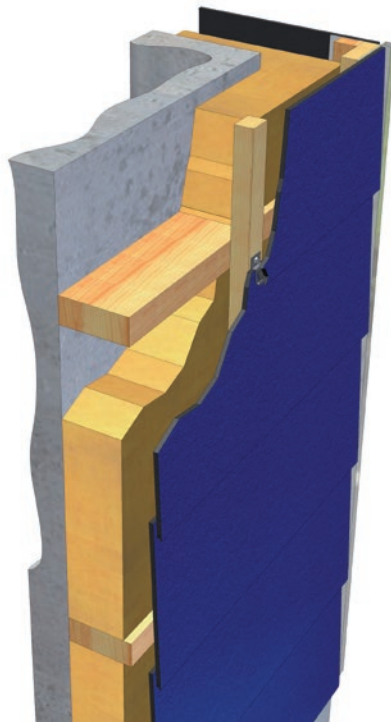


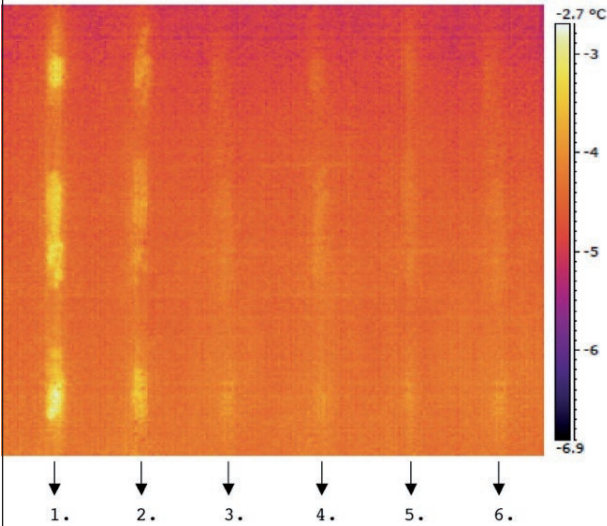
Figura 203.

Sistema FV de doble  
subestructura de  
madera.

# Importancia de los puentes térmicos en la fachada ventilada

El continuo aumento de las exigencias sobre el ahorro de energía ha propiciado una evolución del uso de los aislamientos térmicos: en sus inicios en la cámara no ventilada, luego a que el aislamiento se usara por el exterior para asegurar la continuidad de la envolvente térmica y así resolver los puentes térmicos ocasionados por elementos constructivos como forjados y pilares, y en esta última década en el aumento de espesor del aislante o un uso de aislamientos con menor conductividad térmica. En este punto actual donde las exigencias son mayores, la reducción de los puentes térmicos cobra una mayor importancia para evitar los problemas de condensaciones interiores y asegurar un aislamiento que funcione de la manera más efectiva posible.

En la imagen se observa una termografía con ménsulas de diferente conductividad térmica, ya sea por el uso de diferentes materiales y por el uso de separadores térmicos. Las diferentes combinaciones mostradas demuestran la importancia de la conductividad térmica del material con el que está hecha la ménsula. Los separadores térmicos son funcionales para ménsulas de conductividades altas como el aluminio (220 W/m·K), dejan de ser importantes para materiales con baja conductividad como sucede con el acero inoxidable (15 W/m·K) y comparando ambas soluciones (ejes 2 y 3) la que ofrece un puente térmico menor es el material de menor conductividad a pesar de no usar separadores térmicos.



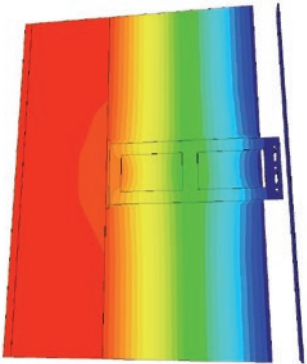
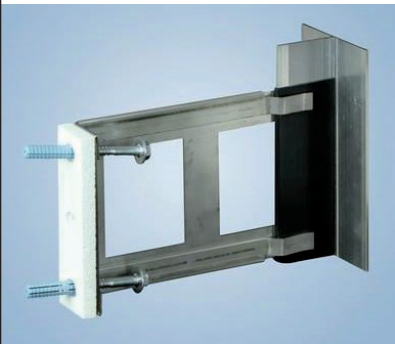
| Eje | Ménsula  |                  | Separador térmico    |                       |
|-----|----------|------------------|----------------------|-----------------------|
|     | Aluminio | Acero inoxidable | Detrás de la ménsula | Delante de la ménsula |
| 1   | Sí       |                  |                      |                       |
| 2   | Sí       |                  | Sí                   | Sí                    |
| 3   |          | Sí               |                      |                       |
| 4   |          | Sí               | Sí                   |                       |
| 5   |          | Sí               |                      | Sí                    |
| 6   |          | Sí               | Sí                   | Sí                    |



Además, debe tenerse en cuenta que la mayoría de sistemas recomiendan colocar la ménsula de sustentación en los forjados donde, normalmente, ya se produce un puente térmico ocasionado por el hormigón del forjado; con lo cual el puente térmico en estos casos cobra aún mucha más importancia.

En la gráfica siguiente se observa un diagrama de isotermas de unas ménsulas utilizadas para asegurar un criterio de confort térmico de temperatura mínima de superficie interior de 17° C,  $\Psi$  exterior  $\leq 0,01$  W/(mK), solución compuesta por: dos fijaciones a la pared, separador térmico de EPS en la base, ménsula de acero inoxidable, separador térmico entre ménsula y montante, y montante de aluminio en T.

**Figura 204.**  
**Coefficiente de puente**  
**térmico puntual  $\chi$  de**  
**0,0065 W/K.**



### Ejemplo de cálculo de puentes térmicos

#### Datos:

- > Muro compuesto por (del interior al exterior): capa de yeso 1 cm, ladrillo de tabique 4 cm, cámara no ventilada de 4 cm y ladrillo macizo de 12 cm.
- > Fachada ventilada con aislamiento de lana mineral de 10 cm.
- > La evaluación de puentes térmicos se efectúa para materiales y dimensiones específicas, indicados en cada uno de los casos.

#### Cálculo de transmitancia térmica sin considerar puentes térmicos:

| Composición              | Espesor (m) | Conductividad térmica ( $\lambda$ ) (W/m.K) | Resistencia térmica ( $m^2K/W$ ) |
|--------------------------|-------------|---------------------------------------------|----------------------------------|
| Resistencia superf. int. |             |                                             | 0,130                            |
| Capa de yeso             | 0,01        | 0,700                                       | 0,014                            |
| Tabique interior         | 0,04        | 0,680                                       | 0,059                            |
| Cámara no ventilada      | 0,04        | -                                           | 0,160                            |
| Ladrillo macizo          | 0,12        | 0,680                                       | 0,176                            |
| Aislamiento lana mineral | 0,10        | 0,035                                       | 2,857                            |
| Espacio ventilado        | 0,02        | -                                           | -                                |
| Panel fachada ventilada  | 0,02        | -                                           | -                                |
| Resistencia superf. ext. |             |                                             | 0,130                            |

Resistencia térmica total (R): 3,53  $m^2K/W$  ( $R = \Sigma$  resist. térmica).

Trasmitancia térmica total (U): 0,284 W/( $m^2K$ ) ( $U = 1/R$ ).

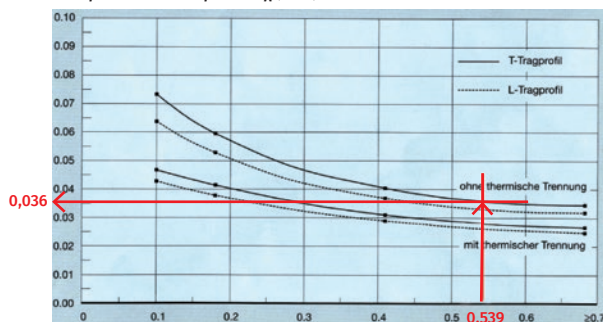
## Cálculo transmitancia térmica considerando puentes térmicos de ménsulas de aluminio:

Condiciones de la subestructura:

- Montante: perfil T de aluminio de 124 x 50 mm y espesor 2,0 mm.
- Ménsula de sustentación: de aluminio, altura 154 mm, en "L" de 124 x 43 mm, espesor 3 mm, con una densidad de 0,8 unidades por m<sup>2</sup> del sistema y dos fijaciones a la base.
- Ménsula de retención: de aluminio, altura 40 mm, en "L" de 124 x 51 mm, espesor 3 mm, con una densidad de 1,4 unidades por m<sup>2</sup> del sistema y una fijación a la base.
- Fijación: tornillo de acero zincado 7 x 73 mm con espiga plástica de 10 x 60 mm
- Conductividad térmica del aluminio: 220 W/mK.
- Sin uso de separadores térmicos.
- Las gráficas que a continuación se muestran se han obtenido a partir de ensayos de laboratorio.

### Ménsula de sustentación

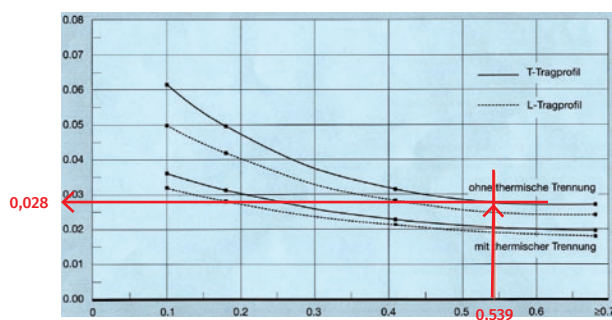
Coef puente térmico puntual  $\chi$  (W/K)



Resistencia térmica de la base del anclaje (m²K/W)

### Ménsula de retención

Coef puente térmico puntual  $\chi$  (W/K)



Resistencia térmica de la base del anclaje (m²K/W)

Transmitancia térmica total sin considerar puente térmico (U): 0,284 W/(m²K)

Afectación de puente térmico ménsulas:  $0,8 \times 0,036 + 1,4 \times 0,028 = 0,068$  W/(m²K)

sustentación      retención

**Transmitancia térmica corregida por puente térmico ( $U_{c\text{alu}}$ ):** 0,352 W/(m<sup>2</sup>K)

Espesor de aislamiento equivalente para llegar al  $U_{c\text{alu}}$ : 7,6 cm.

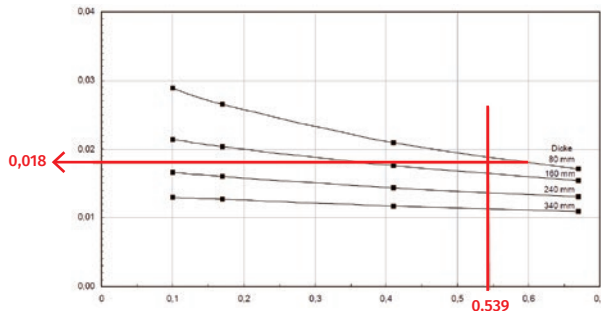
### Cálculo transmitancia térmica considerando puentes térmicos de ménsulas de acero inoxidable:

Condiciones de la subestructura:

- Montante: perfil T de aluminio de 124 x 50 mm y espesor 2,0 mm.
- Ménsula de sustentación: de acero inoxidable, altura 130 mm, en "L" de 120 x 40 mm, espesor 2,5 mm, con una densidad de 0,8 unidades por m<sup>2</sup> del sistema y dos fijaciones a la base.
- Fijación: tornillo de acero zincado 7 x 73 mm con espiga plástica de 10 x 60 mm.
- Conductividad térmica del aluminio: 220 W/mK.
- Conductividad térmica del acero inoxidable: 15 W/mK.
- Sin uso de separadores térmicos
- Las gráficas que se muestran a continuación se han obtenido a partir de ensayos de laboratorio.

#### Ménsula de sustentación

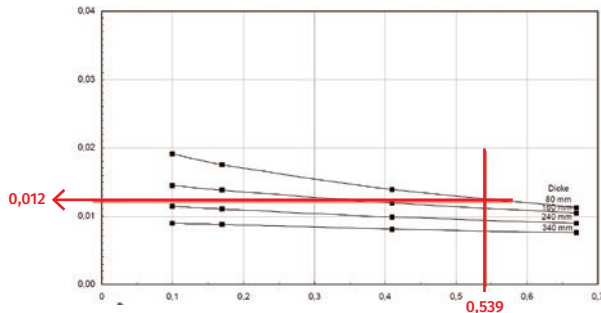
Coef puente térmico puntual  $\chi$  (W/K)



Resistencia térmica de la base del anclaje (m<sup>2</sup>K/W)

#### Ménsula de retención

Coef puente térmico puntual  $\chi$  (W/K)



Resistencia térmica de la base del anclaje (m<sup>2</sup>K/W)

Transmitancia térmica total sin considerar puente térmico ( $U$ ): 0,284 W/(m<sup>2</sup>K)

Afectación de puente térmico ménsulas: 0,8 x 0,018 + 1,4 x 0,012 = 0,031 W/(m<sup>2</sup>K)

sustentación                      retención

**Transmitancia térmica corregida por puente térmico ( $U_{c\text{inox}}$ ):** 0,315 W/(m<sup>2</sup>K)

Espesor de aislamiento equivalente para llegar al  $U_{c\text{inox}}$ : 8,7 cm

## Conclusiones

- Efectivamente, las ménsulas afectan negativamente a la transmitancia térmica del muro, en el caso del aluminio del orden del 24% y en el caso del acero inoxidable del orden del 10%, por lo que deben incluirse en el cálculo térmico de la envolvente.
- En la gráfica siguiente se pueden valorar de manera orientativa la afectación de la conductividad térmica con diferentes opciones de ménsula y para diferentes espesores de aislante de lana mineral. Así, partiendo de un valor  $U$  deseado se puede elegir el espesor correcto según la ménsula elegida para la solución, por ejemplo: para la composición indicada en la gráfica, con un valor  $U$  objetivo del muro de 0,40 W/m<sup>2</sup>K, si no se tiene en cuenta el puente térmico de las ménsulas se recomendaría un espesor de aislamiento de 8 cm; sin embargo, si se tiene en cuenta el puente térmico originado por las ménsulas el espesor del aislamiento sería:

> Ménsulas de acero inoxidable: 10 cm

> Ménsulas de aluminio con separador térmico: 12 cm

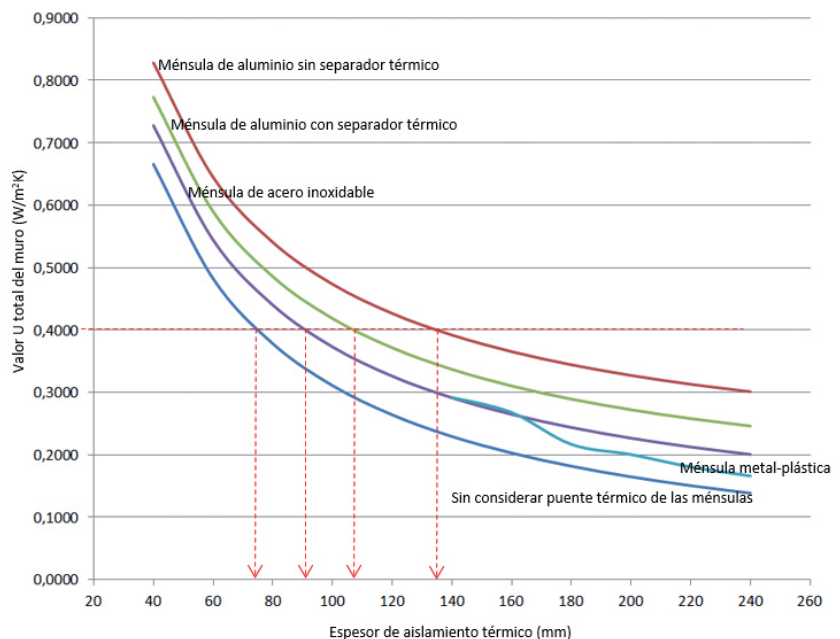
> Ménsulas de aluminio: 14 cm

> Ménsulas metal-plástica: para el ejemplo no es aplicable, debido a que su funcionalidad empezaría a tener sentido a partir de valores  $U$  menores a 0,25 W/m<sup>2</sup>K.

### Coefficiente de transmisión térmica para subestructura metálica

(Método de aproximación según DIN EN ISO 6946)

(Base: hormigón 25 cm,  $\lambda = 2.5$  W/m<sup>2</sup>K; aislamiento térmico WLG 035, 2,5 ménsulas por m<sup>2</sup>)



### 5.3.3 Comportamiento higrotérmico

#### Cálculo del comportamiento de difusión de vapor de agua

Se realiza el cálculo de la siguiente composición de muro:

|   | Composición del muro             | Densidad          | Espesor (s) | Conductividad térmica ( $\lambda$ ) |
|---|----------------------------------|-------------------|-------------|-------------------------------------|
|   |                                  | km/m <sup>3</sup> | m           | W (mk)                              |
|   | Resistencia superficial interna  |                   |             |                                     |
| 1 | Revestimiento de yeso            | 800               | 0,015       | 0,070                               |
| 2 | Termoarilla                      | 785               | 0,140       | 0,280                               |
| 3 | Mortero de arena/cemento         | 2000              | 0,015       | 1,400                               |
| 4 | Lana mineral de 0,35             |                   | 0,140       | 0,035                               |
| 5 | Cámara ventilada                 |                   | 0,020       |                                     |
| 6 | Cerramiento de fachada ventilada |                   | 0,012       |                                     |
|   | Resistencia superficial externa  |                   |             |                                     |

Y bajo las siguientes condiciones de clima:

|                                     | Periodo de condensación (invierno) |         | Periodo de evaporación (verano) |         |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------|---------------------------------|---------|
|                                     | Interna                            | Externa | Interna                         | Externa |
| Temperatura del aire (°C)           | 20                                 | 0       | 26                              | 26      |
| Humedad relativa del aire (%)       | 50                                 | 73      | 60                              | 60      |
| Presión de vapor de saturación (Pa) | 2340                               | 611     | 3362                            | 3362    |
| Presión de vapor parcial (Pa)       | 1170                               | 446     | 2017                            | 2017    |

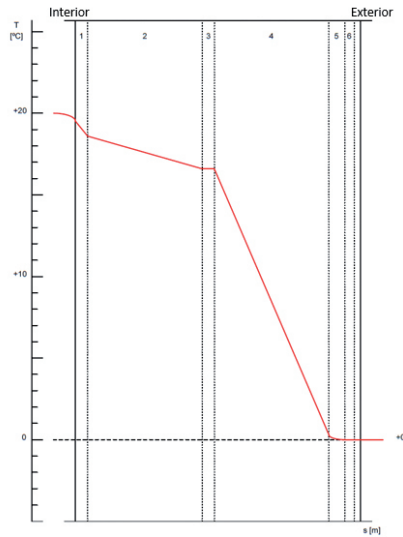
El cuadro de resultados es el siguiente:

| Composición del muro             | Densidad          | Espesor (s) | Conductividad térmica ( $\lambda$ ) | Resistencia térmica | Diferencia de temperatura | Temperatura | Presión de saturación del vapor | Vapor de saturación real | Coef. vapor ( $\mu$ ) | Resistencia al vapor (sd= $\mu \cdot s$ ) |
|----------------------------------|-------------------|-------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|
|                                  | km/m <sup>3</sup> | m           | W (mk)                              | m <sup>2</sup> k/W  | $\Delta T$                | T           | Pa                              | Pa                       | 1                     | m                                         |
| Resistencia superficial interna  |                   |             |                                     | 0,130               | 0,5                       | 20,0        | 2340                            | 1170                     |                       |                                           |
| Revestimiento de yeso            | 800               | 0,015       | 0,070                               | 0,214               | 0,9                       | 19,5        | 2268                            | 1170                     | 10,0                  | 0,15                                      |
| Termoarilla                      | 785               | 0,140       | 0,280                               | 0,500               | 2,0                       | 18,6        | 2145                            | 1121                     | 10,0                  | 1,40                                      |
| Mortero de arena/cemento         | 2000              | 0,015       | 1,400                               | 1,011               | 0,0                       | 16,6        | 1889                            | 665                      | 35,0                  | 0,53                                      |
| Lana mineral de 0,35             |                   | 0,140       | 0,035                               | 4,000               | 16,3                      | 16,6        | 1889                            | 492                      | 1,0                   | 0,14                                      |
| Cámara ventilada                 |                   | 0,020       |                                     |                     |                           | 0,3         | 626                             | 446                      |                       |                                           |
| Cerramiento de fachada ventilada |                   | 0,012       |                                     |                     |                           |             |                                 |                          |                       |                                           |
| Resistencia superficial externa  |                   |             |                                     | 0,130               | 0,3                       | 0,0         | 611                             | 446                      |                       |                                           |
| $\Sigma sd =$                    |                   |             |                                     |                     |                           |             |                                 |                          |                       | 2,22                                      |

En los gráficos siguientes se presentan los resultados obtenidos de temperatura y las curvas de presión de vapor de agua, comprobando los resultados siguientes:

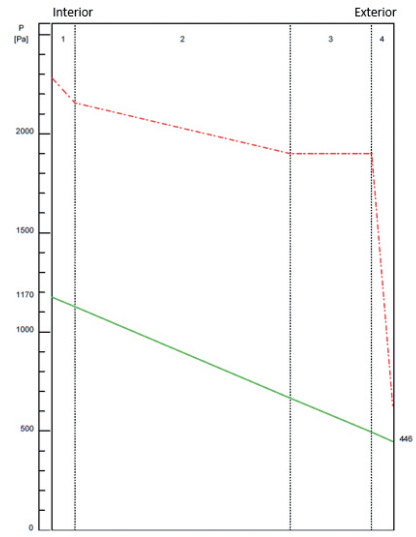
- > No se produce condensación en el periodo de invierno. La presión de vapor parcial está siempre por debajo que la posible curva de presión de vapor de saturación.
- > La composición de muro es físicamente aceptable bajo las condiciones de clima mostrados.

**Curva de temperatura**



**Curvas de presión de vapor de agua**

(muro representado en escala de resistencia de vapor)



Este tipo de cálculo no es del todo real debido a que solo tiene en cuenta algunas características básicas de los materiales y no otras que son básicas tanto para el comportamiento térmico como para el higrométrico, tales como: capilaridad, porosidad, función de almacenamiento de humedad, coeficiente de transporte de líquido de succión y de redistribución, agua libre de saturación, difusión de vapor afectada por la humedad y transmitancia térmica afectada por la humedad.

A continuación, se muestran cálculos efectuados con el programa WUFI Pro 5.3, que crea una simulación realista del comportamiento del cerramiento de fachada.

## Cálculo realista del comportamiento a la difusión de vapor de agua

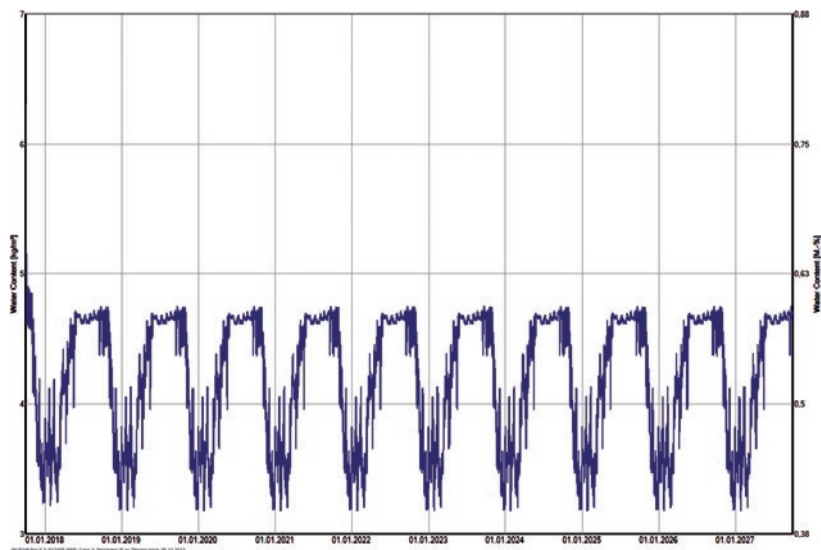
Los resultados mostrados a continuación han sido efectuados por el software WUFI Pro 5.3. WUFI® es una familia de productos de software que permite el cálculo realista del transporte transitorio y unidimensional de calor y humedad en paredes y otros componentes de edificios de múltiples capas expuestos a la intemperie. WUFI® es un acrónimo de Wärme Und Feuchte Instationär, que, traducido, significa transitoriedad de calor y humedad. El software WUFI® utiliza los últimos hallazgos sobre difusión de vapor y transporte de humedad en materiales de construcción. El software ha sido validado mediante una comparación detallada con las mediciones obtenidas en el laboratorio y en el campo de pruebas al aire libre del Instituto de la Construcción Fraunhofer IBP.

La composición estudiada es la misma indicada en el apartado anterior y los resultados muestran la cantidad de agua y contenido de humedad de los diferentes materiales en un periodo de 10 años. Es importante indicar que en las condiciones de clima y uso indicadas los resultados para este ejemplo son positivos, ya que el agua acumulada en las diferentes capas entra en un comportamiento cíclico y en cantidades que no afectan notablemente las características físicas y no degradan a los materiales.

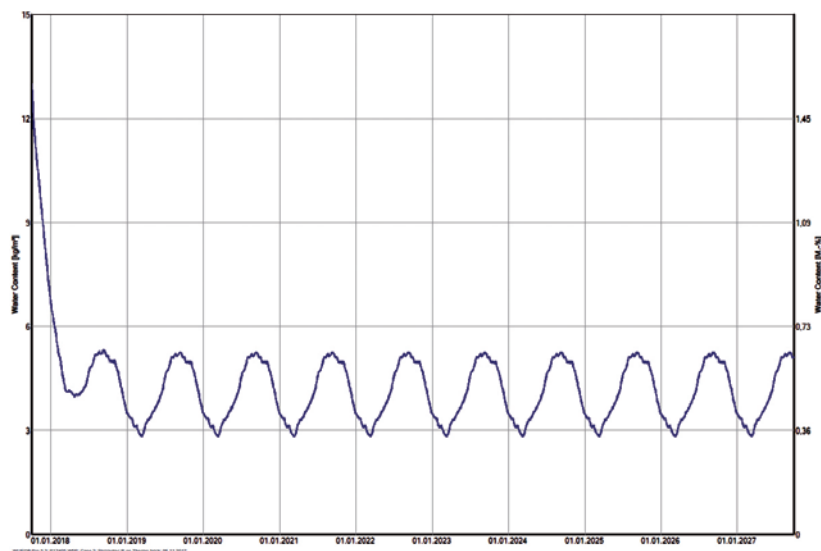


Los resultados han sido los siguientes (eje x: tiempo y eje y: contenido de humedad - a la izquierda en  $\text{kg}/\text{m}^3$  y a la derecha porcentaje de humedad en masa. Hay que tener en cuenta que la escala del eje y cambia en cada gráfica).

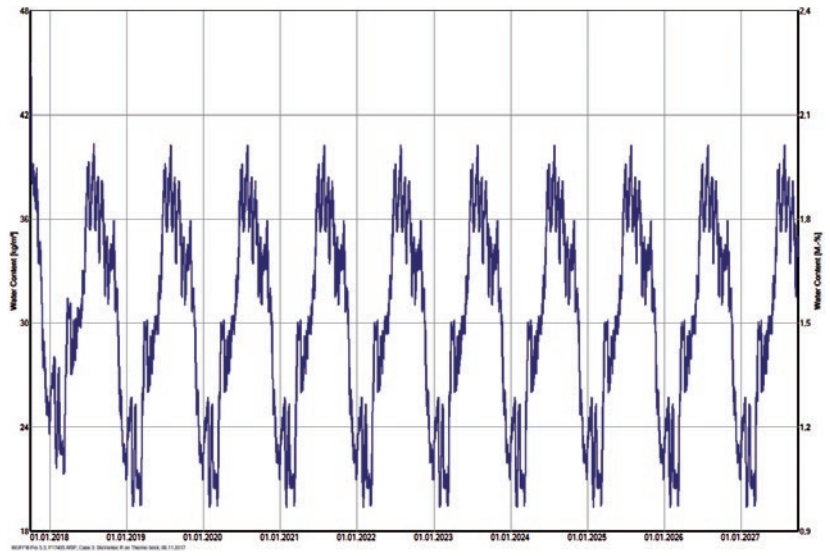
#### > Yeso



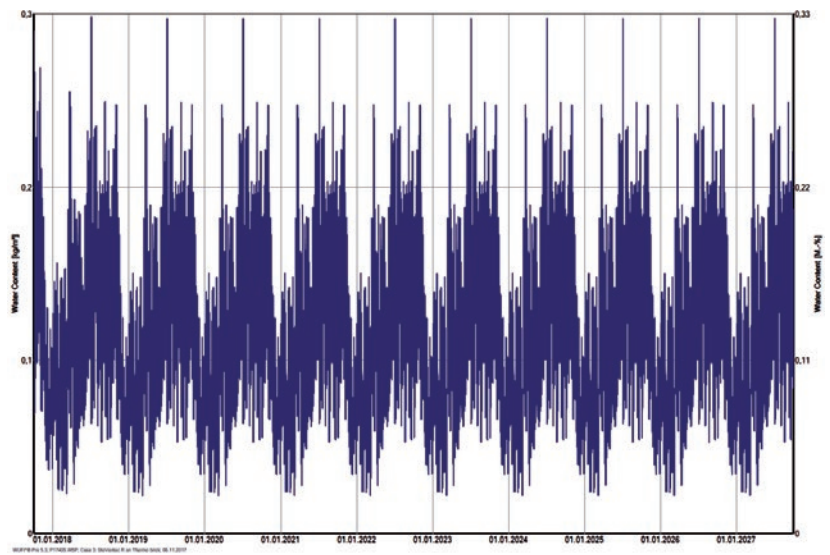
#### > Termoarcilla



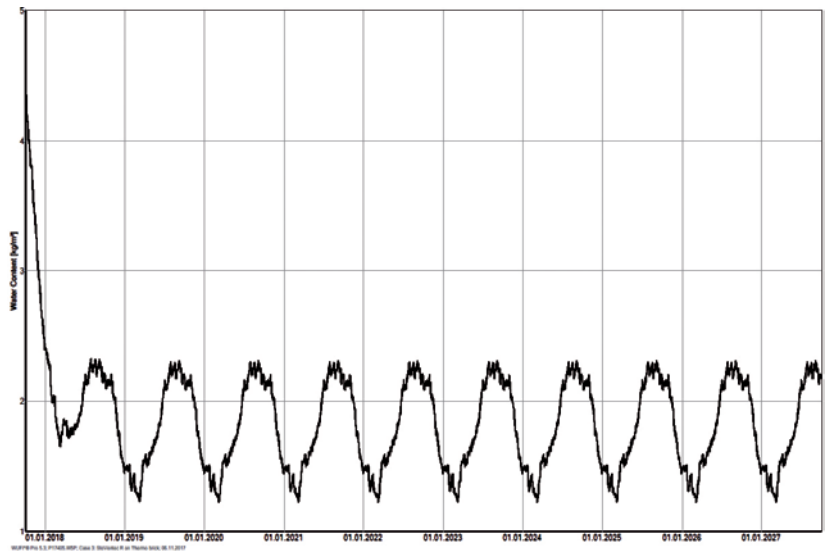
> Mortero de arena/cemento:



> Aislamiento de lana mineral:



> Composición total del muro (eje x: tiempo y eje y: contenido de humedad en  $\text{kg/m}^2$ )

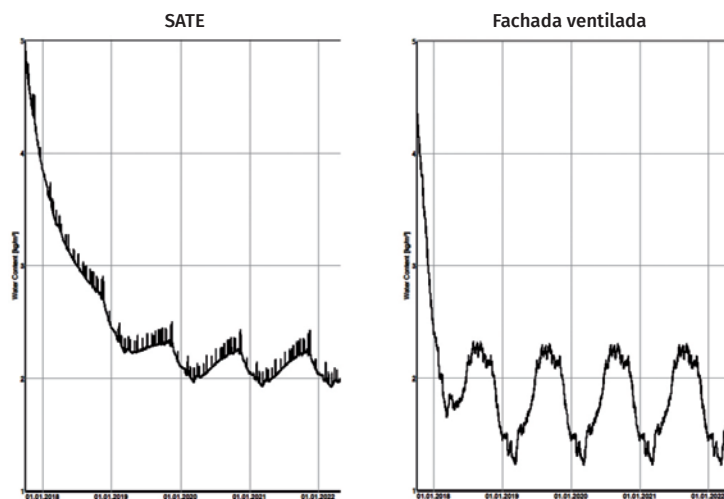


## Comparativa del comportamiento a la difusión de vapor de agua entre una fachada ventilada y un sistema de aislamiento térmico exterior

Los resultados mostrados a continuación son la comparativa de los resultados de una fachada ventilada y de un SATE sobre el mismo tipo de muro con un comportamiento térmico similar.

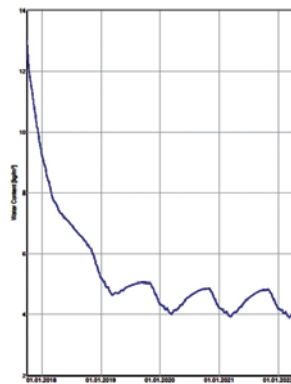
Para establecer una correcta comparativa se han escalado las gráficas para hacerlas coincidir numéricamente en el eje y se muestran para un periodo de seis años:

> Yeso

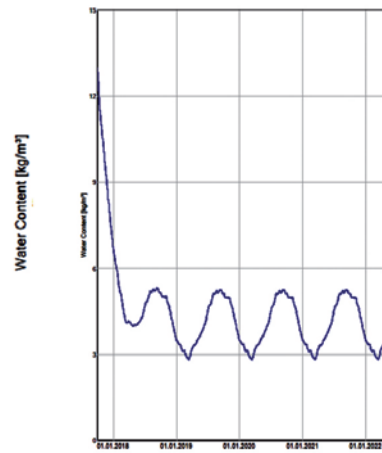


## > Termoarcilla

SATE



Fachada ventilada

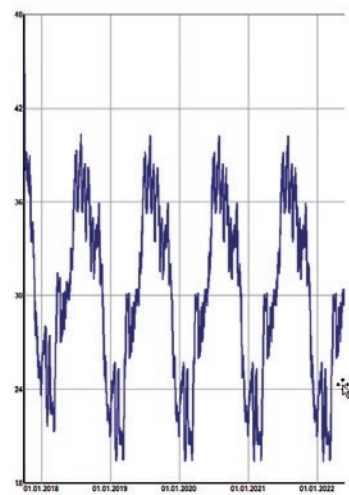


## > Mortero de arena/cemento:

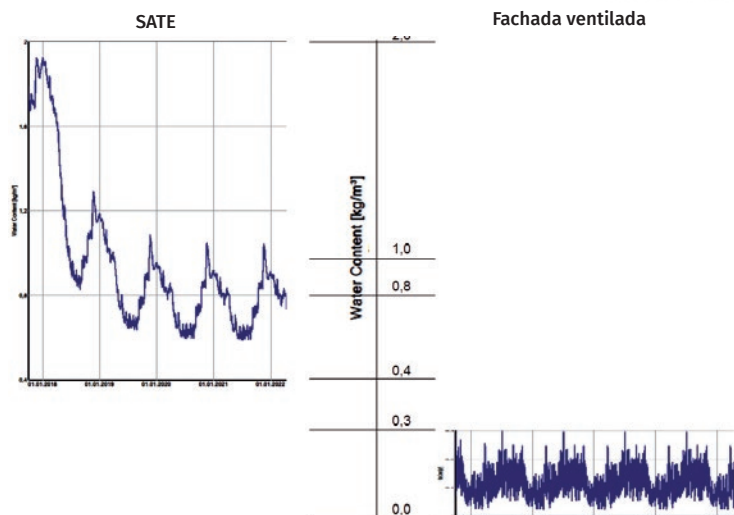
SATE



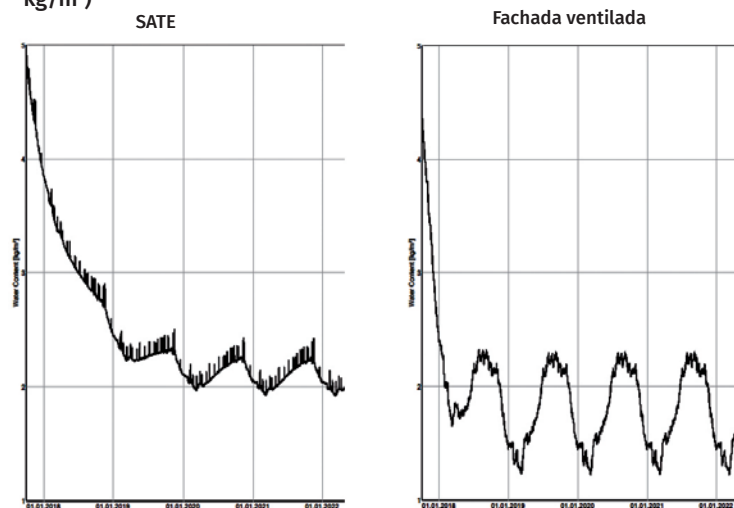
Fachada ventilada



> Aislamiento de EPS para el SATE y de lana mineral para la fachada ventilada:



> Composición total del muro (eje x: tiempo y eje y: contenido de humedad en kg/m²)



## Conclusiones

- De ambos métodos de cálculo mostrados, el más cercano al comportamiento real es el del programa WUFI® ya que tiene en cuenta propiedades como: capilaridad, porosidad, función de almacenamiento de humedad, coeficiente de transporte de líquido de succión y de redistribución, agua libre de saturación, difusión de vapor afectada por la humedad y transmitancia térmica afectada por la humedad. El método de cálculo manual brinda una “fotografía” del estado inicial de la puesta en servicio de los materiales y el del software da la oportunidad de ver el comportamiento en el tiempo.

- b. Para el caso estudiado de fachada ventilada la capa de acabado interior de yeso presenta condensaciones que no superan el 0,6% de humedad del material y que no afecta a su estructura física.
- c. El otro punto crítico se tiene en el aislamiento de la fachada ventilada y se observa que no supera el 0,33% de humedad. Esta variación de humedad afecta a la conductividad térmica del aislamiento de un valor inicial de 0,035 W/mK a pasar a un 0,036 W/mK, por lo que la afectación es mínima.
- d. En el estudio comparativo de SATE y fachada ventilada, aunque los dos sistemas son plenamente funcionales se pueden establecer las siguientes diferencias:
  - > **Yeso:** los contenidos de humedad máximos son similares, pero en el caso de la fachada ventilada los contenidos mínimos en verano se reducen contribuyendo a un menor estrés del material.
  - > **Termoarcilla:** en el caso del SATE el contenido es más estable y con menores cantidades de agua en cualquier punto del periodo anual, esto es básicamente por la capilaridad de la termoarcilla y que quita agua al mortero de arena-cemento.
  - > **Mortero arena-cemento:** en el SATE el contenido es más estable y con menos cantidad de agua, en la fachada ventilada los contenidos son mayores, pero en ningún caso nunca mayores al 2% de humedad por lo que no es una cantidad crítica. Sin embargo, si se quiere reducir esta cantidad de agua se deberían utilizar morteros con cierta capacidad de impermeabilización y que no afectan la capacidad de difusión del vapor de agua.
  - > **Aislamiento térmico:** el contenido de agua es más crítico en el SATE llegando a contener un 7% de humedad mientras que en la fachada ventilada no supera el 0,33%. La afectación en la conductividad térmica en el SATE es una pérdida aproximada del 25% y en la fachada ventilada del 3%. Para ambos sistemas la funcionalidad es correcta pero estas diferencias deben tenerse en cuenta en el cálculo térmico para elegir el verdadero valor de aislamiento térmico objetivo que se requiere.
  - > **Composición total del muro:** los valores pico son similares entre ambos sistemas y los valores mínimos se presentan para la fachada ventilada.

## 5.4 Cálculo acústico

La modelización del comportamiento acústico de la fachada ha de hacerse con programas de cálculo específicos, como INSUL, que permiten estimar con bastante exactitud cómo se comporta acústicamente la fachada.

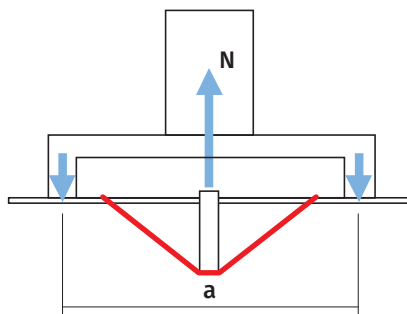


## 5.5 Cálculo de anclajes

### Dimensionamiento de anclajes

#### Evaluación de resistencia de anclajes según TR053 (antigua ETAG029 Anexo B)

#### Resistencia a tracción



#### OPCIÓN A: Ensayos de extracción (destructivo: carga última)

Resistencia =  $N_{Rk1}$ , para  $n$  ensayos

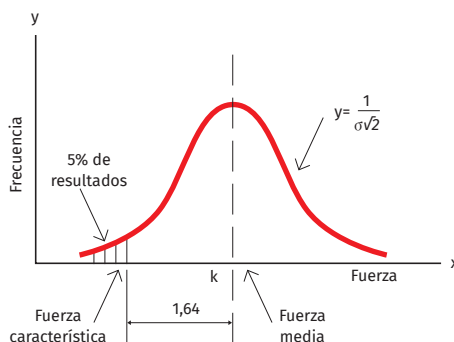
Si  $n \geq 15$ :  $N_{Rk1} = 0,5 \cdot N_1 \leq N_{Rk,ETA}$

Si  $5 \leq n < 15$ :  $N_{Rk1} = N_{5\%} \cdot \beta \leq N_{Rk,ETA}$

$N_1$  = media de los 5 ensayos con peor valor de carga

$\beta$  se toma del ETE para el ladrillo base elegido

$N_{5\%}$  = carga con fráctil 5%



#### OPCIÓN B: ensayo de carga de prueba (no-destructivo: carga $N_p$ )

$N_p \geq 0,8 \cdot N_{sd} \cdot \gamma_M \cdot 1/\beta$

$n$  de ensayos  $\geq 15$

$N_{sd}$  = sollicitación de diseño (mayorada)

$N_p$  = carga de prueba

$\gamma_M$  = coeficiente de seguridad (2.5)

Si no se percibe movimiento del anclaje,

Resistencia  $N_{Rk2}$  puede ser obtenerse:

$$N_{Rk2} = 1/0,8 \cdot N_p \cdot \beta \leq N_{Rk,ETA}$$

## Resistencia a Cortante

### Resistencia a cortante basada en la resistencia a tracción, para ambos métodos

$$\text{Si } V_{Rk,ETA} \geq N_{Rk,ETA}: V_{Rk1,2} = N_{Rk1,2} \leq V_{Rk,c}$$

$$\text{Si } V_{Rk,ETA} < N_{Rk,ETA}: V_{Rk1,2} = N_{Rk1,2} / (V_{Rk,ETA} / N_{Rk,ETA}) \leq V_{Rk,c}$$

### > Normativa para el cálculo de los anclajes

Con anterioridad a la normativa, esto es, antes de 2013, el diseño de las fijaciones a fábricas se basaba en el criterio de ingeniería del responsable del diseño. Sin embargo, a día de hoy la normativa permite un diseño riguroso, aportando más confianza en las distintas aplicaciones.

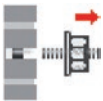
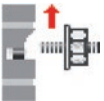
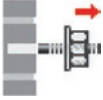
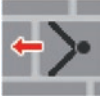
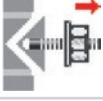
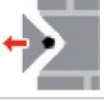
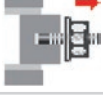
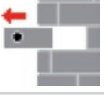
A continuación, y a modo de resumen, se muestran las tablas correspondientes a la normativa existente en función del tipo de fijación:

| Anclajes químicos                                 | 2010<br>(actualización 2013) | 2017<br>(nuevo)    |
|---------------------------------------------------|------------------------------|--------------------|
| Guía de ensayos para cualificación                | ETAG029 Anexo A              | EAD 330076-00-0604 |
| Homologación (Datos técnicos)                     | ETE                          |                    |
| Método de diseño                                  | ETAG029 Annex C              | EOTA TR054         |
| Guía de realización/evaluación de ensayos en obra | ETAG029 Annex B              | EOTA TR053         |

| Anclajes Plásticos                                | 2012            |
|---------------------------------------------------|-----------------|
| Guía de ensayos para cualificación                | ETAG020 Annex A |
| Homologación (Datos técnicos)                     | ETA             |
| Método de diseño                                  | ETAG020 Annex C |
| Guía de realización/evaluación de ensayos en obra | ETAG020 Annex B |

La ETA [ETE] del anclaje facilita datos técnicos a nivel mundial de ladrillos usados en mamposterías, ofreciendo de la misma manera información del sistema como son las varillas, manguitos, tamices, aplicadores e instalación, aclarando las distintas variables de instalación y diseño -húmedo/seco, instalación, separación y distancias a borde, longitud de empotramientos, rango de temperaturas, etc., así como las cargas de trabajo y la resistencia característica  $R_k$  según los tipos de rotura.

## > Modos de fallo

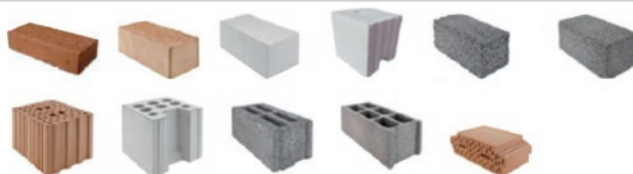
| Tracción                                                                                                             | Cortante                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fallo del acero                     | Fallo del acero                     |
| Fallo extracción anclajes           | Fallo local del ladrillo            |
| Rotura del ladrillo                 | Fallo borde de ladrillo             |
| Extracción de uno de los ladrillos  | Extracción de uno de los ladrillos  |

## > Diseño de acuerdo a EAD (anclajes fijados sobre mampostería)

En primer lugar, se analizan los diferentes parámetros que afectan al cálculo y diseño:

### Mampostería

Tipo



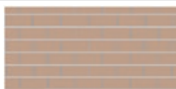
Dimensiones

Configuración (aparejo)



### Juntas

Visibles/No visibles



Rellenas/No rellenas



### Mortero

Resistencia

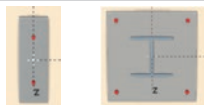
### Configuración de anclajes

Simple



## Configuración de anclajes

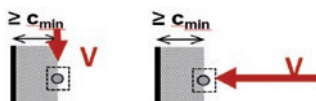
Grupo



Posición según disposición de mampostería

## Cargas

Dirección de cortante respecto a borde



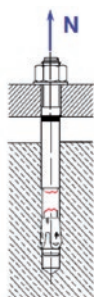
El diseño de anclajes en mampostería, al igual que en hormigón, se realiza evaluando los diferentes modos de fallo. Se muestran a continuación distintos ejemplos en función de la combinación de cargas.

### > Modo de fallo: Fallo por acero

| Tracción               | Cortante               |
|------------------------|------------------------|
| <p>Fallo del acero</p> | <p>Fallo del acero</p> |

Evaluación para el anclaje más solicitado:

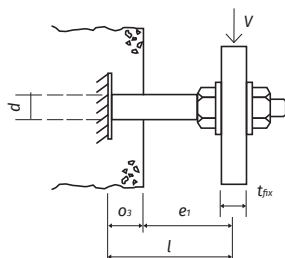
**Tracción:**  $N_{Sd}^h \leq N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$



$$N_{Rk,s} = A_s \cdot f_{uK}$$

**Cortante:**  $V_{Sd}^h \leq V_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$

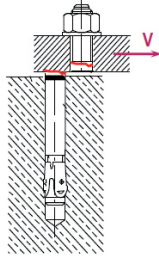
• Con brazo de palanca



$$l = e_1 + 0,5 \cdot d$$

$$N_{Rk,s} = a_M \cdot M_{Rk,s} / 1$$

• Sin brazo de palanca



$$V_{Rh,s} = 0,5 \cdot A_s \cdot f_{uk}$$

$Y_{Ms}$ ,  $N_{Rh,s}$ ,  $V_{Rh,s}$  y  $M_{Rh,s}$  se obtienen de la evaluación ETE.

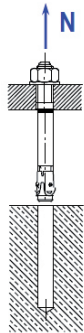
$a_M$  varía entre 1.0 (sin rotación de la placa) y 2.0 (restricción completa).

### > Modo de fallo: extracción de anclaje y rotura de ladrillo

| Tracción                         | Tracción                   |
|----------------------------------|----------------------------|
| <p>Fallo extracción anclajes</p> | <p>Rotura del ladrillo</p> |

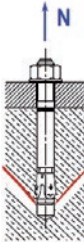
Evaluación para: anclaje más solicitado + grupo de anclajes:

**Extracción de anclaje:**



$$N_{Sd}^b \leq \alpha_j \cdot N_{Rh,p} / Y_{Mm}$$

**Rotura de Ladrillo:**



$$N_{Sd} \leq \alpha_j \cdot N_{Rh,b} / Y_{Mm}$$

$$N_{Sd} \leq \alpha_j \cdot N_{Rh} / Y_{Mm}$$

$N_{Rh,p}$ ,  $N_{Rh,b}$ ,  $Y_M$  - ETE

ETE provee sólo un valor para ambos fallos, considerando  $N_{Rh,p} = N_{Rh,b}$

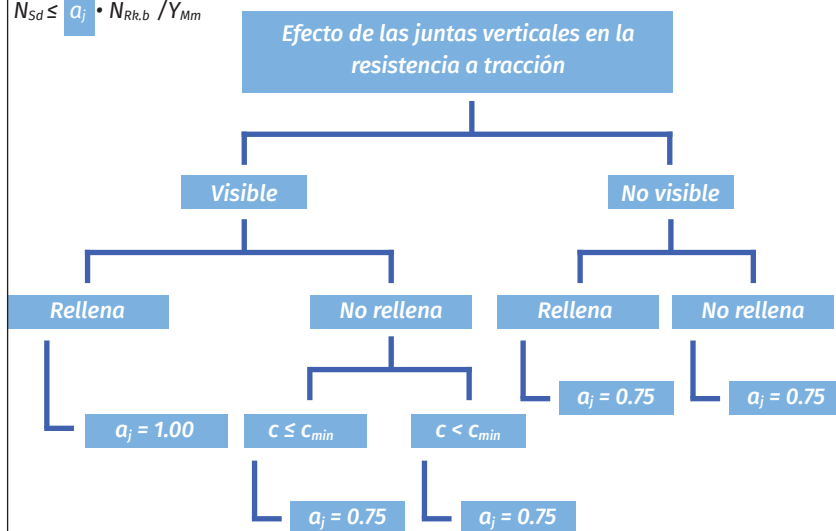
### Factores que influyen en la resistencia

- > Posición y separación de anclajes en el material.
- > Método de limpieza.
- > Categoría de uso: material seco o húmedo.
- > Rango de temperaturas en servicio.
- > Coeficiente de grupo de anclajes.
- > Presencia de juntas verticales.

Factor de influencia: juntas verticales

$$N_{Sd} \leq a_j \cdot N_{Rk,p} / \gamma_{Mm}$$

$$N_{Sd} \leq a_j \cdot N_{Rk,b} / \gamma_{Mm}$$



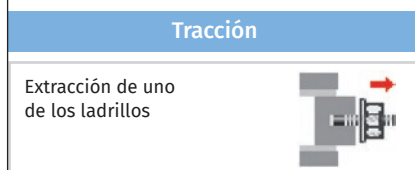
Para “juntas no rellenas”, c se refiere a la distancia a la junta más cercana.

Este valor de c puede ser < c<sub>min</sub>, pero la distancia al borde del muro < c<sub>min</sub> no está permitida.

Para juntas “visible y no rellenas” con c < c<sub>min</sub>, N<sub>rd</sub> = 0.75 x N<sub>rk@c<sub>min</sub></sub>

Para juntas “no visibles y no rellena”, N<sub>rd</sub> = 0.75 x N<sub>rk@c<sub>min</sub></sub> no importa la posición del anclaje.

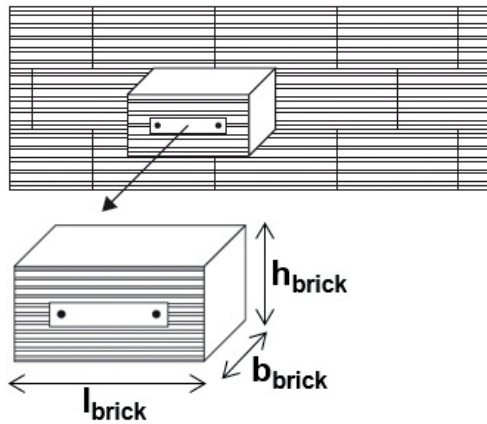
### > Modo de fallo: Extracción de un ladrillo



Evaluación para: carga total – anclaje o grupo de anclajes

Extracción de uno de los ladrillos:



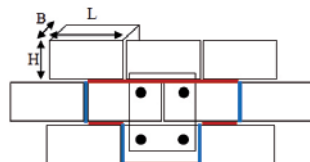


$$N_{sd} \leq N_{Rk,pb} / \gamma_{Mm}$$

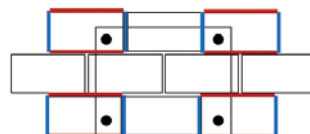
$$N_{Rk,pb} = 2 l_{brick} \cdot b_{brick} \cdot (0,5 \cdot f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d) + b_{brick} \cdot h_{brick} \cdot f_{vko}$$

| Contribución de juntas horizontales                                                                       | Contribución de juntas verticales (sólo rellenas)                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <p>(área) + (Adherencia)</p> $2 l_{brick} \cdot b_{brick} \cdot (0,5 \cdot f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d)$ | <p>(área) + (Adherencia)</p> $b_{brick} \cdot h_{brick} \cdot f_{vko}$ |

Ejemplo con ladrillos adyacentes



Ejemplo con ladrillos no adyacentes



$\sigma_d$  = Tensión de diseño de compresión (cargas por encima del ladrillo).

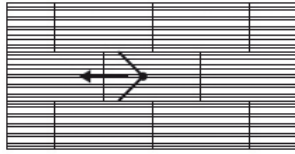
$f_{vko}$  = Resistencia a cortante, depende del ladrillo y el tipo de mortero (EN 1996-1-1, Tabla 3.4).

### > Modo de fallo: fallo local ladrillo y fallo de borde del ladrillo

| Cortante                        | Cortante                       |
|---------------------------------|--------------------------------|
| <p>Fallo local del ladrillo</p> | <p>Fallo borde de ladrillo</p> |

Evaluación para: anclajes efectivos.

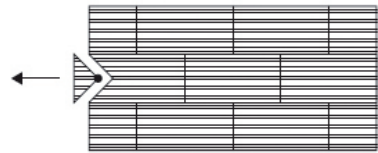
#### Fallo Local Ladrillo:



$$V_{Sd} \leq a_{j,b} / Y_{Mm}$$

$$V_{Sd} \leq a_{j,b} \cdot V_{Rk}^2 / Y_{Mm}$$

#### Fallo Borde Ladrillo:



$$V_{Sd} \leq a_{j,c} \cdot V_{Rk,c} / Y_{Mm}$$

$$V_{Sd} \leq a_{j,x} \cdot V_{Rk}^2 / Y_{Mm}$$

$$V_{Rk,b}, V_{Rk,c} \cdot Y_{Mm} - ETE$$

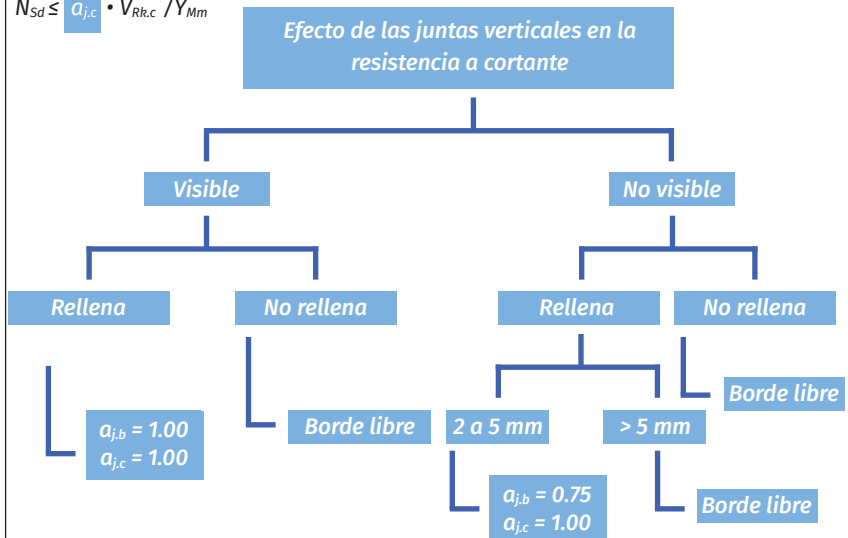
#### Factores que influyen en la resistencia (igual que en tracción)

- > Posición y separación de anclajes en el material.
- > Método de limpieza.
- > Categoría de uso: material seco o húmedo.
- > Rango de temperaturas en servicio.
- > Coeficiente de grupo de anclajes.
- > Presencia de juntas verticales.

Factor de influencia: juntas verticales

$$V_{Sd} \leq a_{j,b} \cdot V_{Rk,b} / Y_{Mm}$$

$$N_{Sd} \leq a_{j,c} \cdot V_{Rk,c} / Y_{Mm}$$



Para juntas “visibles y rellenas” y “no-visible rellenas de espesor 2-5 mm, c es la distancia al borde del muro.

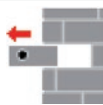
Para juntas “no rellenas” y “no visibles rellenas con espesor > 5mm, c es la distancia a la junta vertical más cercana.

En cualquier caso (si c es la distancia a la junta o al borde),  $c < c_{min}$  no está permitido.

## > Modo de fallo: extracción de un ladrillo

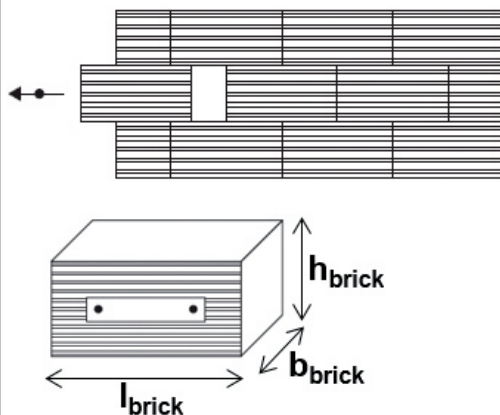
### Cortante

Extracción de uno de los ladrillos



Evaluación para: carga total – anclaje o grupo de anclajes.

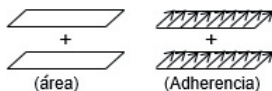
Extracción de uno de los ladrillos:



$$V_{Sd} \leq V_{Rk,pb} / Y_{Mm}$$

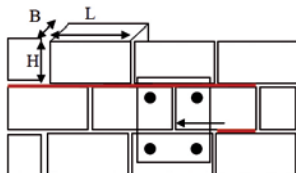
$$V_{Rk,pb} = 2 l_{brick} \cdot b_{brick} \cdot (0,5 \cdot f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d)$$

### Contribución de juntas horizontales

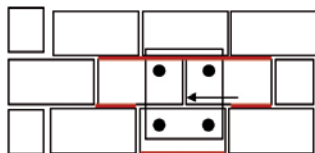


$$2 l_{brick} \cdot b_{brick} \cdot (0,5 \cdot f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d)$$

Ejemplo con juntas verticales rellenas



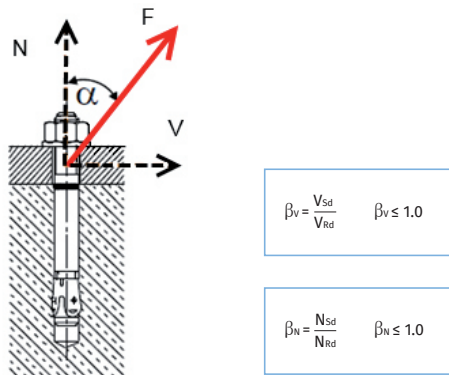
Ejemplo para juntas verticales no rellenas



$\sigma_d$  = Tensión de diseño de compresión (cargas por encima del ladrillo).  
 $f_{vho}$  = Resistencia a cortante, depende del ladrillo y el tipo de mortero  
 (EN 1996-1-1, tabla 3.4).

### > **Modo de fallo: combinación de cargas N + V**

Una vez verificadas las cargas de tracción y cortante, se analiza la combinación N + V:



$\beta_v + \beta_N \leq 1.2$  Para mampostería maciza

$\beta_N + \beta_v \leq 1.0$  Para mampostería hueca o perforada

La EAD facilita una metodología que permite realizar fijaciones en mampostería estándar con una mayor seguridad. Hay que recordar, por otro lado, que para determinar la resistencia de un anclaje en mamposterías no homologadas es necesario realizar ensayos en la propia obra.

### > **Diseño de acuerdo a EUROCÓDIGO 2 (anclajes a posteriori en hormigón)**

La **norma EN 1992-4** incluye un método de cálculo para anclajes (conexión de elementos estructurales / no estructurales a componentes estructurales), los cuales se usan para transmitir cargas al hormigón, especificando las bases de diseño y las verificaciones necesarias en ELU y ELS. A nivel técnico, la norma EN1992-4 no introduce cambios muy significativos con relación a la ETAG 001, a la que reemplaza, sin embargo, el nivel de aceptación y obligado cumplimiento es necesariamente mayor.

La norma EN 1992-4 representa el **estado del arte relativo al diseño de fijaciones a hormigón**, siendo totalmente consistente con el resto de la serie de Eurocódigos.

Por otro lado, el diseño según la EN 1992-4 sólo es posible para aquellas fijaciones en **posesión de una evaluación ETA**, en la que se especifique la EN 1992-4 como método de diseño. Cabe destacar que una evaluación ETA no es simplemente un sello, ya que especifica el campo de aplicación y los datos técnicos necesarios para el diseño según la EN 1992-4. Para obtener una evaluación ETA, es preciso pasar satisfactoriamente todos los ensayos prescritos en los **procesos de aprobación EADs** correspondientes.

A continuación, se incluyen los aspectos esenciales de la norma EN 1992- 4:

## > Verificaciones a tracción:

| Modo de fallo                                             | Cierre individual                                        | Grupo de fijaciones                                        |                                                       |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                                           |                                                          | Fijación más cargada                                       | Grupo                                                 |
| 1 Fallo de acero de la fijación                           | $N_{Sd} \leq N_{Sd,e} = \frac{N_{Rk,e}}{Y_{Me}}$         | $N_{Rd}^h \leq N_{Rd,s} = \frac{N_{Rk,s}}{Y_{Ms}}$         |                                                       |
| 2 Fallo de cono del hormigón                              | $N_{Rd} \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{Y_{Mc}}$         |                                                            | $N_{Rd}^g \leq N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{Y_{Mc}}$    |
| 3 Fallo de extracción de la fijación <sup>a</sup>         | $N_{Rd} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{Y_{Mp}}$         | $N_{Rd}^h \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{Y_{Mp}}$         |                                                       |
| 4 Fallo de extracción combinado del hormigón <sup>b</sup> | $N_{Rd} \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{Y_{Mp}}$         |                                                            | $N_{Rd}^g \leq N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{Y_{Mp}}$    |
| 5 Fallo de división del hormigón                          | $N_{Rd} \leq N_{Rd,cp} = \frac{N_{Rk,cp}}{Y_{Mcp}}$      |                                                            | $N_{Rd}^g \leq N_{Rd,cp} = \frac{N_{Rk,cp}}{Y_{Mcp}}$ |
| 6 Fallo de soplado del hormigón <sup>c</sup>              | $N_{Rd} \leq N_{Rd,cb} = \frac{N_{Rk,cb}}{Y_{Mc}}$       |                                                            | $N_{Rd}^g \leq N_{Rd,cb} = \frac{N_{Rk,cb}}{Y_{Mc}}$  |
| 7 Fallo de acero del refuerzo                             | $N_{Rd,re} \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{Y_{Mc,re}}$ | $N_{Rd,re}^h \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{Y_{Mc,re}}$ |                                                       |
| 8 Fallo de anclaje del refuerzo                           | $N_{Rd,re} \leq N_{Rd,a}$                                | $N_{Rd,re}^h \leq N_{Rd,a}$                                |                                                       |

a No es necesario post-instalar para la fijación adherida.

b No es necesario post-instalar para fijaciones mecánicas con cabeza.

c Para casos que requieren verificación ver 7.2.1.8 (1).

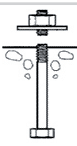
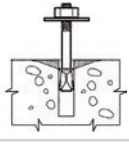
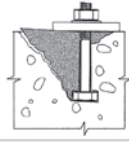
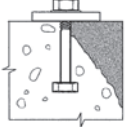
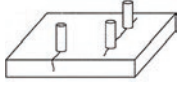
## > Verificaciones a cortante:

| Modo de fallo                                              | Cierre individual                                        | Grupo de fijaciones                                        |                                                                   |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
|                                                            |                                                          | Fijación más cargada                                       | Grupo                                                             |
| 1 Fallo de acero de la fijación sin brazo de palanca       | $V_{Rd} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{Y_{Ms}}$         | $V_{Rd}^h \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{Y_{Ms}}$         |                                                                   |
| 2 Fallo de acero de la fijación con brazo de palanca       | $V_{Rd} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s,M}}{Y_{Ms}}$       | $V_{Rd}^h \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{Y_{Ms}}$     |                                                                   |
| 3 Fallo de palanca de hormigón                             | $V_{Rd} \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,sp}}{Y_{Mc}}$        |                                                            | $V_{Rd}^h \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{Y_{Mc}}$ <sup>a</sup> |
| 4 Fallo del borde del hormigón                             | $V_{Rd} \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{Y_{Mc}}$         |                                                            | $V_{Rd}^g \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{Y_{Mc}}$                |
| 5 Fallo de acero en el refuerzo suplementario <sup>b</sup> | $N_{Rd,re} \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{Y_{Ms,re}}$ | $N_{Rd,re}^h \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{Y_{Ms,re}}$ |                                                                   |
| 6 Fallo de anclaje del refuerzo suplementario <sup>b</sup> | $N_{Rd,re} \leq N_{Rd,e}$                                | $N_{Rd,re}^h \leq N_{Rd,e}$                                |                                                                   |

a Excepción ver 7.2.2.4 (4).

b La fuerza de tensión que actúa sobre el refuerzo se calcula a partir de  $V_{Rd}$  de acuerdo con la fórmula (6.6).

> Verificaciones en ELU para esfuerzos a tracción y cortante (modos de fallo).

| Tracción                                                                                                           | Cortante                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fallo del acero<br>               | Fallo del acero<br>         |
| Fallo extracción anclajes<br>     | Desconchamiento<br>         |
| Cono de hormigón<br>              | Fallo borde de hormigón<br> |
| Extracción + Cono de hormigón<br> |                                                                                                                |
| Splitting<br>                     |                                                                                                                |

> Verificaciones en ELS necesarias. Desplazamientos.

|                                         |                     | M8  | M10 | M12  | M16  | M20  | M24  |
|-----------------------------------------|---------------------|-----|-----|------|------|------|------|
| Desplazamientos bajo carga de tensión   |                     |     |     |      |      |      |      |
| HST3                                    |                     |     |     |      |      |      |      |
| Profundidad de empotramiento efectiva   | $h_{ef,2}$ (mm)     | 47  | 60  | 70   | 85   | 101  | 125  |
| Carga de tensión en hormigón fisurado   | N (kN)              | 3,6 | 5,7 | 9,5  | 13,4 | 17,4 | 19,0 |
| Desplazamiento correspondiente          | $\delta_{NO}$ (mm)  | 0,6 | 0,6 | 0,8  | 1,8  | 1,3  | 2,2  |
|                                         | $\delta_{Nec}$ (mm) | 1,1 | 1,3 | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 2,5  |
| Carga de prueba en hormigón no fisurado | N (kN)              | 5,7 | 9,5 | 11,9 | 18,9 | 24,4 | 26,6 |
| Desplazamiento correspondiente          | $\delta_{NO}$ (mm)  | 0,2 | 0,3 | 0,2  | 0,8  | 0,5  | 0,5  |
|                                         | $\delta_{Nec}$ (mm) | 0,4 | 0,5 | 0,4  | 1,5  | 0,9  | 1,4  |

Los desplazamientos de los anclajes aparecen en su correspondiente evaluación ETA.

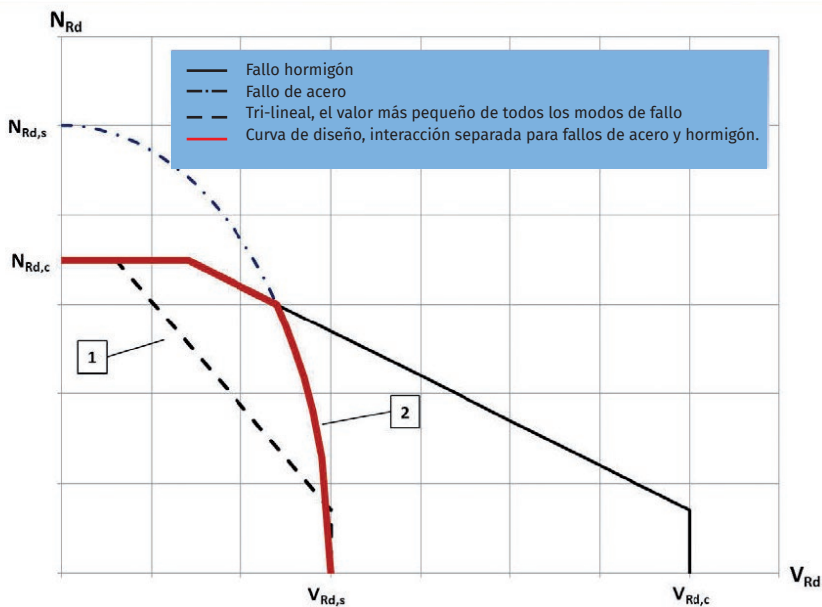
> Diferencias entre la EN 1992-4 y ETAG 001 Anejo C

> Consideración de la interacción entre tracción y cortante diferenciando los modos de fallo:

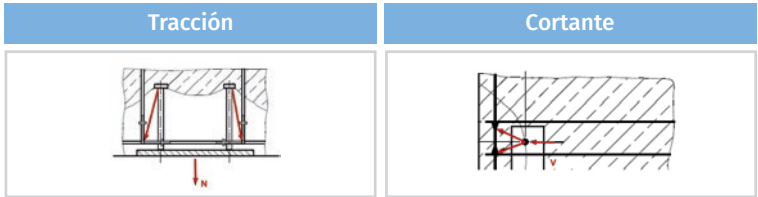


ETAG 001 – Anexo C. Se toma la resistencia mínima de todos los modos de fallo bajo tracción y cortante. Este enfoque generalmente produce resultados muy conservadores porque se superponen distintos tipos de fallas y las fuerzas resultantes.

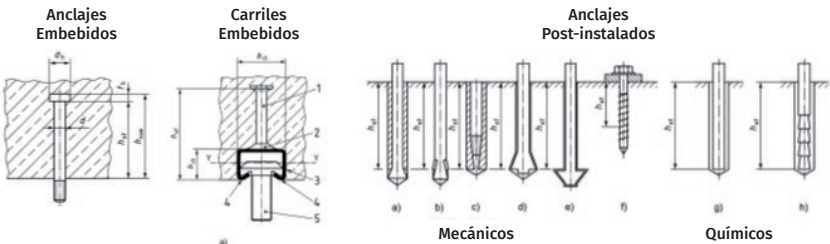
EN 1992-4. El enfoque mejorado en la EN 1992-4 representa mejor el comportamiento real y sigue otras normas (como en el EN 1993).



> La EN 1992-4 permite contar con la contribución de la armadura de refuerzo suplementaria, respetando ciertos requerimientos de geometría, diámetro, cuantía, longitudes de anclajes, etc.



> La EN 1992-4 no sólo incluye anclajes post-instalados, sino también anclajes y carriles embebidos.



ETAG 001 - Annex C

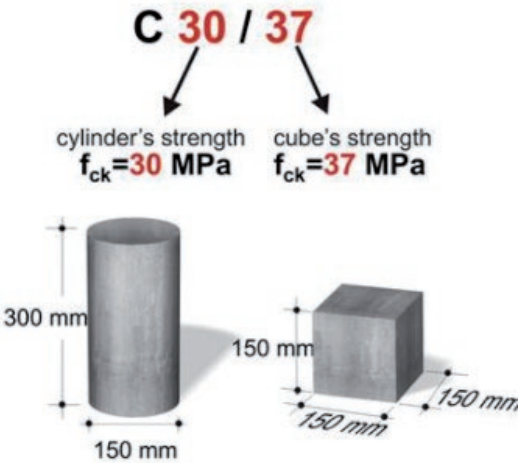
> La EN 1992-4 incluye la posibilidad de diseñar fijaciones en hormigones de baja y alta resistencia.

|                    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| C 12/15            | C 16/20 | C 20/25 | C 25/30 | C 30/37 | C 35/45 | C 40/50 | C 45/55 | C 50/60 | C 55/67 | C 60/75 | C 70/85 | C 80/95 | C 90/105 |
| ETAG 001 - Annex C |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |          |

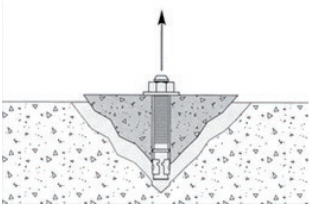
EN1992-4

Para ello es preciso contar con los valores de resistencia del anclaje para esos hormigones que se recojan en el Documento de Evaluación Europea (EAD/DEE).

> La EN 1992-4 utiliza la resistencia característica a compresión del hormigón en base a probeta cilíndrica.

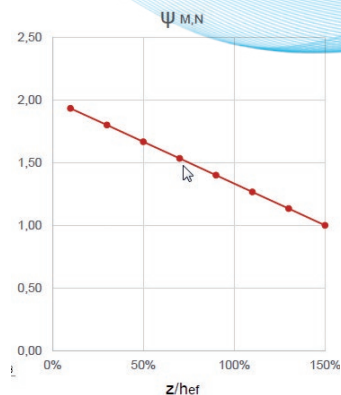
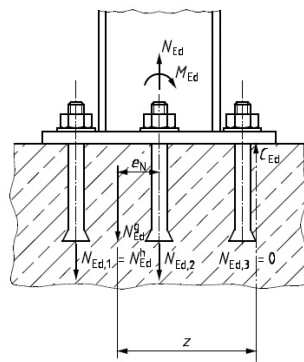


$$N^o_{Rk,c} = K1 \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1,5}$$



| EN 1992-4                                    | ETAG 001 – Anexo C                           |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| K <sub>1</sub> = 7,7 (hormigón fisurado)     | K <sub>1</sub> = 7,2 (hormigón fisurado)     |
| K <sub>1</sub> = 11,0 (hormigón no fisurado) | K <sub>1</sub> = 10,1 (hormigón no fisurado) |

> Nuevo factor de influencia: contribución de la compresión creada por el momento flector al fallo de cono.



$$N_{Rh,c} = N_{Rh,c}^o \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^o} \cdot \Psi_{s,N} \cdot \Psi_{re,N} \cdot \Psi_{ec,N} \cdot \Psi_{M,N}$$

$$\Psi_{M,N} = 2 - \frac{x}{1,5hef} \leq 1$$

> Nuevo factor de influencia para carga sostenida: en carga sostenida para el cálculo del fallo a extracción en químicos.

$$N_{Rh,p}^o = \tau_{Rh} \pi d hef \Psi_{sus}$$

| Si $\alpha_{sus} \leq \Psi_{sus}^o$ | Si $\alpha_{sus} > \Psi_{sus}^o$               |
|-------------------------------------|------------------------------------------------|
| $\Psi_{sus} = 1$                    | $\Psi_{sus} = \Psi_{sus}^o + 1 - \alpha_{sus}$ |

$\alpha_{sus}$  = carga sostenida / Carga total (ELU)

$\Psi_{sus}^o$  = factor dependiente del tipo de anclaje químico (especificado en el Documento de Evaluación Europea (EAD/DEE) correspondiente al anclaje químico). En ausencia de otros datos, se ha de tomar un valor por defecto de 0,6.

# EJECUCIÓN DE LA FACHADA VENTILADA

6

El presente capítulo describe los criterios a considerar para el montaje de la fachada ventilada.

Se debe comprobar que se ejecuta según las especificaciones de proyecto, prestando atención a la correcta puesta en obra del sistema de subestructura elegido, fijación de los paneles a la subestructura, correcto replanteo y nivelación, separación de juntas según diseño, y a la ejecución de los encuentros entre los paneles con los diferentes elementos del cerramiento tales como contornos de huecos, esquinas, encuentros con carpintería, etc.

## 6.1 Fijación de la subestructura

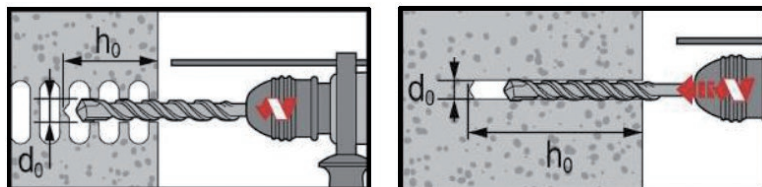
A la hora de instalar los anclajes en un material base para fijar las ménsulas de la subestructura para fachada ventilada, es fundamental tener en cuenta que variar las condiciones de instalación de los mismos puede alterar su comportamiento.

Lo más habitual a la hora de fijar una ménsula, es que se recurra a anclajes a posteriori con tres fases diferenciadas entre sí: la realización del taladro en el material base, la limpieza del taladro y la inserción del anclaje.

Los rangos de aplicación varían en función del material base en cuestión y de la tipología de anclaje, si bien se indican a continuación algunas de las cuestiones más relevantes que deben revisarse antes de proceder a los trabajos.

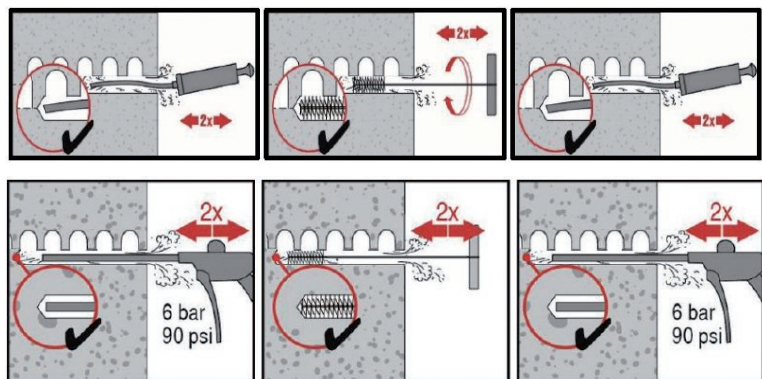
Ejecución del taladro:

- > Realización del taladro con rotación o con roto-percusión (dependiendo del tipo de material base).



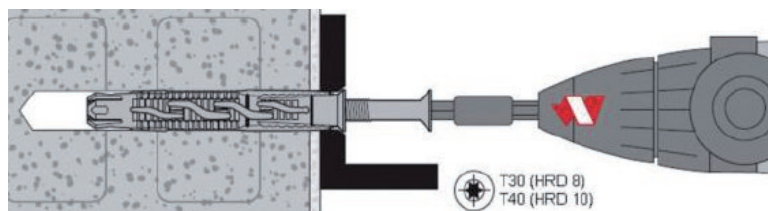
Limpieza del taladro (fundamental si el anclaje es químico):

- > Limpieza o no del taladro, manual o con aire comprimido.



Inserción del anclaje:

> Par de apriete.



Es fundamental para obtener el rendimiento adecuado del anclaje, que se siga el método de instalación homologado por el fabricante y se consulte previamente la información disponible en la ficha técnica del mismo.

## 6.2 Colocación del aislamiento

Es muy importante, una vez seleccionado el tipo de aislamiento más adecuado al sistema de fachada ventilada que se está diseñando, teniendo en cuenta las necesidades de resistencia térmica, aislamiento acústico, comportamiento higrotérmico, comportamiento frente al fuego, etc., seguir estrictamente las recomendaciones de instalación de cada fabricante. La mayoría de los fabricantes disponen de información sobre la instalación específica de los productos aislantes que fabrican.

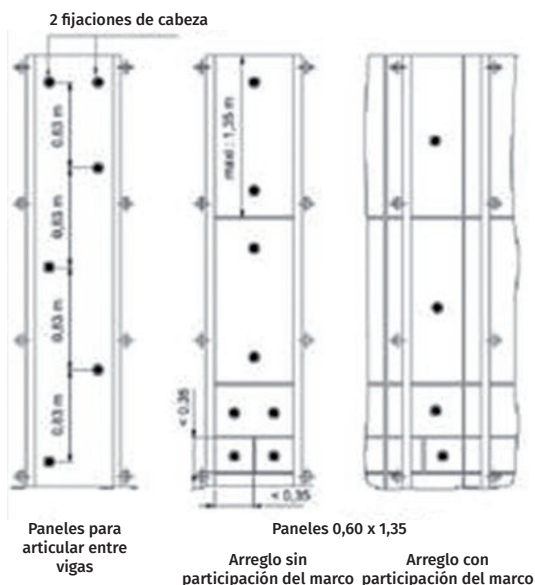


Figura 205.

Ejemplo de fijación del  
aislante.



## 6.3 Colocación de la hoja exterior

### 6.3.1 Fijación mecánica

Los elementos de fijación, fijan mecánicamente el revestimiento a la subestructura mediante elementos metálicos o adhesivos.

En este apartado se trata la fijación mecánica del revestimiento a la subestructura mediante elementos metálicos. Esta fijación puede ser dada por la propia geometría de la subestructura que permite una fijación mecánica directa o bien por elementos puntuales, ya sean, tornillos, remaches o diferentes tipologías de tornillería.

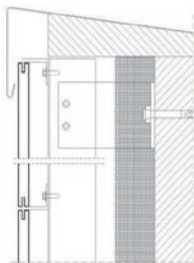
#### 1 Elementos de fijación autoportantes

Es el caso en el que la subestructura metálica se ha conformado específicamente para que el material de revestimiento de fachada permita fijarlo mecánicamente. Sistemas de piedra, cerámica y HPL permiten utilizar elementos de fijación directos. Estos sistemas requieren una mecanización previa del revestimiento mediante ranurados continuos o puntuales en los bordes superiores e inferiores del revestimiento.

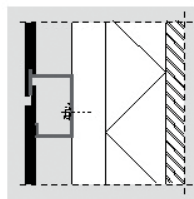
Dependiendo del material requiere un espesor mínimo para poder realizar estos mecanizados y que se pueda mantener la integridad del material ante las cargas de viento o impactos.



Sistema para piedra  $\geq 30$  mm



Sistema  $\geq 12$  mm



Sistema  $\geq 8$  mm

**Figura 206.**  
**Elementos de fijación**  
**autoportantes.**



Ejemplo de Rehabilitación Clínica El Ángel, Málaga.

## 2 Elementos de fijación mecánicos mediante tornillería

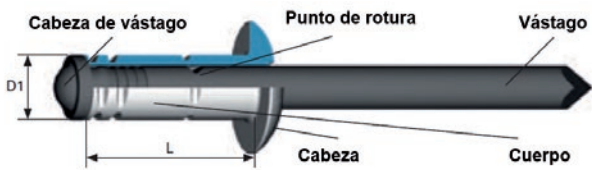
Dependiendo de varios factores como el diseño, economía, certificación o posibilidades del material de revestimiento se tienen dos grandes grupos de fijaciones del revestimiento.

La fijación del revestimiento exterior puede realizarse mediante una fijación vista o bien mediante una fijación oculta. Dependiendo del peso del revestimiento y el espesor del panel, este puede fijarse a la subestructura metálica vertical mediante fijaciones vistas como remaches o tornillos en diferentes calidades de acero inoxidable, diferentes longitudes en función del espesor del revestimiento y diámetros de la cabeza según los movimientos del panel.

La fijación más común para muchos revestimientos como HPL, lanas compactadas o fibrocemento es el remache de aluminio. En el caso de los remaches hay que tener varios puntos en consideración:

### a) Las partes que lo componen

Figura 207.  
Partes componentes del  
remache de aluminio.



D1 es el diámetro del remache y L es la longitud del remache y tiene una gran importancia en la unión, ya que, todo el remache tiene una capacidad máxima y mínima de unión. Esta capacidad de unión debe respetarse con el fin de tener una unión segura.

### b) El material

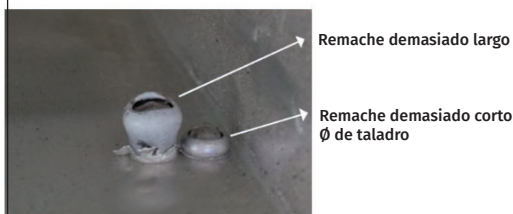
El remache está formado por dos componentes (cuerpo y vástago) y, por tanto, pueden hacerse diferentes combinaciones de materiales dependiendo de los requisitos de anticorrosión y resistencia necesarios.

| Cuerpo - Vástago      | Características                                                                                                                                    |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Acero - Acero         | Aplicaciones sin requerimientos anticorrosión;                                                                                                     |
| Aluminio - Aluminio   | Aplicaciones sobre aluminio y con baja exigencia resistente;                                                                                       |
| Aluminio - Inox (A2)  | Aplicaciones sobre aluminio;                                                                                                                       |
| Inox (A2) - Inox (A2) | Aplicación sobre aluminio y sobre acero galvanizado;                                                                                               |
| Inox (A4) - Inox (A4) | Aplicación sobre acero galvanizado y para exposición en zonas con altos requerimientos anticorrosión como por ejemplo a menos de 1 km de la costa. |

### c) Capacidad de unión

La capacidad de unión es el rango de espesor (perfilería + revestimiento) en que puede trabajar el remache para que la unión sea segura. Si no se respetan los mínimos o máximos la unión puede quedar suelta o no ser segura.

**Figura 208.**  
**Capacidad de unión.**



#### d) Lacado de la cabeza del remache.

Aunque es una fijación vista los fabricantes con un sistema certificado por un DIT/ DAU/ETA suministran los remaches lacados (opcionalmente sin lacar) con la misma referencia de color que el fabricante del revestimiento.

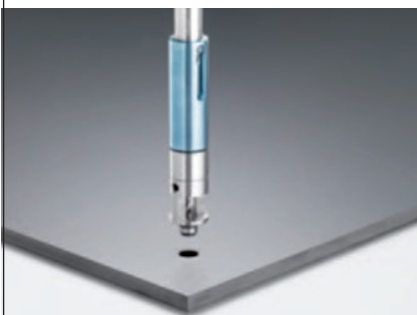
**Figura 209.**  
**Lacado de la cabeza del remache.**



#### e) Elementos de instalación necesarios

Los paneles de fachada y la subestructura deben tener la posibilidad de moverse y dilatarse. Hay que respetar las consideraciones del fabricante en su documentación técnica. Por ello, los taladros en el revestimiento son mayores que el diámetro del remache (D1). Con el fin de centrar el remache en los pretaladrados del panel, se utilizan herramientas centradoras.

**Figura 210.**  
**Conjunto de centrador y broca acoplado al taladro.**



Por otra parte, con el fin que el panel pueda moverse en su mismo plano el fabricante de remaches debe poder suministrar topos de profundidad de sus remaches para las remachadoras.

**Figura 211.**  
**Remachadora de batería Gesipa y boquilla distanciadora roscada.**



## 6.3.2 Fijación química

Criterios a considerar en el caso de montaje de sistemas de fachadas ventiladas fijados por medios químicos (adhesivos elásticos).

### a) Método de ejecución

Se describe a continuación el procedimiento a seguir y las precauciones a considerar.

Un lugar de trabajo bien preparado y organizado es fundamental para trabajar con adhesivo. Se debe marcar la posición exacta donde el primer panel debe pegarse a la subestructura o usar una referencia en la subestructura. Se debe tomar nota de toda la información necesaria para su registro. La temperatura ambiente debe estar entre +5 / +30°C.

Se procede a la instalación con los pasos siguientes (por orden):

- > Tratamiento de los rastreles.
- > Tratamiento de los paneles.
- > Aplicación de la cinta de doble cara.
- > Aplicación del adhesivo.
- > Colocación del panel.

#### > Tratamiento de los rastreles.



Figura 212.

Preparación del lugar de trabajo.

> La superficie a pegar debe estar limpia, seca y libre de polvo, grasa y aceite. Cuando venga recomendado por el sistema se debe lijar con una lija fina (grano 80) o similar el panel y la subestructura. Se recomienda consultar al proveedor del panel sobre los consejos específicos para el pretratamiento.

> Se debe eliminar el polvo con un papel de celulosa limpio.

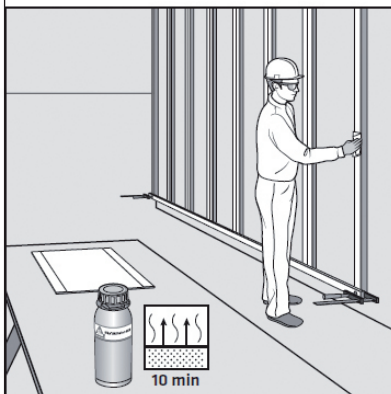


Figura 213.

Eliminación del polvo con papel de celulosa.

> Se deben limpiar y activar las superficies. Se recomienda usar una toallita o papel de celulosa limpio y aplicar el producto sólo en una dirección (no se recomienda el uso de trapos, ya que es más fácil que se ensucien y se reutilicen estando sucios). Es importante respetar el tiempo de secado del producto.

**Figura 214.**  
**Limpiar y activar las superficies.**



> Se debe agitar enérgicamente el bote de imprimación (se debe oír el ruido de la bola chocando con las paredes del bote). Se aplica una capa fina y uniforme de la imprimación sobre toda la superficie con un pincel, brocha o esponja. Respecto al tiempo de secado del producto, se debe considerar lo indicado por el fabricante.

**Figura 215.**  
**Imprimación.**

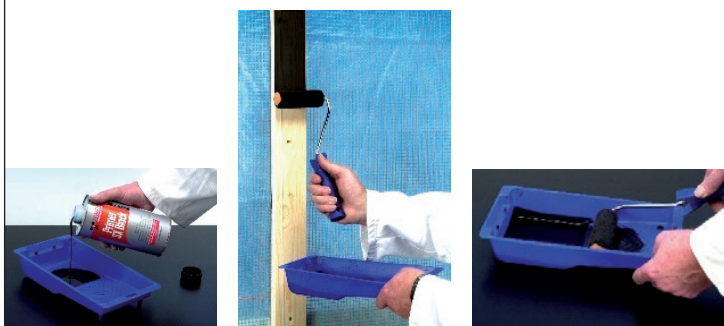


> Los soportes deben pretratarse antes o después de fijarse, ya sean para interiores o exteriores, en todo caso deben estar limpios, secos y libres de grasa, polvo o cualquier otra sustancia que impida la adherencia de los productos sobre ellos.

**Nota:**

• Agitar los productos antes del uso. No utilizar residuos de productos de aplicaciones anteriores. Evitar el contacto con polvo o grasa una vez que se hayan aplicado los pretratamientos. No pretratar más soportes de los que vayan a utilizarse en una jornada de trabajo.

**Figura 216.**  
**Pretratamiento de los soportes (rastres).**



### > **Tratamiento de los paneles.**

En todo caso, los paneles deben estar limpios, secos y libres de grasa, polvo o cualquier otra sustancia que impida la adherencia de los productos sobre ellos.



- > Imprimación para los paneles: frotar enérgicamente utilizando un paño blanco o papel tisú limpio, impregnado del producto, dejando secar el tiempo indicado por el fabricante.

**Figura 217.**  
**Imprimación de los paneles.**



**Nota:**

- Agitar los productos antes del uso. No utilizar residuos de productos de aplicaciones anteriores. Evitar el contacto con polvo o grasa una vez que se hayan aplicado los pretratamientos. No pretratar más paneles de los que vayan a utilizarse en una jornada de trabajo.

### > **Aplicación de cinta de doble cara.**

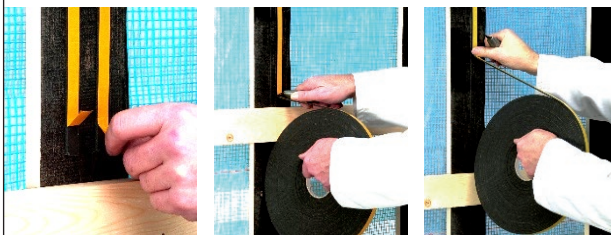
- > Se aplica la cinta sobre toda la longitud vertical y paralela a los bordes. Todavía no se retira la lámina de protección de la cinta.



**Figura 218.**  
**Aplicación de la cinta.**

- > La cinta se aplica verticalmente sin interrupciones. No debe aplicarse horizontalmente. Se debe presionar firmemente la cinta sobre el soporte imprimado, y cortar con un cutter afilado. Considerar distancias y posiciones en los diferentes tipos de soporte, para el correcto posicionamiento de la cinta. Una vez aplicada la cinta, no debe desprenderse inmediatamente la lámina de protección.

**Figura 219.**  
**Ejemplo de aplicación de la cinta.**



### > **Aplicación del adhesivo.**

- > Se aplica el adhesivo en forma de cordón triangular usando la boquilla precortada en forma de triángulo (ancho 8 mm, alto 10 mm) y dejando una distancia de unos 5 mm a la cinta.

**Figura 220.**

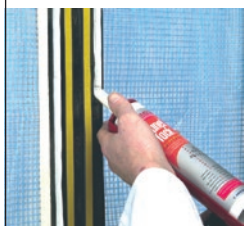
**Aplicación del adhesivo.**



> El adhesivo se aplica verticalmente y sin interrupciones, utilizando pistola manual o neumática, y la boquilla especial de salida en V, para así dejar un cordón triangular de 9 mm de altura aproximadamente.

**Figura 221.**

**Ejemplo de aplicación del adhesivo.**



### > **Colocación del panel.**

> Se retira la lámina protectora de la cinta.

**Figura 222.**

**Retirada de la lámina protectora.**



> Se coloca el panel en la posición deseada, al principio sin que toque la cinta, y después presionando firmemente hasta que toque la cinta de fijación.

**Figura 223.**

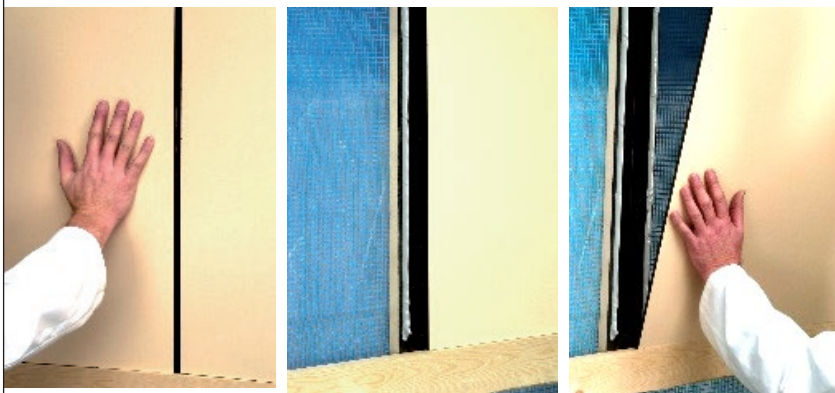
**Colocación de los paneles.**



Se recomienda instalar el panel dentro de los 10 minutos posteriores a la aplicación del adhesivo. Se debe fijar el panel haciendo la suficiente presión hasta que el panel haga contacto con la cinta adhesiva. En caso necesario, se recomienda la utilización de espaciadores entre paneles.



**Figura 224.**  
**Ejemplo de colocación de los paneles.**



Las instrucciones sobre la aplicación completa se deben consultar en las hojas técnicas del fabricante.

#### **b) Observaciones generales:**

Los paneles pueden encolarse tanto en taller (interior) como a pie de obra (exterior). Deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- > No imprimir ni encolar en caso de lluvia.
- > No imprimir ni encolar en caso de atmósfera con alto contenido de humedad (por ejemplo, niebla cerrada).
- > Evitar el riesgo de condensación sobre los paneles y rastreles.
- > Aplicar entre +5 y +30°C.
- > La temperatura del rastrel ha de encontrarse como mínimo 3°C sobre el punto de rocío.

#### **c) Control de ejecución y calidad en obra**

Para el control de obra se recomienda la utilización de una plantilla de control de obra de colocación de paneles en fachadas. En la plantilla se recomienda que se comprueben:

- > Datos generales (contratista, proyecto, empleados).
- > Condiciones meteorológicas.
- > Detalles constructivos del panel.
- > Tratamiento previo del panel.
- > Tratamiento de la subestructura.
- > Pegado de panel a la subestructura.

## **6.4 Ensayos**

### **6.4.1 Ensayos y caracterización de Requerimientos Esenciales**

- > Resistencia mecánica y estabilidad.
- > Comportamiento frente al fuego.
- > Higiene, salud y medio ambiente.
- > Seguridad en uso.
- > Durabilidad.

## 6.4.2 Ensayos de propagación de incendio en fachadas a gran escala

Actualmente no existe un marco europeo armonizado de referencia para la reacción al fuego en fachadas a gran escala.

En algunos Estados Miembro, como en el caso de España, la reglamentación nacional se limita a exigir una determinada clase de reacción al fuego según el sistema de clasificación Euroclases (UNE-EN 13501-1).

Sin embargo, la obtención de una clase de reacción Euroclases pueden ser insuficiente para las fachadas a instalar en ciertas edificaciones en algunos Estados Miembro, donde la reglamentación nacional puede exigir una evaluación adicional del comportamiento frente a incendio en fachada, basado en ensayos de gran escala (ver tabla adjunta).

| Estado Miembro             | Método de evaluación                          |
|----------------------------|-----------------------------------------------|
| Austria                    | ONORM B 3800-5                                |
| República Checa            | ISO 13785-1                                   |
| Dinamarca, Suecia, Noruega | SP FIRE 105                                   |
| Finlandia                  | SP FIRE 105, BS 8414-1, BS 8414-2             |
| Francia                    | LEPIR 2                                       |
| Alemania                   | DIN 4102-20<br>Technical Regulation A.2.2.1.5 |
| Hungría                    | MSZ 14800-6                                   |
| Irlanda                    | BS 8414-1, BS 8414-2 (BR 135)                 |
| Polonia                    | PN-B-02867                                    |
| República Eslovaquia       | ISO 13785-2                                   |
| Suiza, Liechtenstein       | DIN 4102-20<br>ONORM B 3800-5                 |
| Reino Unido (UK)           | BS 8414-1, BS 8414-2 (BR 135)                 |

Actualmente se está trabajando en una propuesta de método de ensayo armonizado a gran escala para todos los Estados Miembro de la UE, para el cual se han tomado como referencia las normas BS 8414 y DIN 4102-20.

Hasta que se desarrolle dicha norma de ensayo e incluso se fije un nuevo sistema de clasificación, la exigencia mínima respecto a la reacción al fuego en fachadas es una determinada clasificación Euroclases, y cada Estado Miembro puede exigir ensayos adicionales según lo establecido en su reglamentación nacional.

## 6.5 Control de la ejecución

La asistencia técnica o control de ejecución de las fachadas ventiladas engloba las labores de asesoramiento, seguimiento y control de los trabajos que se llevan a cabo durante la ejecución de la obra.

El control de ejecución se lleva a cabo por una entidad de control independiente (que reporta a la propiedad y a la dirección facultativa) y comprende habitualmente dos fases, que se describen a continuación:

### Fase 1: Revisión del proyecto de fachadas ventiladas.

Se realiza una revisión de los criterios de diseño de las fachadas ventiladas y comprobación de la adecuación en cuanto a estabilidad se refiere, del cálculo elaborado por el fachadista o ingeniería, para cada una de las soluciones adoptadas en el proyecto.

Se estudia la documentación elaborada por los arquitectos y por los fachadistas adjudicatarios, de las partidas correspondientes a las fachadas a ejecutar.

- Planos generales, secciones y detalles constructivos de encuentros singulares (arranque, coronación, encuentro con carpinterías/forjados, esquinas, etc.).
- Memoria técnica.
- Anexo de cálculo.
- Pliego de prescripciones técnicas.
- Documentación técnica de los sistemas de fachada (evaluaciones técnicas como, por ejemplo, ETES, fichas técnicas, instrucciones de montaje y mantenimiento, Declaración de Prestaciones, etc.).

Tras estudiar dicha documentación, se redacta un documento de análisis del sistema propuesto en proyecto (por el arquitecto) y desarrollado para ser ejecutado (por los fachadistas). El análisis incluye los siguientes aspectos:

- Adecuación de las bases del diseño de la fachada.
- Justificación de las prestaciones exigibles a las fachadas (mecánicas, fuego, acústica, térmica, durabilidad, etc.).
- Normativa de aplicación (CTE, Eurocódigos, marcado CE, ETE según EAD, etc.).
- Revisión del cálculo de acciones sobre la fachada (viento, peso propio) y cálculo estructural de elementos (anclajes, perfilería, fijaciones, placas, etc.).
- Definición correcta y suficiente de los detalles constructivos de las fachadas.
- Ensayos in situ (arrancamiento de anclajes a muro soporte, estanqueidad al agua, encuentros singulares, equipotencialidad, par de apriete anclajes/fijaciones, resistencia a impactos y carga repartida sobre placas de revestimiento, etc.).
- Aspectos relacionados con el mantenimiento y reposición de piezas de la fachada.

**Nota:**

• En este análisis, queda excluida la revisión estructural de la estructura soporte de la fachada ventilada.

Para completar esta primera fase, se llevan a cabo los siguientes entregables:

- Informe de revisión del proyecto, con el análisis detallado de los aspectos arriba mencionados, identificando acciones/modificaciones prioritarias en el mismo (banderas rojas), recomendaciones/mejoras (banderas amarillas) y validaciones/aprobaciones (banderas verdes), identificando claramente la responsabilidad de cada actuación.

## **Fase 2: Control de ejecución de fachada ventilada**

Una vez realizada la revisión del proyecto, se lleva a cabo el control de calidad de ejecución. Dicho control tiene como objetivo el conocimiento detallado y a tiempo real de la ejecución de cada unidad de obra (anclajes, subestructura, aislamiento, aplacados/paneles, encuentros singulares, acabados, etc.) y su adecuación a lo descrito en la información recogida en el proyecto.

Las tareas a llevar a cabo se describen a continuación:

- Control de los materiales recibidos en obra, solicitando para ello toda la información técnica necesaria al contratista y fachadista.
- Control de ejecución de las fachadas ventiladas, mediante visitas periódicas (semanales) a obra, revisando, por ejemplo, el tipo de anclaje y su ejecución, posición y distancia entre escuadras, fijación del aislamiento, modulación y nivelación de perfilerías, colocación de las placas de revestimiento, juntas entre paneles, empleo de adhesivos, ejecución de remates, etc. Cada actuación se incluye en el parte de inspección correspondiente.
- Verificar que los materiales recibidos se corresponden con aquellos prescritos y anotar las posibles desviaciones/anomalías, incluyendo dicha información en los partes de inspección.

Seguir las recomendaciones específicas de los fabricantes de cada uno de los componentes.

Los entregables que se llevan a cabo en esta segunda fase son los siguientes:

- Partes de inspección o notas técnicas que incluyen el alcance de la inspección, descripción de la inspección realizada, observaciones/anomalías/desviaciones detectadas y anexo fotográfico.
- Informe global, con un resumen general de las actuaciones realizadas, descripción de los materiales empleados, descripción detallada de los procedimientos de montaje/instalación de la fachada ventilada, descripción de los procedimientos de control de la ejecución, recopilación de cada uno de los partes de inspección y anexos con la información técnica facilitada a la entidad de control independiente.

# PATOLOGÍAS

7

## 7.1 PATOLOGÍAS EN FACHADAS VENTILADAS

Las posibles patologías que se analizan en este capítulo pueden darse tanto en el entorno de la rehabilitación como en el de la obra nueva, por lo que entender su naturaleza y conocer la forma de evitarlas puede ayudar a su prevención en ambos casos.

A modo de resumen, se analizan a continuación los principales efectos o riesgos de las fachadas ventiladas y se incluye posteriormente un análisis de las causas de dichas patologías.

Los efectos identificados se estructuran en los siguientes apartados:

- > **Seguridad.**
- > **Uso: salubridad.**
- > **Uso: confort térmico y acústico.**
- > **Uso: estética.**

### Seguridad

Los efectos identificados en este apartado requieren una reparación inmediata y la implantación de las medidas preventivas necesarias para eliminar los riesgos.

- > Caída total de la fachada ventilada completa.
- > Riesgo de caída de los elementos de la fachada ventilada.
- > Riesgo de caída de los acabados de la fachada ventilada.
- > Rotura de elementos sin aparente riesgo de caída.
- > Deformaciones por encima de límite elástico. Fatiga de materiales.
- > Deformaciones que afecten a los elementos adyacentes.

### Uso: salubridad

Estos efectos requieren una reparación a corto plazo.

- > Falta de estanquidad total de la fachada ventilada.
- > Falta de estanquidad en las zonas superficiales de la fachada ventilada.
- > Manchas y humedad en el perímetro de los huecos.
- > Humedad intersticial estacional en los componentes.

### Uso: confort térmico y acústico

En este caso es recomendable una reparación a medio plazo.

- > Funcionalidad invertida de la fachada ventilada.
- > Funcionalidad deficiente no optimizada.
- > Pérdida de carga térmica por fachada (exceso aire).
- > Transmisión acústica elevada.
- > Vibraciones indeseadas en elementos de revestimiento.
- > Efecto “tambor” (entrada en resonancia).



## Uso: estética

En este caso se recomienda un seguimiento de la evolución del efecto y una posible reparación. Es recomendable revisar estos efectos por ser indicios de patologías mayores.

- > Falta de plomo o nivelación.
- > Diferencia significativa en el ancho de las juntas.
- > Deterioros mecánicos prematuros en los acabados.
- > Pérdida de brillo o de color prematuro en los acabados.

Se analizan a continuación las causas de las patologías identificadas.

### 1.- Comportamiento del soporte

- > Soporte insuficientemente **resistente**.
- > Exceso de **desplome** del soporte fuera de tolerancia.
- > Exceso de falta de **nivel** del soporte fuera de tolerancia.
- > Soporte excesivamente **irregular**.
- > Falta de **continuidad** entre los componentes del soporte.
- > Mala ubicación de los **estabilizadores de medios auxiliares**.
- > Tramos de **soporte horizontales**.
- > **Asentamiento** diferencial de la obra.
- > Falta de coordinación con las **juntas de dilatación** de la obra civil.

### 2.- Instalación del aislamiento

- > Falta de adecuación de las **características térmicas** del aislamiento.
- > Fijación **inadecuada** de los paneles (efecto cojín).
- > Falta de **compatibilidad química** del aislamiento con el sistema.
- > Falta de **compatibilidad geométrica** del aislamiento con el sistema.
- > Sistema de **fijación al soporte** que no garantiza la continuidad.
- > **Manipulaciones in situ** inadecuadas.
- > Falta de **densidad de retacado** en el perímetro de los huecos.
- > Falta de **compatibilidad** o solape con **láminas impermeables**.
- > Falta de cálculos o ensayos de justificación del comportamiento frente al **fuego**.

### 3.- Elementos de fijación al soporte (tacos)

- > Falta de resistencia de la fijación a las **solicitaciones** previstas
- > Falta de **compatibilidad mecánica** de la fijación al soporte: postensados, fisurados, etc.
- > Falta de **compatibilidad química** de la fijación al soporte o al ambiente.
- > Espigas de sujeción **más cortas** de lo necesario.
- > Fijación realizada sobre la **discontinuidad del soporte** (juntas de barandillas).
- > Fijación localizada en zonas **fuera de rango** respecto al cálculo.
- > **Instalación incorrecta** en obra (giro, penetración, etc.).
- > Falta de compatibilidad o perforación de las **láminas impermeables**.

#### 4.- Elementos para anclaje y separación (ménsulas)

- > Hipótesis de **solicitaciones** no tenidas en cuenta en el proyecto.
- > Diseño sin elementos que permitan **dilataciones** sin deformaciones.
- > Escasas **tolerancias de ejecución** previstas en el diseño.
- > Falta de adecuación de los anclajes respecto al **cálculo**.
- > **Holgura** excesiva entre elementos **sin bloqueo**.
- > **Deterioro de acabados de protección** por la manipulación en obra inadecuada.
- > Instalación de anclaje en obra fuera de **rango de cálculo**.
- > **Puente térmico excesivo** o no tenido en cuenta.
- > Falta de **compatibilidad química** del anclaje con los elementos adyacentes.
- > Falta de compatibilidad o perforación de las **láminas impermeables**.

#### 5.- Sistema de nivelación y fijación de piezas (perfilería)

##### 5.1.- Diseño del proyecto

- > Falta de **adecuación jerárquica o geométrica** del sistema a la tipología de elementos de **revestimiento**.
- > Falta de **adecuación jerárquica o geométrica** del sistema a la tipología respecto a los **soportes**.
- > Falta de previsión de **hipótesis** (viento, empujes, impactos, etc.).
- > Falta de previsión de **tolerancias geométricas**.
- > Hipótesis de **solicitaciones** no tenidas en cuenta en el proyecto.
- > Falta de previsión de **acabados vistos entre las juntas**.
- > Utilización de subestructura para soporte **fuera de rango de uso**.
- > Colocación de elementos horizontales que bloquean completamente **la ventilación de la cámara**.

##### 5.2.- Cálculo y justificación

- > Falta de adecuación de elemento calculado a las **prestaciones** requeridas.
- > Falta de adecuación de los criterios de **cálculo al sistema fabricado**.
- > Falta de justificación suficiente a **deformación**: perfiles verticales, perfiles horizontales.
- > Falta de justificación suficiente a **rotura**: pasadores, tornillería, adhesivos, etc.
- > Falta de adecuación de la **aleación** de cálculo con aleación de fabricación.
- > Falta de justificación suficiente de los **acabados** al ambiente.
- > Falta de aplicación de **acabados vistos** duraderos entre juntas.

##### 5.3- Instalación

- > Falta de coordinación **geométrica** con la obra civil previa.
- > **Bloqueo** o inexistencia de elementos y holguras que permitan juntas de dilatación entre perfiles.
- > Exceso de **holgura** entre elementos que permita movimientos no deseados.
- > Falta de coordinación geométrica con las **juntas de dilatación** del edificio.

- > Falta de **compatibilidad química** de los perfiles y acabados con el ambiente y los elementos adyacentes o la tornillería.
- > Inexistencia de elementos o dispositivos que eviten deterioros de acabados por **fricción, ruidos o choques de piezas**.
- > Fijaciones mecánicas **no efectivas** (longitud, avellanado, posición).
- > Fijaciones mecánicas **posición vista** o incompatible con otro elemento.
- > Falta de compatibilidad o perforación de las **láminas impermeables**.
- > Falta de compatibilidad o **discontinuidad lineal** del aislamiento.
- > Falta de coordinación de **juntas móviles** con fijaciones de piezas de revestimiento.
- > Falta de mantenimiento de las condiciones de aplicación y curado de los **adhesivos o pegados**.
- > **Bloqueo de arranque de la cámara** por el pavimento posterior.
- > **Bloqueo de la cámara** en el vierteaguas o la coronación del edificio.
- > Colocación de la **subestructura horizontal tocando el aislamiento bloqueando** la cámara ventilada.
- > Falta de **previsión** de sistema de coronación de **elementos inusuales** como apoyo de andamios.
- > Diseño y aplicación de **bandas de estanqueidad**.

## 6.- Revestimientos finales

### 6.1- Diseño del proyecto

- > Falta de adecuación del material a **heladas** (ver porosidad).
- > Falta de adecuación del material al **soleamiento** (retención brillo, color, coeficiente de dilatación, resistencia UVA).
- > Falta de compatibilidad **humedad** (corten, maderas, piedras porosas, etc.).
- > Falta de adecuación del material a las **solicitaciones estáticas e impacto** combinadas.
- > Falta de previsión de holguras de **dilatación**.
- > Falta de disposición de **juntas para evacuación de agua** en base a la estanqueidad.

### 6.2- Cálculo y justificación

- > Falta de adecuación de las **prestaciones** del material a los requerimientos de uso.
- > Falta de **adecuación del material y acabados** a las solicitudes estáticas combinadas a ambiente.
- > Falta de **cálculos o ensayos** de justificación del comportamiento frente al fuego.

### 6.3- Fabricación

- > Acabado de **color o brillo** no correspondiente con el **diseño**.
- > Superficie o geometría **irregular**: espesor excesivo, textura inadecuada, etc.

- > **Direccionalidad** (rayas o brillos) no tenidos en cuenta en el corte final.
- > Homogeneidad. Utilización de **recubrimientos** no compatibles con el diseño.
- > Preparaciones de **protecciones** dañando el material (uso de cúter en aristas).
- > Falta de mantenimiento de las condiciones de aplicación y curado de **adhesivos o pegados**.

#### 6.4.- Instalación

- > Falta de **plomo o nivelación** fina entre los elementos de revestimiento.
- > **Corte o manipulación** de material con **herramientas** inadecuadas.
- > Instalación de material de revestimiento **coaccionándole movimientos, dilataciones**.
- > **Separación irregular de la junta** o falta de fijación de punto fijo en vertical.
- > Falta de **sujeción** de elementos contra gomas de encaste o perfilera.
- > **Protecciones** (dificultad de retirada, limpieza abrasiva).
- > **Vibración o ruido** en la unión entre piezas y soporte.
- > Falta de elemento de **bloqueo** de piezas clipadas.
- > Falta de mantenimiento de condiciones de aplicación y curado de **adhesivos o pegados**.

#### 7.- Elementos auxiliares

- > Falta de disposición de **chapa perforada** inferior.
- > Inexistencia o inadecuación de cortes a viento en **sectorización horizontal de cámara** (depende del aislamiento).
- > Inexistencia de cortes a viento en **sectorización de esquinas cámara**.
- > Elementos de **esquina** inadecuados.
- > Elementos de **jamba** inadecuados **estanquidad** (interface).
- > Remate de elementos de **jamba inadecuados estanquidad y permeabilidad** (interface).

#### 8.- Limpieza y mantenimiento

- > Falta de **limpieza** y medios para hacerlo.
- > **Durabilidad** de retención de color o brillo no adecuada.
- > **Rotura de aristas o esquinas** deterioradas de elemento de borde.
- > **Golpes o arañazos** en superficie de acabados.
- > Limpieza con productos **abrasivos**.
- > Limpieza con **útiles** inapropiados.
- > Utilización de sistemas **de limpieza a presión** que penetren en juntas y deterioren la subestructura.
- > **Cambio de uso** que provoque cambios de solicitudes no previstas.
- > Implantación de **dispositivos** que modifiquen los grados de bloqueo.
- > Falta de **mantenimiento de instalaciones interiores** que generen humedad en la cámara.

## 7.2 INTERFAZ

### Fiabilidad y vulnerabilidad de los sistemas

Los productos y sistemas que se tratan en este Manual están desarrollados, ensayados y homologados. Muchos tienen además numerosas experiencias de éxito formando parte como componentes de sistemas constructivos de rango superior.

Las variantes posibles con los productos existentes en el mercado son prácticamente ilimitadas y por ello, el resultado de la agregación de componentes sin que se haya estudiado a fondo la integración de los mismos, no siempre es fiable.

En la fachada ventilada concurren varios de los aspectos que hacen que la solución constructiva sea especialmente vulnerable. Por una parte la propia ligereza de los materiales, la esbeltez y delgadez de los formatos y por otra, el poco respaldo de la tradición al que se une la necesaria tecnificación del conjunto de las soluciones.

La suma de productos que funcionan correctamente de modo individual, no tiene porqué dar como resultado unas prestaciones adecuadas a los requisitos del conjunto de la fachada.

Los puntos críticos donde se generan más patologías, son normalmente las uniones entre sistemas que si bien pueden estar certificados por separado, se suelen tratar de modo parcial sin la visión del conjunto.

En la construcción de un cerramiento, tan importante es la parte opaca como la correspondiente al hueco y en consecuencia los elementos de unión entre ambas. Es imprescindible la coordinación y más aún, la integración de los diferentes componentes con el objetivo de generar un sistema global que funcione adecuadamente para garantizar en el tiempo, no solo las prestaciones de cada uno de ellos, sino las del conjunto de la solución de cada fachada.

En las partes tipo y especialmente en los puntos singulares confluyen en ocasiones diez o quince productos de procedencia y naturaleza muy diversa. En cualquier detalle constructivo se mezclan además de la placa de piel exterior, todo tipo de bandas impermeabilizantes, adhesivos, sellantes, sus elementos de fijación, rastreles, subestructuras, aislamientos anclaje y muros de soporte de cualquier tipo, sin olvidar a “la ventana” con su premarco o las escuadras de soporte. Esta suma de elementos evidencia tanto la complejidad como el riesgo de patologías de la fachada ventilada derivadas de errores de concepto, prescripción o montaje.

Para minimizar la vulnerabilidad se debe centrar la atención en el “nudo”, desde la fase inicial de concepción de la fachada, estudiando las dimensiones y las uniones, especialmente las de las carpinterías con la hoja interior y con la piel exterior, hablamos del “Interfaz”, es decir de la conexión, ya sea del contacto puntual o superficial, de los elementos que se han relacionado anteriormente que convergen en un punto y que se repite numerosas veces en cada fachada.

Hoy por hoy se debe confiar el resultado y la fiabilidad del conjunto a la combinación de tres factores, de una parte los componentes con certificaciones muy elaboradas, en segundo lugar el diseño del “nudo” por parte de los arquitectos y los consultores y en tercer lugar, los procesos de instalación con gran carga de mano de obra, de difícil control en cuanto a su correcta ejecución.

En la configuración de una fachada ventilada se mezclan por tanto, productos desarrollados en los centros de investigación de las empresas y ensayados en laboratorio, que son por su origen productos heterogéneos que se utilizan simultáneamente, con los riesgos que comporta no prever la compatibilidad química, el orden de aplicación, la estabilidad dimensional y las tolerancias, o algo tan simple como los puentes térmicos, las condensaciones o la geometría de los solapes.

Hay patologías muy graves que provienen normalmente de pequeños errores de concepción o de ejecución, que hacen fracasar el conjunto de la fachada, en cuanto a la estabilidad, la durabilidad, o algo tan básico como el comportamiento energético del cerramiento.

La pérdida de prestaciones es en muchos casos evaluable de inmediato, por ejemplo la estanqueidad acústica, la permeabilidad al agua, o al aire, que tienen su origen en la geometría y la disposición de las juntas, el comportamiento del canal de aire o de los drenajes. Estas patologías son muy complejas por la gran dificultad en el diagnóstico correcto y en segundo lugar, por la dificultad para determinar la reparación adecuada.

Deberíamos prever el comportamiento individual y del conjunto de materiales, ya sea desde el punto de vista físico y químico, ante diferentes acciones externas. La intemperie y el propio principio “ventilado” inciden en las tres capas de la fachada siendo evidente la presencia de agua, que va a activar todo tipo de reacciones derivadas de la polución, de la agresividad del ambiente urbano, industrial o marino, que en muchas ocasiones concurren simultáneamente.

Evidentemente, a lo anterior hay que añadir las tensiones debidas a las cargas propias y del viento, así como las originadas por los cambios de temperatura que pueden generar deformaciones de cada una de las partes en relación al conjunto.

Para minimizar el riesgo hay que conocer el comportamiento y las limitaciones de los sistemas, aplicando criterios restrictivos en la fase de concepto y diseño esquemático. En la fase de desarrollo del proyecto hay que elegir el sistema, los formatos, el material y los productos adecuados a cada caso. Finalmente en la fase de obra, se debe replantear y montar con precisión, de tal modo que se puedan absorber los movimientos de cualquier tipo, adaptarse a las tolerancias dimensionales de la fabricación del hueco y para que finalmente se pueda garantizar a lo largo del tiempo el comportamiento tanto en condiciones normales como extremas.

# BIM

# 8



El presente capítulo describe los requisitos a tener en cuenta para la modelización BIM de fachadas ventiladas y su vinculación con los modelos design and build.

## 8.1 Qué es BIM

BIM es una metodología de trabajo colaborativa para la gestión de proyectos de edificación u obra civil a través de un modelo digital. Este modelo digital conforma una gran base de datos que permite gestionar los elementos que forman parte de la infraestructura durante todo el ciclo de vida de la misma.

La metodología BIM está suponiendo una verdadera revolución tecnológica para la cadena de producción y gestión de la edificación. Esta herramienta permite construir de una manera más eficiente, reduciendo costes al tiempo que permite a proyectistas, constructores y demás agentes implicados trabajar de forma colaborativa.

BIM documenta todo el ciclo de vida de la edificación y las infraestructuras, haciendo uso de herramientas informáticas con el fin de generar un repositorio único con toda la información útil para todos los agentes que participan en él y durante todo su ciclo de vida.

BIM es el acrónimo de “Building Information Modeling” en referencia al “Modelado de información de la construcción”, el concepto ‘construcción’ se refiere tanto a edificios como a infraestructuras urbanísticas y de obra civil.

BIM gestiona todo el ciclo de vida de la construcción: definición conceptual, diseño, ejecución y el posterior mantenimiento. El BIM promueve formas diferentes de pensar y actuar a la tradicionales, pasando de una visión a corto plazo y gremial a una a largo plazo y multidisciplinar. Esto conlleva cambios en los modelos de negocio de los agentes de la construcción.

BIM no sólo afecta a la fase de definición conceptual y de diseño, sino que también incide de forma decisiva en las fases de ejecución y del posterior mantenimiento. Gestiona la construcción en todo su ciclo de vida, desde la planificación urbana hasta el reciclado y rehabilitación o mantenimiento de la misma. La correcta utilización del BIM aporta una mejora sustancial de la calidad de proyectos, tanto en los aspectos técnicos como sociales, mediante procesos que permiten analizar su factibilidad, reduciendo el riesgo y mejorando la comunicación entre los agentes. BIM permite maximizar el valor que se entrega a todos los agentes que participan en el proceso constructivo, reduciendo las actividades que no benefician a ninguna de las partes.

La utilización de BIM aporta mejoras en la estimación y cumplimiento de plazos y costes. BIM es una metodología que ayuda a mejorar los aspectos artesanales de la industria, potenciándolos y abriendo nuevas perspectivas a esa creación.

BIM es la pre-construcción de una infraestructura en un entorno digital, como tal, se puede emplear tanto en construcciones de nueva planta de edificación como en proyectos de rehabilitación, cambios de uso, restauración de patrimonio, mantenimiento, etc.

La toma de datos digital combinada con la metodología BIM puede aportar grandes mejoras de precisión, ahorro de costes y tiempos en todo tipo de proyectos de construcción. BIM puede utilizarse en todo tipo de proyectos, independientemente de su tamaño o complejidad. BIM hace uso de un contenedor único con toda la información ordenada, coordinada, coherente y compartida de la construcción, y de toda lo que se genera durante su explotación y mantenimiento. BIM facilita la interoperatividad en tiempo real entre los agentes participantes durante todo el ciclo de vida de la construcción.

BIM ayuda a coordinar la documentación generada durante la fase de redacción de proyecto aportando fiabilidad y coherencia a la información, ya que se mantiene permanentemente actualizada en tiempo real durante todo el ciclo de vida.

El BIM es altamente escalable, su grado de implementación puede ajustarse a los requisitos del proyecto y al grado de preparación de los agentes. Es posible compaginarlo con el uso de metodologías y tecnologías tradicionales, siempre y cuando, el grado de hibridación usado esté perfectamente documentado y acordado entre las partes. De hecho, esto es algo que sucede en la mayoría de proyectos que implementan BIM. El BIM requiere el compromiso y la implicación de todos los agentes que lo usan o pretenden obtener algo de él. Esto incluye a toda la cadena de valor, especialmente a los eslabones con mayor poder de decisión.

## 8.2 El modelo digital

El modelo digital constituye una base de conocimiento fiable que permite a todos los agentes que intervienen en el ciclo de vida de la construcción trabajar de forma colaborativa para el beneficio mutuo. Es por esto que el término BIM se refiere tanto a la metodología como al modelo que permite obtener.

El Modelo BIM es un prototipo virtual que reproduce digitalmente lo que se pretende construir o explotar en la realidad. Es una base de datos orientada a objetos que representan tridimensionalmente elementos constructivos.

Estos elementos contienen información relativa a la construcción y permite su visualización interactiva, lo cual facilita la comunicación entre los agentes a la vez que contribuye a centralizar el conocimiento que estos tienen sobre lo que se está proyectando, construyendo o explotando.

Asimismo, es posible vincular información externa con entidades del BIM, de forma que se pueden relacionar entradas de otros sistemas de gestión de la información, como GMAOs o herramientas de planificación o control de costes con objetos del modelo. Esto facilita enormemente la trazabilidad de esta información y su correcta interpretación por todos los agentes. El modelo contiene la información de forma estructurada y de él se puede extraer cualquier documentación de construcción que se desee: planos 2D, vistas 3D, listados totales y parciales (mediciones, características, etc.), visualización de opciones de diseños, etc., en función de la información con la que se haya enriquecido el modelo.

Sobre la información contenida en el modelo se pueden realizar pruebas virtuales (simulaciones) para la comprobación del funcionamiento de instalaciones,

comportamiento energético, evacuación, flujos, coordinación de trabajos en obra, eficiencia de las medidas de seguridad, seguridad vial, operaciones, etc.

El modelo puede contener, tanto información preexistente de la construcción a gestionar, como información relativa a las diferentes fases de las que se va realizar dicha gestión. Es por ello que permite el análisis de estados sucesivos de la construcción, así como la programación de las acciones a ejecutar sobre la misma. Aunque conceptualmente el BIM es un modelo centralizado, habitualmente se compone de varios submodelos que describen partes bien definidas del edificio.

### > **La información.**

El modelo puede contener toda la información de la construcción, ya sea mediante metadatos o enlaces a documentos externos (web del fabricante, catálogos digitales, documentos en la nube, etc.).

Esta información puede cubrir diferentes aspectos, desde la geometría del objeto hasta sus datos físicos, características de ecoeficiencia, geotecnia, coste, tiempo de ejecución, procedimientos de mantenimiento, factura de compra, resumen de los trabajos de mantenimiento o reparación, entre otros.

BIM está pensado para que la información pueda gestionarse desde diferentes herramientas informáticas, extrayendo la información de partida del modelo, gestionándola, para devolverse posteriormente al mismo. Este proceso es tanto más eficiente y seguro cuanto mayor es su automatización.

La interoperabilidad entre las diferentes herramientas garantiza este tipo de procesos. La información debe incorporarse al modelo de forma estructurada siguiendo estándares nacionales e internacionales, garantizando la universalidad de intercambio de información del conjunto y las partes del modelo.

### > **Niveles de Desarrollo en BIM.**

Información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costes (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D).

Los principales Niveles de desarrollo o madurez en BIM (o LOD, del inglés *Level of Development*) son:

**LOD 100:** nivel básico, en el que los elementos se representan a nivel conceptual.

**LOD 200:** se definen los elementos pudiendo indicar aproximadamente cantidades, tamaños, forma, ubicación, e información gráfica.

**LOD 300:** se definen los elementos indicando tamaños, forma, ubicación, e información gráfica a nivel de proyecto de ejecución.

**LOD 400:** se indica información específica del sistema constructivo, uso y montaje adecuados para la ejecución de la obra.

**LOD 500:** corresponde al nivel constructivo necesario para la obra “as built”. El nivel de desarrollo no debe confundirse con el Nivel de Detalle, que corresponde al nivel de riqueza de información del proceso constructivo.

>

Algunos de los principales estándares de objetos BIM son:

**IFC (Industry Foundation Class):** la norma ISO 16739 define este formato para el intercambio de datos.

**eCOB:** estándar de creación de objetos BIM que intenta aportar una base común para los distintos agentes que intervienen en el sector. El estándar denominado “eCOB”, se basa en la visión global que aporta el formato abierto IFC, complementado con las características propias de la construcción y de la normativa españolas.

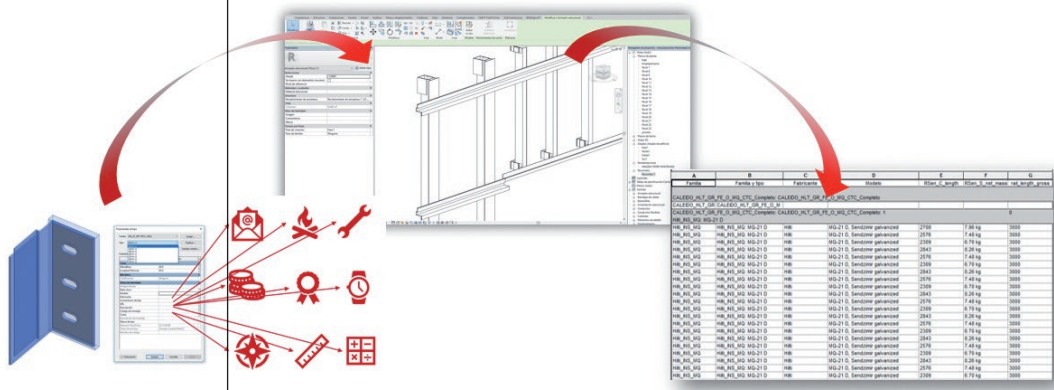
Los objetos deben especificar sus propiedades. Cada propiedad tiene definido de un modo inequívoco su nombre, la unidad de medición, y la justificación o relación de dichos valores con la normativa constructiva de aplicación.

### 8.3 Aplicaciones de BIM en fachadas ventiladas

BIM constituye una solución para gestión de proyectos de fachada ventilada, siendo algunas de las aplicaciones más habituales las siguientes.

## Cuantificación de mediciones

El modelo BIM no sólo permite visualizar en 3D la solución final, sino que proporciona información muy útil del proyecto. Un ejemplo de ello es la cuantificación de mediciones de las partidas de fachada ventilada, permitiendo extraer mediciones exactas y fiables, optimización de cortes de perfiles para la subestructura, control de las mermas generadas por los cortes de compensación de las placas/paneles, etc.



**Figura 225.**

**Cuantificación de** **Análisis de datos/información**

**mediciones con el  
modelo BIM.**

A través de la información que brinda el propio modelo 3D, así como de los datos que se pueden extraer de sus familias paramétricas, se puede conseguir una mayor optimización del diseño de la fachada. La visualización en el modelo BIM de la solución de fachada ventilada y de su proceso de montaje facilita un análisis en profundidad de la misma, determinando su validez y viabilidad en fases tempranas del proyecto. Dentro de este análisis, cobra especial importancia el ejercicio de

detección de posibles interferencias con otras disciplinas y trabajos, a través del cual se anticipan los problemas que podrían encontrarse en fase de ejecución en un proceso tradicional como consecuencia de las mismas. Al detectar y corregir estas interferencias en fases tempranas, se eliminan futuras paradas de trabajos y retrasos en la obra por errores de diseño.

Por otro lado, el modelo BIM pone a disposición todos los datos e información necesarios para el mantenimiento y operación del edificio, pudiendo contener los informes de cálculo de la fachada ventilada, las fichas técnicas, homologaciones, certificados, etc., de sus componentes, la trazabilidad de las comunicaciones desarrolladas durante el proyecto, etc.

En definitiva, disponer de una única fuente de datos e información genera un flujo de trabajo más eficiente, lo que se traduce en productividad en la obra.

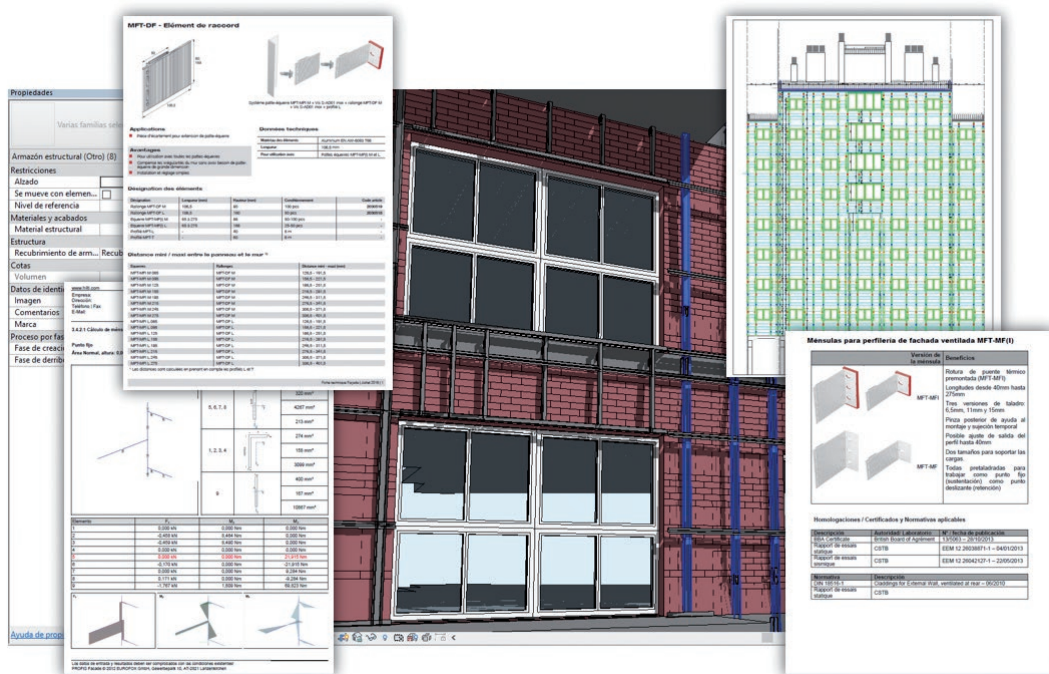


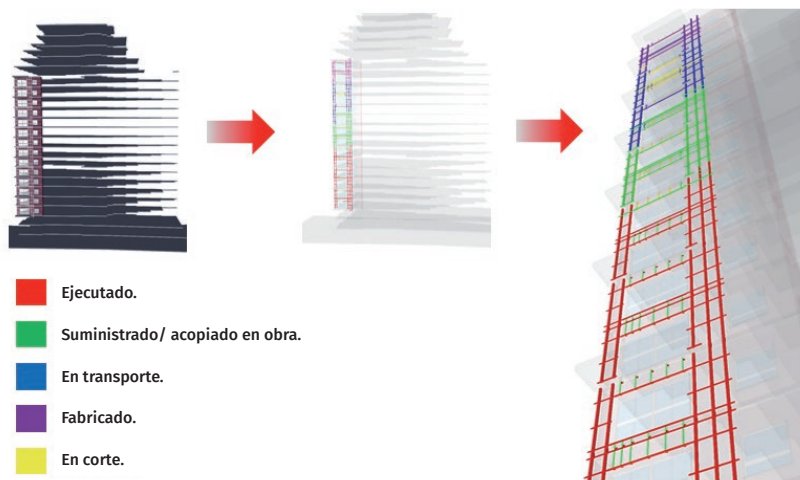
Figura 226.

## **Análisis de datos con el Control de suministros y costes** **modelo BIM.**

A través de la información que facilita el modelo BIM de fachada ventilada, se puede coordinar la logística y suministros de material, controlando la producción y certificaciones mensuales de obra. De manera muy sencilla, se pueden establecer códigos de colores para los componentes de la fachada ventilada y extraer, en una tabla de planificación, qué componentes han sido fabricados ya, qué componentes se encuentran en fase de corte, qué parte está ya instalada, qué parte está acopiada en obra, qué falta por suministrar, etc.

En definitiva, el modelo BIM constituye una herramienta de gestión de acopios y pedidos muy eficiente.

**Figura 227.**  
**Control de suministros**  
**con el modelo BIM.**

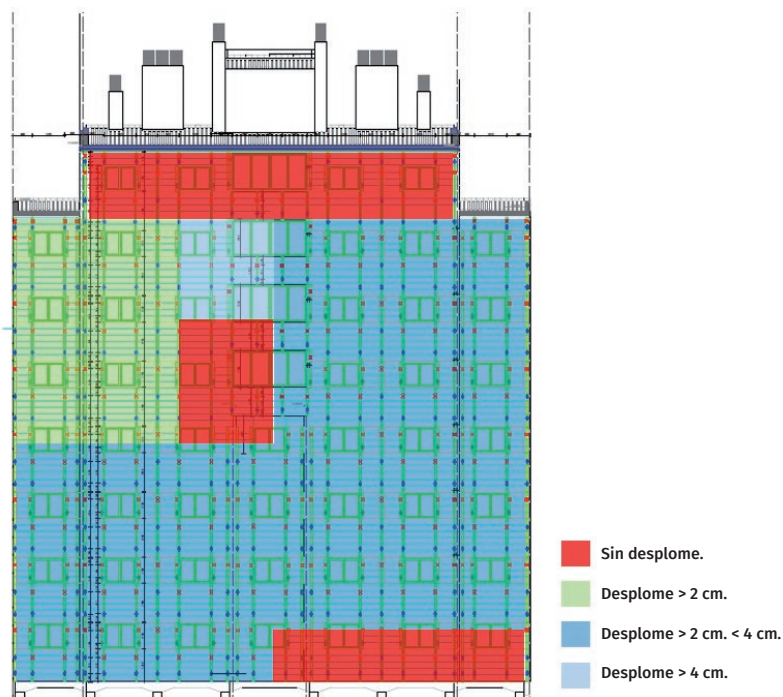


## Control de desplomes

Existen numerosas herramientas en el mercado que permiten la extracción y vuelco de datos de la obra al modelo BIM y del modelo a la obra, ya sea a través de escáneres o de estaciones totales. En una rehabilitación, por ejemplo, resulta de gran utilidad conocer los posibles desplomes existentes en el edificio, de cara a un diseño adecuado de la subestructura.

Al volcar la información en el modelo BIM, resulta muy sencillo de nuevo controlar la logística de las ménsulas, que deben tener una salida adecuada en función de los desplomes existentes en cada alzado:

**Figura 228.**  
**Control de desplomes**  
**con el modelo BIM.**





## ANEXO A: DAP

### A

### Contenido de una DAP

Todos los productos y materiales de construcción deben declarar los módulos A1-A3, los módulos C1-C4 y el módulo D.

Si no se declaran los módulos C1 a C4 y el módulo D se ha de justificar.

### >

#### Módulos A1-A3.

Fabricación hasta la fase de final de desgaste o residuos finales incluyendo cualquier embalaje que no salga de la puerta de la fábrica con el producto.

#### A1

Obtención de la materia prima (p.e. la extracción minera) y producción y procesamiento de biomasa (p.e. actuaciones agrícolas o forestales). La reutilización de productos o materiales de un sistema previo del producto. El procesamiento de materiales secundarios usados en la fabricación del producto, pero sin incluir los procesos incluidos en la selección de residuos en un sistema previo del producto. Generación de electricidad, vapor y calor a partir de recursos de energía primaria, incluyendo su extracción, refinado y transporte. Recuperación de energía y otros procesos de recuperación a partir de combustibles secundarios, sin incluir los procesos incluidos en la selección de residuos en un sistema previo del producto.

#### A2

Transporte hasta la puerta de la fábrica y transporte interno.

#### A3

Fabricación. Fabricación de materiales auxiliares o preproductos, fabricación de productos y coproductos, fabricación del embalaje.

Módulos A4-A5. Fase del proceso de construcción. Almacenaje del producto, incluyendo la previsión de calefacción, acondicionamiento, control de la humedad, etc. Desgaste de los productos de construcción (procesos adicionales de fabricación para compensar la pérdida por desgaste de los productos). Procesado del desgaste de los productos de embalaje y durante los procesos de construcción hasta la fase de final de desgaste o disposición de los residuos finales.

#### A4

Transporte desde la puerta de la fábrica a la obra de construcción.

#### A5

Proceso de construcción-instalación. Colocación del producto en el edificio incluyendo la fabricación y transporte de materiales auxiliares y cualquier energía o agua necesarios para la instalación o funcionamiento de la obra de construcción. También incluye las operaciones del producto in-situ.





### **Módulos B1-B7.**

Fase de uso.

### **Módulos B1-B5.**

Módulos de información de la fase de uso relacionados con la estructura del edificio.

#### **B1**

Uso del producto instalado en relación a cualquier emisión al medioambiente (no incluida en B2-B7).

#### **B2**

Mantenimiento.

#### **B3**

Reparación.

#### **B4**

Sustitución.

#### **B5**

Renovación.

### **Módulos B6-B7.**

Módulos de información de la fase de uso relacionados con el funcionamiento del edificio.

#### **B6**

Uso de energía para el funcionamiento de los sistemas técnicos integrados en el edificio.

#### **B7**

Consumo de agua por los sistemas técnicos integrados en el edificio.



### **Módulos C1-C4.**

Fase de final de vida útil.

#### **C1**

Deconstrucción, incluyendo la demolición, del producto en relación al edificio, incluye la selección de materiales in-situ.

#### **C2**

Transporte del material descartado como parte del proceso de residuos, bien a una instalación de reciclaje bien a su eliminación final.

### C3

Proceso de residuos para su reuso, reciclado y recuperación de energía.

### C4

Eliminación de desechos incluyendo pretratamiento físico y gestión de la instalación de eliminación.



#### Típos de DAPs:

- > Cuna a puerta. Módulos A1-A3, C1-C4 y D. Es la declaración mínima.
- > Cuna a puerta con opciones. Como la anterior más módulos opcionales (A4, A5 y B1-B7).
- > Cuna a tumba. Módulos A, B, C y D.

En principio, la comparación de productos en base a sus DAPs se define mediante su contribución a la prestación medioambiental del edificio.

Por lo tanto, la comparación de la prestación medioambiental de los productos de construcción usando la información de la DAP debe basarse en el uso del producto en el edificio y en su impacto en el mismo y debe considerarse el ciclo de vida completo (todos los módulos con información).

Si no se utilizan en el contexto del edificio, las DAPs no son herramientas para comparar productos de construcción.

Los únicos responsables de la DAP son el fabricante o grupo de fabricantes. Se tiene que dejar claro qué tipo de DAP se ha elaborado, sectorial, específica de una empresa o genérica. Si se pretende utilizar una DAP sectorial, la organización responsable de la DAP debe autorizar su uso al fabricante que lo solicite.

Las DAPs se refieren a situaciones y usos específicos tomando como base la unidad funcional o pueden cubrir diferentes situaciones y usos tomando como base la unidad declarada. Por lo que la unidad funcional o declarada deben quedar definidas de forma clara y ser medibles.

En el caso de usar la unidad funcional junto a sus prestaciones declaradas de funcionamiento y técnicas, se ha de incluir cualquier mantenimiento o reparación necesarios.

En la DAP se debe incluir la declaración de que las DAPs de diferentes productos no son comparables si no cumplen la EN 15804.

En caso de que una DAP se haga para una prestación medioambiental media de un número de productos, se debe indicar en la declaración junto con la descripción del intervalo/variabilidad de los resultados del análisis del ciclo de vida (ACV) si es significativo.

## B

### Indicadores de los impactos medioambientales



#### Categorías de impacto:

- > Agotamiento de los recursos abióticos – elementos minerales.
- > Agotamiento de los recursos abióticos – combustibles fósiles.
- > Acidificación.
- > Agotamiento de ozono.
- > Calentamiento global total.
- > Potencial de calentamiento global debido a emisiones y eliminación del carbón fósil.
- > Potencial de calentamiento global debido a emisiones y eliminación del carbón.
- > Potencial de calentamiento global debido a emisiones y eliminación por el uso de la tierra y la transformación del uso de la tierra.
- > Eutrofización terrestre.
- > Eutrofización de las aguas dulces.
- > Eutrofización del agua marina.
- > Creación de ozono fotoquímico.
- > Escasez de agua.

#### > **Impactos medioambientales adicionales**

- > Toxicidad para el hombre, efectos cancerígenos.
- > Toxicidad para el hombre, efectos no cancerígenos.
- > Ecotoxicidad (aguas dulces).
- > Impactos relacionados con el uso de la tierra / calidad del suelo.
- > Emisiones de partículas materiales.
- > Radiación ionizante, salud humana.

#### > **Situaciones e información técnica adicional**

- > Módulo A4. Transporte a la obra.
  - Tipo de combustible y consumo del vehículo o vehículo tipo usado para el transporte (camiones, barcos, etc.) Unidad: litro de tipo de combustible por distancia o vehículo tipo.
  - Distancia. Unidad: km.
  - Capacidad de uso (incluyendo viajes de vuelta de vacío). Unidad: %.
  - Densidad del volumen de productos transportados. Unidad: kg/m<sup>3</sup>.
  - Factor de uso de la capacidad de volumen, para productos comprimidos o encajados en el embalaje). Unidad: no aplicable.

> Módulo A5. Instalación en el edificio.

- Materiales auxiliares para la instalación. Unidad: kg u otras unidades que sean convenientes.
- Uso de agua. Unidad: m<sup>3</sup>.
- Uso de otros recursos. Unidad: kg.
- Descripción cuantitativa del tipo de energía (mix nacional) y consumo durante el proceso de instalación. Unidad kWh o MJ.
- Materiales de desecho en la obra antes del procesamiento de residuos, generados por la instalación del producto. Unidad: kg.
- Materiales de salida debido al proceso de residuos en la obra. Unidad: kg.
- Emisiones directas al ambiente (al aire, al suelo y al agua). Unidad: kg.

> Módulo B2. Mantenimiento.

- Proceso de mantenimiento. Unidad: descripción o fuente en la que puede encontrarse la descripción.
- Ciclo de mantenimiento. Unidad: número por año.
- Materiales auxiliares para el mantenimiento. Unidad: kg/ciclo.
- Material de desecho resultado del mantenimiento. Unidad: kg.
- Consumo neto agua durante el mantenimiento. Unidad: m<sup>3</sup>.
- Consumo de energía durante el mantenimiento. Unidad: kWh.

> Módulo B3. Reparación.

- Proceso de reparación. Unidad: descripción o fuente en la que puede encontrarse la descripción.
- Proceso de inspección. Unidad: descripción o fuente en la que puede encontrarse la descripción.
- Ciclo de reparación. Unidad: número por año.
- Materiales auxiliares. Unidad: kg o kg/ciclo.
- Material de desecho resultado de la reparación. Unidad: kg.
- Consumo neto agua durante la reparación. Unidad: m<sup>3</sup>.
- Consumo de energía durante la reparación. Unidad: kWh, kWh/ciclo.

> Módulo B4. Sustitución.

- Ciclo de sustitución. Unidad: número por año.
- Consumo de energía durante la sustitución. Unidad: kWh.
- Cambio de componentes desgastados durante el ciclo de vida del producto. Unidad: kg.

> Módulo B5. Renovación.

- Proceso de renovación. Unidad: descripción o fuente en la que puede encontrarse la descripción.
- Ciclo de renovación. Unidad: año.
- Consumo de energía durante la renovación. Unidad: kWh.
- Material necesario para la renovación. Unidad: kg, kg/ciclo.
- Material de diseño debido a la renovación. Unidad: kg.
- Otros supuestos para el desarrollo de la situación. Unidad: según sea apropiado.

> Módulos B6-B7. Uso de energía y consumo de agua.

- Materiales auxiliares. Unidad: kg o unidad.
- Consumo neto de agua. Unidad: m<sup>3</sup>.
- Tipo de energía transportada. Unidad: kWh.
- Potencia de salida del equipo. Unidad: kW.
- Prestación y características. Unidad: según sea apropiado.
- Otros supuestos para el desarrollo de la situación. Unidad: según sea apropiado.

> Fin de vida útil.

- Proceso de separación por tipo. Unidad: kg recuperado por separado, kg recuperado junto con otros residuos de la construcción.
- Sistema de recuperación por tipo. Unidad: kg para reuso, kg para reciclado, kg para recuperación de energía.
- Eliminación por tipo. Unidad: kg de producto o material para su eliminación definitiva.
- Supuestos para el desarrollo de la situación. Unidad: según sea apropiado.

## ANEXO B: Certificaciones de sostenibilidad en edificios

### A Principales métodos de evaluación de la sostenibilidad de los edificios

#### > BREEAM

Es uno de los métodos más utilizados, y el precursor de los sistemas de certificación ambiental. Está dirigido por el BRE Trust (anteriormente denominado Fundación para el entorno construido), a través de sus compañías subsidiarias BRE Global Limited y FBE Management Ltd.

BREEAM (Building research establishments assessment method) es un método de certificación, que forma a asesores específicos para poder realizar las evaluaciones, mientras que la certificación la realiza BRE Global.

Comenzó a desarrollarse en los años 90, primeramente, limitándose a evaluar los aspectos energéticos, pero posteriormente fue ampliándose, y en la actualidad tiene en cuenta un amplio rango de temas ecológicos, ambientales y de salud.

Existen versiones para distintas tipologías y dispone de un equivalente específico para viviendas, denominado “Código del Gobierno Británico para las Viviendas Sostenibles” (Code for Sustainable Homes, CSH), que sustituyó (parcialmente) en 2007 al anterior programa Ecohomes. Este Código ha sido elaborado por el Departamento de Gobierno Local y Comunidades del Reino Unido y establece su obligatoriedad para nuevos edificios, dentro de la política de lucha contra el cambio climático.

- > Establecimientos comerciales.
- > Educación.
- > Prisiones.
- > Juzgados.
- > Centros de salud y usos hospitalarios.
- > Unidades industriales.
- > Residencial colectivo.

Sin embargo, también existen otras versiones especiales. Por ejemplo, Ecohomes sigue vigente en Escocia para nuevas viviendas y se aplica en rehabilitaciones en todo Reino Unido.

La forma de funcionamiento se basa en la obtención de puntos o “créditos” por el cumplimiento de una serie de requisitos. En función de los impactos ambientales relacionados con ellos los créditos se agrupan en los siguientes aspectos.

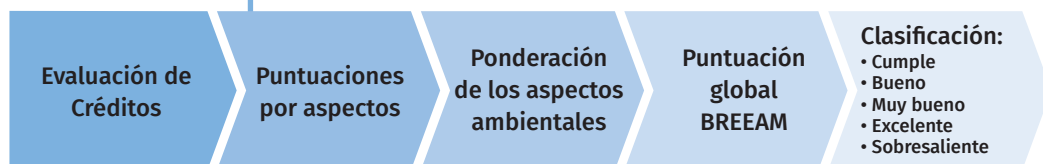
- > Energía.
- > Gestión.
- > Salud y Bienestar.
- > Transporte.
- > Agua.
- > Materiales.
- > Residuos.
- > Uso de suelo.
- > Contaminación.
- > Ecología.

El número total de puntos obtenido en cada sección se multiplica por un factor de ponderación que tiene en cuenta la importancia relativa de cada sección. Las puntuaciones obtenidas en las secciones, multiplicadas por su factor de ponderación se suman para obtener un resultado global.

Respecto a la puntuación máxima de 100 que puede obtener cada edificio se clasifican los edificios tal como sigue:

- > **Cumple**, puntuación > 30.
- > **Bueno**, puntuación > 45.
- > **Muy bueno**, puntuación > 55.
- > **Excelente**, puntuación > 70.
- > **Sobresaliente**, puntuación > 85.

El siguiente diagrama muestra las fases del proceso de evaluación:



#### *Fases del proceso de evaluación BREEAM.*

Las evaluaciones mediante el BREEAM son desarrolladas por asesores independientes formados por BRE y con licencia concedida por ellos. BRE es responsable del contenido técnico del sistema, la formación y capacitación de los evaluadores, garantiza la calidad del proceso, la certificación de cada evaluación y, finalmente, la actualización regular de las distintas versiones del BREEAM. Un "Panel de Sostenibilidad" supervisa las guías BRE, sus publicaciones, normas y sistemas de certificación en relación con la edificación ambientalmente sostenible.

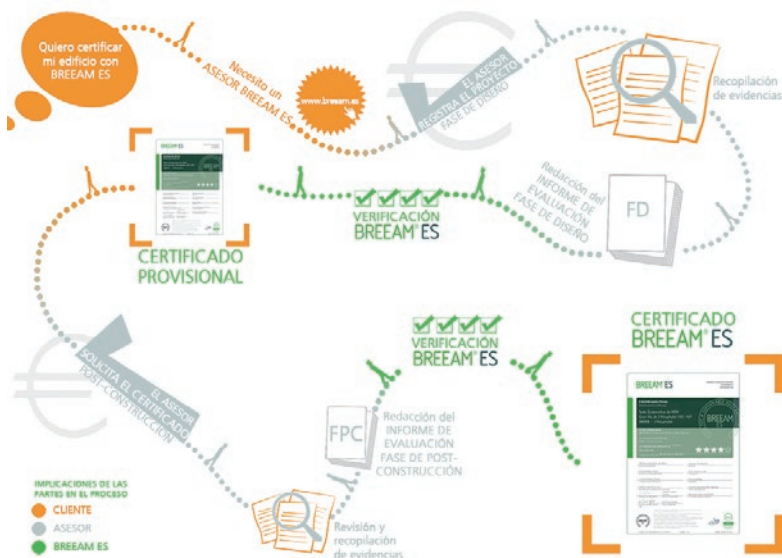
Las funciones se reparten de la siguiente manera entre las partes involucradas en el proceso de evaluación..

- > **Recopilación de la información** El equipo de diseño / El gestor del edificio / El asesor BREEAM.



- > **Realización de la evaluación** Asesores con licencia otorgada por BREEAM.
- > **Verificación** por tercera parte BRE Global.
- > **Certificación** BRE Global.

En el diagrama de flujo que se muestra a continuación pueden verse las fases que van desde la solicitud del cliente hasta la emisión del certificado, indicando los responsables de cada fase.



Fases del proceso

BREEAM.



LEED

El sistema LEED, Leadership in Energy and Environmental Design (Liderazgo en el Diseño Ambiental y Energético), es un programa de certificación voluntario creado por el Green Building Council de Estados Unidos (USGBC). Aunque inicialmente su enfoque era local, en estos momentos el sistema es conocido a nivel mundial.

El sistema no es universal para todo tipo de edificios, sino que en función del tipo de edificio se define una versión específica, para cada una de las cuales se crea un listado de comprobación. Los distintos tipos de edificio se enumeran a continuación:

- > Nuevas construcciones y grandes rehabilitaciones.
- > Edificios existentes: gestión y mantenimiento.
- > Interiores comerciales.
- > Edificios a concretar el uso interno (*Core & Shell*).
- > Escuelas.
- > Viviendas.
- > Centros de salud.
- > Desarrollo urbanístico.
- > Comercio.

Las versiones de LEED para evaluar distintas tipologías se realizan mediante comités LEED formados por expertos de la industria de la construcción. Actualmente está disponible la versión 3.0 del LEED. Ha servido de base a otros sistemas, como LEED India.

Al igual que en el BREEAM, se otorgan puntos o “créditos” por el cumplimiento de una serie de requisitos. Las puntuaciones son agrupadas en las siguientes “secciones”, en función de los impactos ambientales relacionados con ellos.

- > Parcela sostenible.
- > Eficiencia en consumo de agua.
- > Energía y atmósfera.
- > Materiales y recursos.
- > Calidad del aire interior.
- > Situación y relación con su entorno (para LEED viviendas).
- > Concienciación y educación (para LEED viviendas).
- > Innovación en el diseño.
- > Prioridades ambientales regionales.

El número total de puntos obtenidos en cada sección se multiplica por un factor de ponderación que tiene en cuenta la importancia relativa de cada sección. Las puntuaciones obtenidas en las secciones, multiplicadas por su factor de ponderación se suman para obtener un resultado global. De esta manera puede obtenerse una puntuación de hasta 100 puntos por edificio.

Adicionalmente a esos 100 puntos pueden sumarse 10 créditos más, cuatro de los cuales hacen referencia a aspectos ambientales específicos regionales, siendo los otros 6 otorgados por la implementación de innovaciones en el diseño, más allá de los requisitos requeridos por LEED. Por ello, la puntuación máxima obtenible por proyecto puede llegar a ser de 110 puntos.

Asimismo, un proyecto debe cumplir con todos los pre-requisitos establecidos y obtener un mínimo de puntos (40) para poder certificarse.

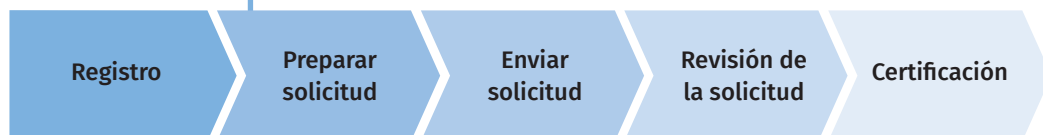
- > **Certificado**, puntuación > 40.
- > **Plata**, puntuación > 50.
- > **Oro**, puntuación > 60.
- > **Platino**, puntuación > 80.

El listado de requisitos que LEED presenta y los créditos que se conceden son públicos, por lo que puede servir como pre-evaluación para los equipos redactores, permitiendo identificar aquellas áreas en las que el proyecto tiene capacidad de mejora.

El proyecto ha de registrarse en la web como paso previo a la certificación. Cada crédito y pre-requisito LEED tiene unos requerimientos que han de cumplirse como paso del proceso de solicitud de certificación. Se recopila la información del proyecto que justifique cada requisito y se realizan los cálculos necesarios. Una vez reunida toda la documentación, debe subirse al LEED Online para poder comenzar el proceso de revisión.

La revisión puede realizarse independientemente para el diseño y la construcción o bien de manera conjunta para ambas.

Finalmente, tras el proceso de revisión por parte de LEED, llega la certificación, que podrá ser aceptada o apelada por el equipo de diseño.



## VERDE

La herramienta VERDE ha sido desarrollada por el Comité Técnico GBC con la colaboración del Grupo de Investigación ABIO-UPM, instituciones y empresas asociadas a GBC España, y se basa en el SBTool.

VERDE calcula la reducción de impactos asociados a un número total de 42 criterios en relación a los impactos que genera un edificio de referencia a lo largo del ciclo de vida del edificio. El edificio de referencia es siempre un edificio estándar que cumple estrictamente las exigencias mínimas fijadas por las normas y por la práctica común. Se aplica a edificios de nueva construcción, pertenecientes a las tres tipologías edificatorias:

- > Residencial.
- > Oficinas.
- > Otros (Sector comercial, hoteles, centros educativos, hospitales).

La metodología VERDE se basa en una aproximación al análisis de ciclo de vida en cada etapa del proceso edificatorio. Como diferencia con el SBTool, contempla la fase de fin de vida, rehabilitación o demolición.

A diferencia de los otros métodos que se han explicado, éste agrupa los criterios a evaluar en dos grandes grupos, los relacionados con la planificación urbana por un lado y los asociados al edificio por otro.

- > Planificación Urbana.

### **A** Selección del sitio, proyecto de emplazamiento y planificación.

- > Edificio.

### **B** Energía y atmósfera.

### **C** Recursos naturales.

### **D** Calidad del espacio interior.

### **E** Calidad del servicio.

### **F** Impacto socio económico.

Para llevar a cabo la comparación, a cada criterio (clasificado por áreas) se le asocia una puntuación de referencia. Estos valores se establecen en función de la normativa vigente aplicable y del análisis de los valores de rendimiento usuales del edificio en la zona.

La puntuación se establece de 0 a 5 en la forma siguiente:

- > 0 valor de referencia que corresponde al cumplimiento normativo, práctica habitual o valor medio.
- > 3 valor que define la calificación de buenas prácticas.
- > 5 valor que corresponde a la mejor práctica posible con un coste aceptable.

El valor final de la evaluación se obtiene mediante la ponderación de los impactos reducidos en relación al edificio de referencia. El peso asignado a cada impacto está relacionado con la importancia de dicho impacto en la situación mundial en aquellos impactos de carácter global y de la situación del entorno próximo en los impactos locales y regionales.

El resultado final se expresa como la reducción de impactos por la aplicación de medidas reductoras y con el peso asociado a cada impacto con una puntuación final de 1 a 5 hojas verdes, indicando 0 hojas un mal comportamiento ambiental y 5 hojas la mejor práctica posible.

- > 0 hojas (0-0,5 puntos).
- > 1 hoja (0,5 -1,5 puntos).
- > 2 hojas (1,5 -2,5 puntos).
- > 3 hojas (2,5 -3,5 puntos).
- > 4 hojas (3,5 -4,5 puntos).
- > 5 hojas (4,5 -5 puntos).

La evaluación se realiza a tres niveles.

- > HV1 - Evalúa la fase de prediseño.
- > HV2 - Evalúa las fases de diseño y construcción.
- > HV3 - Evalúa la fase de uso del edificio y puede utilizarse para obtener el certificado ecológico.

El diagrama que se muestra a continuación recoge los pasos del proceso de evaluación.





Supervisión técnica de la solicitud de certificación y de la evaluación realizada, comunicación de resultados preliminares al solicitante y plazo para la presentación de documentación adicional de mejora



Propuesta de certificación y toma de decisión



Emisión de certificados

La certificación HQETM (High Quality Environmental) es un método de evaluación y certificación de la sostenibilidad en la construcción, planificación urbana e infraestructuras con más de 20 años en el mercado, que reúne a profesionales para ofrecer a todos un entorno de vida más saludable.

Los esquemas de certificación se desarrollan a partir de los trabajos de investigación del CSTB (Centro Científico y Técnico de la Construcción) y de Qualitel. La certificación HQETM en España proviene de un acuerdo firmado entre TECNALIA y CERWAY, entidades certificadoras. A través de este acuerdo, Tecnalia formará a Referentes en el esquema para poder implantar la certificación HQE en los proyectos, mientras que la certificación la realizará Tecnalia con auditorías realizadas presencialmente.

La certificación HQETM abarca edificios **residenciales, comerciales, administrativos o de servicios**, ya sea en fase de construcción, rehabilitación o en uso, así como la planificación urbana y gestión del territorio. Desde el año 2018 se ha incluido en el alcance de la certificación un nuevo esquema de certificación sostenible que abarca las **infraestructuras**.

- > **Medioambiente:** Emplazamiento, Componentes, Obra, Residuos, Agua, Mantenimiento.
- > **Salud:** Calidad del espacio, Calidad del Aire, Calidad del agua.
- > **Confort:** Confort Higrotérmico, Confort Acústico, Confort Visual, Confort Olfativo.
- > **Energía:** Energía.

Hay cinco categorías posibles en función de la puntuación global obtenida del total de estrellas obtenidas en cada una de las 4 categorías (16 estrellas máximo). Para un nivel Excepcional se requiere un nivel equivalente a 3 estrellas en la categoría de Energía, independientemente del número de estrellas obtenidas:

- > **HQE ACEPTABLE:** Sin estrellas y logro de todos los PRE-REQUISITOS:
- > **HQE BUENO:** Entre 1 y 4 estrellas.
- > **HQE MUY BUENO:** Entre 5 y 8 estrellas.
- > **HQE EXCELENTE:** Entre 9 y 11 estrellas.
- > **HQE EXCEPCIONAL:** 12 estrellas o más.

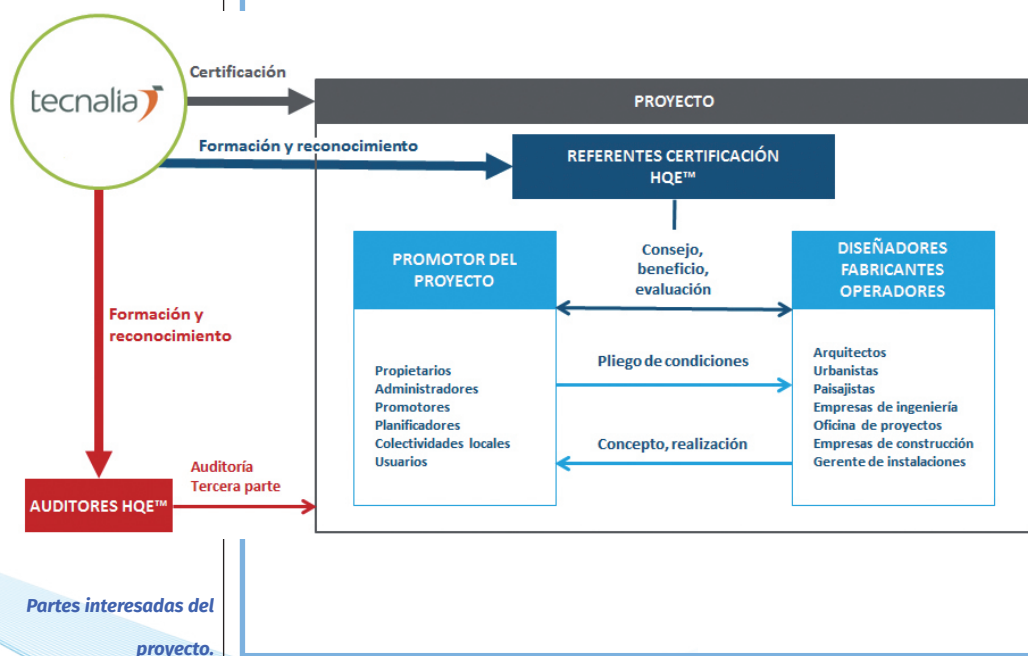
Fases del proceso de evaluación:



Las partes interesadas del proyecto de certificación:

- > **HEl Solicitante:** Persona o Entidad por la que el proyecto es construido, reformado, acondicionado u operado.
- > **El Referente** de la certificación HQE™: Reconocido por TecNALIA, efectúa evaluaciones y asiste al “solicitante” a lo largo de los procedimientos de certificación. El solicitante así mismo puede ser un Referente cualificado, o estar involucrado en la elaboración del proyecto.
- > **El Auditor:** Tercera parte independiente, formado, cualificado y designado por TecNALIA. Realiza las auditorías presenciales de los proyectos.

En el diagrama siguiente que se muestra a continuación pueden verse las partes interesadas del proyecto de certificación.



## B Otros esquemas de certificación

### > Certificación WELL

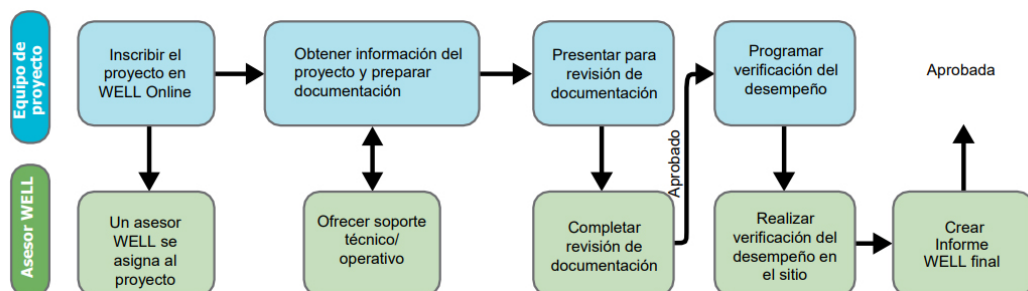
El WELL Building Standard® (Estándar de Construcción WELL o WELL) es un estándar que se basa en el desempeño y fusiona las mejores prácticas en diseño y construcción con intervenciones en materia de salud y bienestar basadas en pruebas concretas. El cumplimiento de WELL requiere la presentación de la documentación de diseño requerida, así como el desempeño exitoso en ciertos criterios medibles.

El Estándar de Construcción WELL está organizado en siete categorías de bienestar denominadas “conceptos”: aire, agua, nutrición, luz, ejercicio, confort y mente. Cada concepto se compone de múltiples características, destinadas a abordar aspectos específicos de la salud, el confort y los conocimientos de los ocupantes. Cada característica se divide en partes, que a menudo se ajustan a un tipo específico de edificio. Cada parte tiene uno o más requisitos que determinan parámetros específicos que se deben cumplir.

Para satisfacer una característica, se deben cumplir todas las partes aplicables de esa característica. La aplicabilidad de una parte queda determinada por el tipo y alcance del espacio del proyecto.

Los requisitos de WELL pueden ser condiciones basadas en el desempeño, que permiten flexibilidad en la forma en que un proyecto cumple con los umbrales cuantificables aceptables o bien especificaciones prescriptivas, que incluyen tecnologías específicas, estrategias de diseño o protocolos a implementar. Las características WELL se clasifican como precondiciones u optimizaciones. Las precondiciones son necesarias para todos los niveles de la certificación WELL. Las optimizaciones son características adicionales, cierto porcentaje de las cuales se debe lograr dependiendo del grado de cumplimiento que se busque lograr.

Se muestran a continuación los pasos para obtener la certificación WELL.



**Pasos para obtener la  
certificación WELL.**

Más información: <https://www.wellcertified.com/>



## FUENTE DE LAS FIGURAS

- Figura 1.* Elaboración propia  
*Figura 1a.* Ferrés Arquitectos y Consultores  
*Figura 2.* Elaboración propia  
*Figura 3.* Elaboración propia  
*Figura 4.* Elaboración propia  
*Figura 5.* Elaboración propia  
*Figura 6.* Elaboración propia  
*Figura 7.* Elaboración propia  
*Figura 8.* Elaboración propia  
*Figura 9.* FVHF  
*Figura 10.* Elaboración propia  
*Figura 11.* TRESPA  
*Figura 12.* Elaboración propia  
*Figura 13.* Elaboración propia  
*Figura 14.* Elaboración propia  
*Figura 15.* TRESPA  
*Figura 16.* TRESPA  
*Figura 17.* Elaboración propia  
*Figura 18.* HILTI  
*Figura 19.* HILTI  
*Figura 20.* HILTI  
*Figura 21.* HILTI  
*Figura 22.* HILTI  
*Figura 23.* HILTI  
*Figura 24.* HILTI  
*Figura 25.* HILTI  
*Figura 26.* HILTI  
*Figura 27.* HILTI  
*Figura 28.* HILTI  
*Figura 29.* HILTI  
*Figura 30.* HILTI  
*Figura 31.* HILTI  
*Figura 32.* HILTI  
*Figura 33.* HILTI  
*Figura 34.* HILTI  
*Figura 35.* HILTI  
*Figura 36.* HILTI  
*Figura 37.* HILTI  
*Figura 38.* TINO Natural Stone  
*Figura 39.* HILTI  
*Figura 40.* HILTI  
*Figura 41.* HILTI  
*Figura 42.* HILTI  
*Figura 43.* EAD 090062-00-0404  
*Figura 44.* UNE-EN 2203:2011  
*Figura 45.* DAU 19-114 Sika Tack Panel  
*Figura 46.* TRESPA  
*Figura 47.* NAOS 04 Arquitectura  
*Figura 48.* TRESPA  
*Figura 49.* TRESPA. ASISA. Arquitecta Cristina Méndez  
*Figura 50.* TRESPA  
*Figura 51.* TRESPA. Arquitecto Joan Ros  
*Figura 52.* ROCKWOOL. Arquitectura Instra Ingenieros S.L.  
*Figura 53.* TRESPA  
*Figura 54.* TRESPA. Fabre&Torrás Arquitectos  
*Figura 55.* TRESPA  
*Figura 56.* TRESPA. Arquitectos Amaya y Pedro Gutierrez  
*Figura 57.* COSENTINO®  
*Figura 58.* COSENTINO®  
*Figura 59.* COSENTINO®  
*Figura 60.* COSENTINO®  
*Figura 61.* COSENTINO®  
*Figura 62.* COSENTINO®  
*Figura 63.* COSENTINO®  
*Figura 64.* COSENTINO®  
*Figura 65.* COSENTINO®  
*Figura 66.* DECEUNINCK  
*Figura 67.* DECEUNINCK  
*Figura 68.* SIKA  
*Figura 69.* ROCKWOOL. Arquitecto Luc Nooijen  
*Figura 70.* Alucoil®  
*Figura 71.* Alucoil®  
*Figura 72.* Alucoil®  
*Figura 73.* Alucoil®  
*Figura 74.* Alucoil®  
*Figura 75.* Alucoil®  
*Figura 76.* Alucoil®  
*Figura 77.* Alucoil®  
*Figura 78.* Alucoil® Touza Arquitectos  
*Figura 79.* Alucoil®  
*Figura 80.* Alucoil®  
*Figura 81.* Alucoil®  
*Figura 82.* Alucoil®  
*Figura 83.* Alucoil®  
*Figura 84.* Alucoil® Gina Barcelona Arquitectos  
*Figura 85.* Alucoil®  
*Figura 86.* Alucoil®  
*Figura 87.* Alucoil®  
*Figura 88.* Alucoil®  
*Figura 89.* Alucoil®  
*Figura 90.* Alucoil® X-TU Arquitectos  
*Figura 91.* Alucoil®  
*Figura 92.* Alucoil®  
*Figura 93.* Alucoil®  
*Figura 94.* Alucoil® ACXT Arquitectos  
*Figura 95.* Alucoil®  
*Figura 96.* Alucoil®  
*Figura 97.* Alucoil®  
*Figura 98.* Alucoil®  
*Figura 99.* Alucoil®  
*Figura 100.* Alucoil®  
*Figura 101.* Alucoil®  
*Figura 102.* Alucoil®  
*Figura 103.* Alucoil®  
*Figura 104.* Alucoil®  
*Figura 105.* Alucoil® DS Architects  
*Figura 106.* Alucoil®  
*Figura 107.* Alucoil®  
*Figura 108.* Alucoil®  
*Figura 109.* Alucoil®  
*Figura 110.* Alucoil®  
*Figura 111.* Alucoil®  
*Figura 112.* Sistema MASA  
*Figura 113.* Sistema MASA  
*Figura 114.* Elaboración propia  
*Figura 115.* Sistema MASA  
*Figura 116.* UNE 41957-1:2000  
*Figura 117.* Sistema MASA  
*Figura 118.* Sistema MASA  
*Figura 119.* Sistema MASA  
*Figura 120.* Sistema MASA  
*Figura 121.* Sistema MASA

**Figura 122.** HILTI  
**Figura 122a.** Ferrès Arquitectos y Consultores  
**Figura 123.** HILTI  
**Figura 124.** HILTI  
**Figura 125.** TINO Natural Stone  
**Figura 126.** UNE 22203:2011  
**Figura 127.** UNE 22203:2011  
**Figura 128.** Elaboración propia  
**Figura 129.** UNE 22203:2011  
**Figura 130.** UNE 22203:2011  
**Figura 131.** HILTI  
**Figura 132.** UNE 22203:2011  
**Figura 133.** UNE 22203:2011  
**Figura 134.** STO  
**Figura 135.** STO  
**Figura 136.** STO. Arquitectos Barozzi-Veiga  
**Figura 137.** STO. Amajic Arquitectos  
**Figura 138.** STO. Arquitecto Herzog & De Meuron,  
**Figura 139.** STO. Arquitecta Nekane Guede  
**Figura 140.** URSA  
**Figura 141.** COSENTINO®  
**Figura 142.** TRESPA  
**Figura 143.** TRESPA. Arquitectura PULSEN  
**Figura 144.** TRESPA. Arquitecto Álvaro García  
**Figura 145.** TRESPA. Arquitecto Joan Arias Roig  
**Figura 146.** TINO Natural Stone  
**Figura 147.** TINO Natural Stone  
**Figura 148.** UNE 22203:2011  
**Figura 149.** TINO Natural Stone  
**Figura 150.** Alucoil®  
**Figura 151.** Alucoil®  
**Figura 152.** Alucoil®  
**Figura 153.** ETAG 016-3  
**Figura 154.** www.substech.com  
**Figura 155.** Alucoil®  
**Figura 156.** ASTM D 1781 – 98  
**Figura 157.** Alucoil®  
**Figura 158.** Alucoil® Rafael de la Hoz Arquitectos  
**Figura 159.** Alucoil® Fenwick & Iribarren Architects  
**Figura 160.** Alucoil® Estudio Mmasa  
**Figura 161.** Alucoil®  
**Figura 162.** AluNID  
**Figura 163.** Alucoil®  
**Figura 164.** Alucoil®  
**Figura 165.** Alucoil® BETA Progetti Srl Arquitectos  
**Figura 166.** Alucoil® Herzog & de Meuron Architects  
**Figura 167.** Alucoil® DS Architects  
**Figura 168.** ROCKWOOL L35 Arquitectos, S.A.P  
**Figura 169.** SIDERISE  
**Figura 170.** ENVIROGRAF  
**Figura 171.** ROCKWOOL  
**Figura 172.** SECURO  
**Figura 173.** TECNALIA  
**Figura 174.** TECNALIA  
**Figura 175.** Elaboración propia  
**Figura 176.** Elaboración propia  
**Figura 177.** Elaboración propia  
**Figura 178.** Elaboración propia  
**Figura 179.** TRESPA. Segate Mass Timber

**Figura 180.** TRESPA  
**Figura 181.** TRESPA  
**Figura 182.** TRESPA  
**Figura 183.** TRESPA  
**Figura 184.** TRESPA  
**Figura 185.** TRESPA  
**Figura 186.** COSENTINO®  
**Figura 187.** Google Street View  
**Figura 188.** “TFM: Hacia la Prefabricación y Construcción en Seco de la Fachada Ligera en Edificación Residencial”, Eduardo Gayoso  
**Figura 189.** “TFM: Hacia la Prefabricación y Construcción en Seco de la Fachada Ligera en Edificación Residencial”, Eduardo Gayoso  
**Figura 190.** TRESPA  
**Figura 191.** Elaboración propia  
**Figura 192.** HILTI  
**Figura 193.** Prontuario Ensidesa  
**Figura 194.** Alucoil®  
**Figura 195.** Alucoil®  
**Figura 196.** Alucoil®  
**Figura 197.** Alucoil®  
**Figura 198.** Elaboración propia  
**Figura 199.** Elaboración propia  
**Figura 200.** HILTI  
**Figura 201.** HILTI  
**Figura 202.** STO  
**Figura 203.** HILTI  
**Figura 204.** TRESPA  
**Figura 205.** STO  
**Figura 206.** ROCKWOOL  
**Figura 207.** TRESPA  
**Figura 208.** TRESPA  
**Figura 209.** SFS INTEC  
**Figura 210.** TRESPA  
**Figura 211.** TRESPA  
**Figura 212.** SFS INTEC  
**Figura 213.** SIKA  
**Figura 214.** SIKA  
**Figura 215.** SIKA  
**Figura 216.** SIKA  
**Figura 217.** BOSTIK  
**Figura 218.** BOSTIK  
**Figura 219.** SIKA  
**Figura 220.** BOSTIK  
**Figura 221.** SIKA  
**Figura 222.** BOSTIK  
**Figura 223.** SIKA  
**Figura 224.** SIKA  
**Figura 225.** BOSTIK  
**Figura 226.** HILTI  
**Figura 227.** HILTI  
**Figura 228.** HILTI  
**Figura 229.** HILTI

Todos los croquis del número 1 al al número 22, incluidos en esta publicación, han sido realizados expresamente por Xavier Ferrès para este Manual de Fachadas Ventiladas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Araujo Armero Ramón. La arquitectura como técnica. ATC Ediciones. 2007
- Avellaneda, Jaume - Paricio Ignacio. Los revestimientos de piedra. Bisagra 1999
- CAATB Seminario Façades Lleugeres Ventilades –Jaume Avellaneda i Diaz Grande. Dr-. Arquitecto 1997.
- Dib-Piechowski-Schneider-Soulé. Bardage Rapporté. Conception et Mise en Œuvre. CSTB Editions. Septembre 2018.
- Directriz del IFD para el diseño e instalación de fachadas de pantalla de lluvia con ventilación trasera. Octubre de 2017
- Fachadas ventiladas. Manual técnico. Euronit fachadas y cubiertas. 2006
- Guide de conception. Systèmes de Fixation. Loineau Industrie. Octubre 2019
- Hugues, T; Steiger, L; Weber, J. Piedra Natural. Editorial Gustavo Gili. 2008
- IETCC-CSIC. Seminario 6. Sistemas Constructivos Innovadores para fachadas Ventiladas evaluados con DIT.
- Jung, Oliver. Eng. Ventilated Facade Hygrothermal Behaviour- Congreso ICAE 2015.
- Karsenty, Gérard. La fabrication du bâtiment. Le second oeuvre. Group Eyrolles, 2001.
- Lasheras, José María. Conocimiento de Materiales. 1987
- Martin, Pierre. Pose des menuiseries extérieures. Editions Le Montieur, 2014.
- Montero Fernández de Bobadilla, E. Manual Básico: Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad. Murcia, Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. 2007
- Parda, Cristina - Paricio Ignacio. La fachada ventilada y ligera. Bisagra 2006.
- Rainscreen Cladding, a guide to design principles and practise. J.M.Anderson&J.R. Gill- 1988
- Revista Tectónica n.1. "Fachada Ligera". 1995
- Revista Tectónica Nº 2."Cerramientos pesados". Patón, V. El Nacimiento de una Técnica. Aplacados y paneles. 1996
- Revista Tectónica n.7 "La Junta Seca". 1998
- Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Ana. Fachadas. Cerramientos de Edificios. 2011.
- Schneider, Cédric-Dib, Aziz. Bardage Rapporté sur ossature secondaire métallique. CSTB Editions. Octobre 2015.
- Tratado de construcción. Fachadas y cubiertas. Editorial Munilla-Lería, 2007.

## WEBGRAFÍA

- [www.ifd-roof.com](http://www.ifd-roof.com)
- <https://www.ilouineau.com/>
- <https://www.ifd-roof.com>
- <https://www.ilouineau.com>

## NORMATIVA APLICABLE

- UNE 22203:2011, Productos de piedra natural. Construcción de aplacados de fachadas con piedra natural
- UNE-EN 12670:2003, Piedra natural. Terminología.
- UNE 41957-1, Anclajes para revestimientos de fachadas de edificios. Parte 1: Sub-sistemas para revestimientos ligeros.
- UNE-EN 438-2:2016+A1:2019. Laminados decorativos de alta presión (HPL). Láminas basadas en resinas termoestables (normalmente denominadas laminados). Parte 2: Determinación de propiedades.
- UNE-EN 438-7:2005. Laminados decorativos de alta presión (HPL). Láminas basadas en resinas termoestables (normalmente denominadas laminados). Parte 7: Laminados compactos y paneles de compuesto HPL para acabados de paredes y techos externos e internos.
- UNE-EN ISO 1183-1:2019. Plásticos. Métodos para determinar la densidad de plásticos no celulares. Parte 1: Método de inmersión, método del picnómetro líquido y método de valoración. (ISO 1183-1:2019, Versión corregida 2019-05).
- UNE-EN ISO 1183-2:2019. Plásticos. Métodos para determinar la densidad de plásticos no celulares. Parte 2: Método de la columna por gradiente de densidades. (ISO 1183-2:2019)
- Código Técnico de la Edificación.
- BS 8414. British Standard – Test Methods to Assess Fire Safety of Cladding.
- FVHF. VHF DIN 18516.





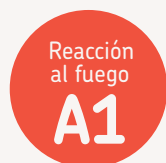


Nueva Tecnología TERRA

# URSA TERRA

## Vento Plus P4203

La nueva solución de aislamiento para fachada ventilada de altas prestaciones: incombustible, repelente al agua (no hidrófilo) y aislante térmico.



Aislamiento para un mañana mejor

