MANUAL DE FACHADAS LIGERAS

Introducción tecnológica

TECHNAL

Índice

1. GENERALIDADES

Introducción 4
El aluminio y su extrusión 12
Tratamientos superficiales 18

2. TERMINOLOGÍA

3. EXIGENCIAS FUNCIONALES

Estructura 30
Elementos de relleno 31

4. ELEMENTOS DE RELLENO

El vidrio 40
Los paneles 46
Cortafuegos 49
Elementos de remate 50

5. SISTEMA DE SILICONA ESTRUCTURAL

Terminología y tipologías 57
Requisitos del sellado estructural 58
Dimensiones mínimas del sellado 58
Piezas de sguridad 59

6. BASES DE PROYECTO

Tolerancias del sistema 62
Tolerancias de la estructura 62
Sensibilidad a los desplazamientos de la estructura 62
Sensibilidad a los desplazamientos térmicos 63
Bases de cálculo 64
Comprobación de los elementos 65
Ejemplo de cálculo 69

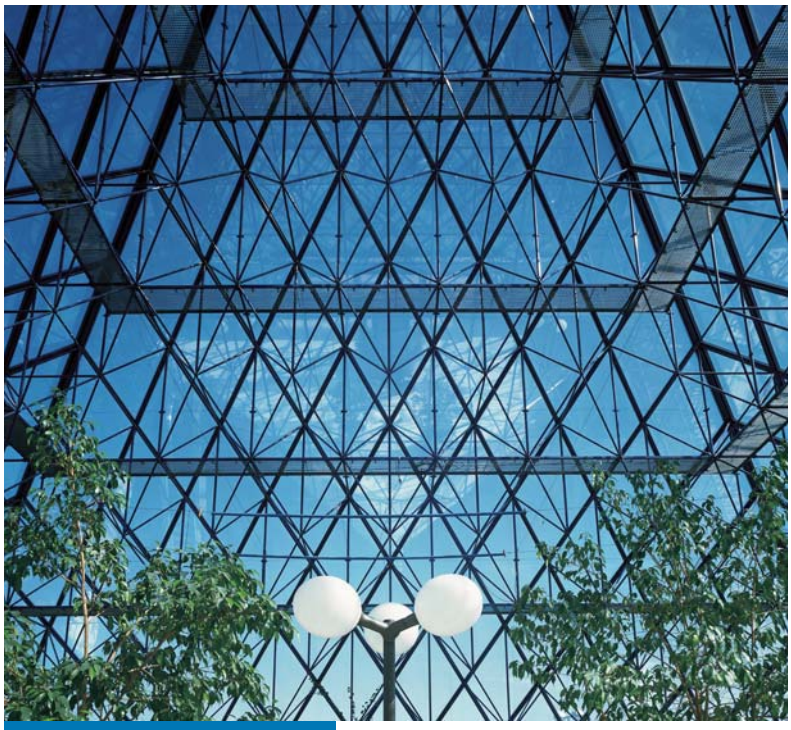
7. FACHADAS VENTILADAS

Analisis de las fachadas 83
Tipologías 85
Fachadas respirantes y fachadas ventiladas 86
Fachadas fotovoltaicas 88

8. NORMATIVAS

Norma Básica de la Edificación NBE-AE/88 95

9. BIBLIOGRAFÍA 112



Generalidades

Generalidades

1.1. INTRODUCCIÓN

La arquitectura moderna se entiende estilísticamente hoy en día como sinónimo de abstracción y autenticidad, empleando toda combinación de materiales, entre los cuales destaca el vidrio. Este material ha ejercido un interés y fascinación tan especial que ha llevado al hombre a desarrollar unas técnicas constructivas, que le han permitido realizar los más audaces y luminosos edificios. El vidrio destaca por su transparencia, dicho de otro modo, su relación con la luz. Por este motivo el uso de las fachadas ligeras, en sus orígenes como solución a unas necesidades muy concretas, presentes únicamente en edificios singulares, se ha extendido de tal forma que constituye ya un elemento común del paisaje urbano de nuestras ciudades.

Son muchos los factores que han contribuido a su auge, entre otros cabe citar:

- La clara tendencia a la industrialización del sector de la construcción.
- La evolución de los costes, con un progresivo peso específico de la mano de obra frente al valor de los materiales.
- La creciente importancia de la fiabilidad, la planificación y el mantenimiento.
- Su ligereza, lo que permite reducir el dimensionado de la estructura resistente (portante)
- El aumento de zona útil y habitable.
- El aumento de luminosidad, pudiendo llegar a obtenerse un 90% de luminosidad.

Los materiales utilizados para realizar la estructura de las fachadas ligeras son el acero, la madera y en la mayoria de de los casos, se confeccionan con elementos de aluminio extruído, cuyas propiedades básicas son:

- **Ligereza:** el aluminio pesa 3 veces menos que el hierro.
- **Resistencia a los agentes atmosféricos:** se autoprotege.
- **Estética:** permite diseño y acabados superficiales.

1.1.1. GENERALIDADES

Entendemos por fachada ligera, a toda fachada en la que su peso y espesor adoptan valores muy reducidos, del orden de 50 a 70 Kg/m^2 y de 15 a 20 cm de espesor.

Según la norma En 13830, se define la fachada ligera como: **"conjunto de elementos verticales y horizontales conectados conjuntamente y anclados en la estructura del edificio y rellenos para formar una superficie continua, ligera y limitando el espacio, que aporta, por sí misma o conjuntamente con la estructura del edificio, todas las funciones normales de un muro exterior, pero no asume características alguna de soporte de carga de la estructura del edificio".**

La fachada ligera se subdivide en **muro cortina** y en **fachada panel**.

El concepto de muro cortina indica que la fachada pasa por delante de los forjados y en consecuencia está suspendida de ellos.

El concepto de fachada panel indica que la fachada está situada entre los forjados y en consecuencia está apoyada en ellos.

La fachada ligera constan básicamente de unos elementos verticales (montantes) y de elementos horizontales (travesaños) que dan origen a una retícula en la que se inserta:

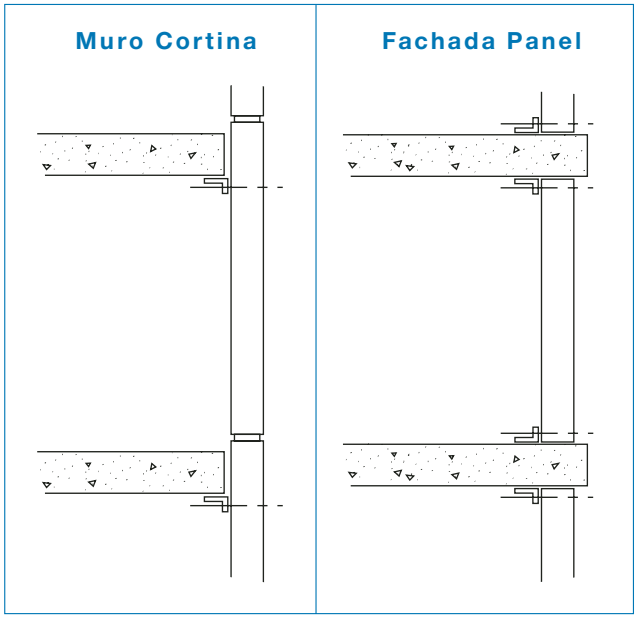


Figura 1

- Un vidrio para conseguir la visión.
- Un panel ciego para conseguir zonas opacas.
- Elementos practicables para posibilitar la limpieza o la ventilación.

Estas fachadas están fijadas a la estructura resistente del edificio pero sin formar parte de la misma, es decir, no contribuyen a aumentar la resistencia de la estructura sino que gravitan sobre ella.
En cualquier caso los muros cortina deben estar concebidos para poder resistir por sí mismos las acciones que incidan sobre ellos.

1.1.2. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN

Como resultado, en la actualidad conviven en el mercado un gran número de soluciones prefabricadas de cerramiento. Atendiendo a su construcción, fabricación y montaje las fachadas ligeras se agrupan en dos grandes sistemas aunque implícitamente se admite un tercero constituido por cualquier sistema híbrido entre los dos anteriores:

Sistema modular: este sistema consiste en fabricar en el taller módulos totalmente acabados, es decir, incorporando los elementos de relleno. Generalmente la altura de estos módulos es la distancia entre forjados por lo que cada uno posee su propio anclaje y es independiente del resto de módulos.

Sistema tradicional: o bien sistema de reja o retícula. En este sistema se fabrican en taller los montantes y travesaños con sus elementos de fijación y parte de los accesorios. En obra se realiza el ensamblaje de los perfiles y posteriormente se incorpora el acristalamiento, ventanas y/o paneles.

Sistema semimodular: es un sistema híbrido entre los dos anteriores.

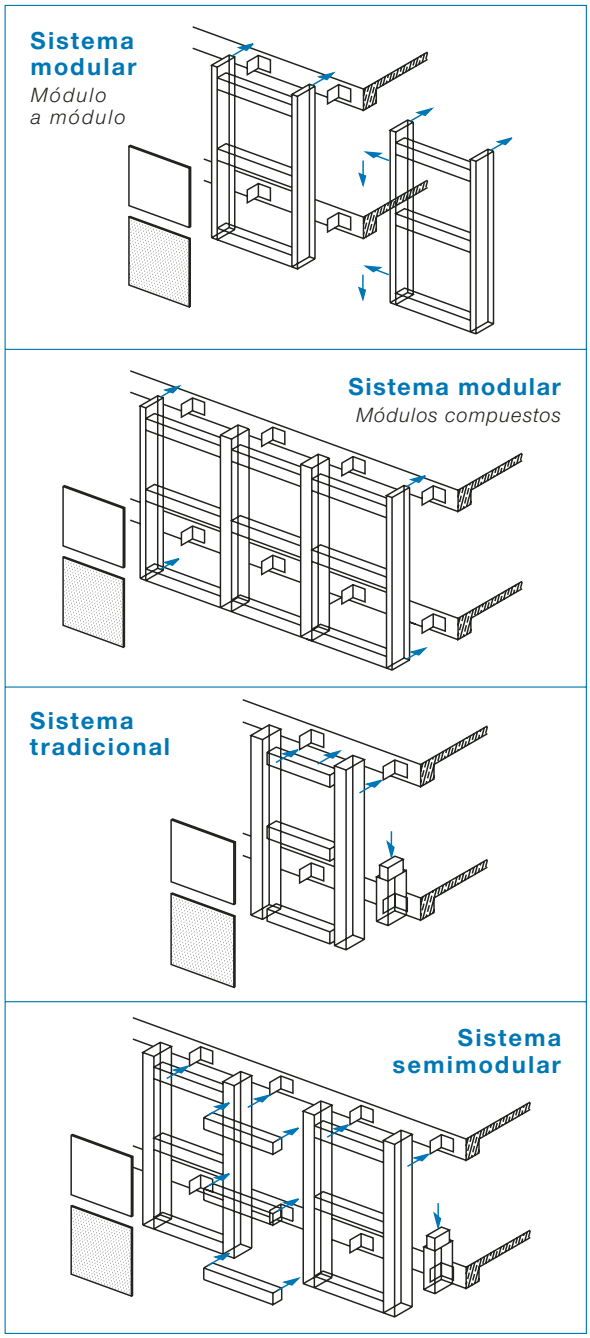


Figura 2

Generalidades

Clasificación según	Fachadas ligeras				
Sistema constructivo	Muro Cortina			Fachada Panel	
Sistema de montaje	Modular		Tradicional		Semimodular
Aspecto de fachada	Parrilla Tradicional	Trama Horizontal	Silicona Estructural	Vidrio Abotonado	Vidrio Enmarcado

Composición de las fachadas	
Elementos resistentes	Montantes verticales y travesaños horizontales
Elementos practicables	Ventanas
Elementos de relleno	Vidrios, paneles y cortafuegos
Elementos de fijación	Anclajes fijos, anclajes deslizantes y uniones
Elementos de remate	Chapas y ángulos

A. Elementos resistentes:

Montantes verticales: son los elementos verticales fijados a los anclajes y destinados a soportar su propio peso, las acciones de los elementos que se fijan a ellos, y la carga del viento que incide sobre la fachada.

Travesaños horizontales: son los elementos dispuestos horizontalmente, que generalmente van anclados a los montantes, y dimensionados de tal forma que puedan aguantar la carga de los elementos de relleno que gravitan sobre ellos.

B. Elementos practicables:

Se entiende por elemento practicable, aquellos sistemas que permiten la apertura del elemento de relleno, de manera que introducen a la fachada un hueco a través del cual se puede ventilar o facilitar el mantenimiento. Asimismo contribuye a la seguridad para el caso de evacuación de humos y servicio para la entrada de emergencia (bomberos).

Figura 3

Podríamos ampliar la información ya que el campo de la carpintería de aluminio hoy en día está muy desarrollado como consecuencia de la necesidad del ahorro de energía ante el encarecimiento de los productos petrolíferos. Así se ha reconsiderado la importancia de los cerramientos en cuanto al perfecto ajuste y resistencia de sus partes practicables, pero no es objeto de estudio en este proyecto y por tanto no se desarrolla el tema.

C. Elementos de relleno:

En una fachada ligera de estructura clásica, las superficies son cerradas por dos elementos básicos: el vidrio y el panel ciego.
Así el relleno con uno de estos dos elementos puede ser total o combinación de ambos, ya que la utilización de vidrio está indicada en las zonas de visión; en cambio, los paneles, se destinan a las zonas de antepecho y paso de forjado.

D. Elementos de fijación:

La misión de los elementos de fijación es inmovilizar y unir los elementos resistentes de la estructura del edificio. Distinguimos dos tipos de uniones:
Anclajes
Uniones (mechas)

D.1 Anclajes

Los anclajes son los elementos que conectan la fachada ligera con la estructura portante del edificio, y a través de los cuales, se transmitirán las cargas debidas principalmente a la acción del viento; es por ello que han de dimensionarse adecuadamente para responder a estas solicitaciones.

Una vez efectuadas las mediciones correspondientes, sabremos las desviaciones a corregir provocadas por cantos de forjado, desnivel, etc...; para ello el anclaje está provisto de elmentos de regulación, que permiten esta, en las tres dimensiones.

Distinguimos entre anclajes fijos o deslizantes que permitan la dilatación o no.

Anclaje intermedio

Figura 4

Anclaje superior

Figura 5

Anclaje inferior o mecha

Figura 6

Cada fabricante tiene su propio diseño y normalmente están fabricadas en acero o bien en aluminio.
El problema fundamental reside precisamente en el contacto acero - aluminio que puede provocar corrosión por par-galvánico. Por ello, se coloca entre las dos piezas un recubrimiento plástico que los aísle, pero por otra parte, los tornillos que se utilizan son de acero y el contacto es inevitable.
En el mercado existen diferentes tipos de anclajes, dependiendo del tipo da la estructura principal de la cual cuelga el muro cortina.

D.2 Uniones

Las uniones, igual que los anclajes, pueden ser fijas o deslizantes. Las uniones fijas se utilizan para anclar los travesaños a los montantes Las uniones deslizantes tienen su aplicación en las juntas de dilatación.

Según se trate de muros cortina o fachadas panel, la aplicación de cada uno de los dos tipos de fijación cambia:
En los muros cortina se utiliza un anclaje fijo en el forjado superior o inferior y una unión deslizante en la zona de junta de dilatación (mecha).
En las fachadas panel, se utiliza un anclaje fijo o deslizante en el forjado superior e inferior, combinándo los alternativamente, es decir, si se coloca fijo en el forjado superior, debe ser deslizante en el inferior o viceversa.

Ejemplo de unión entre montantes

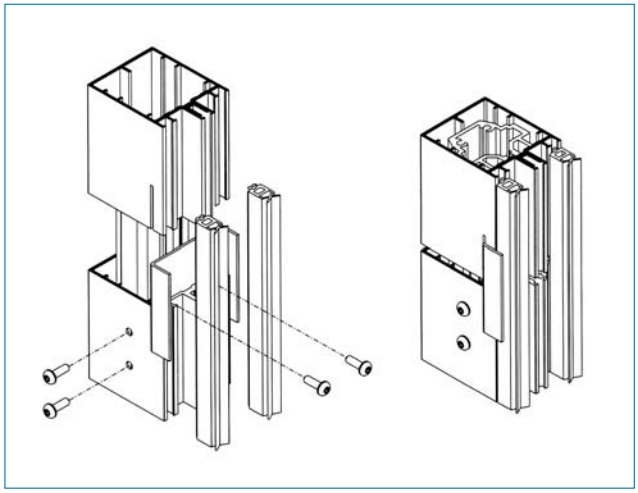


Figura 7

Figura 10

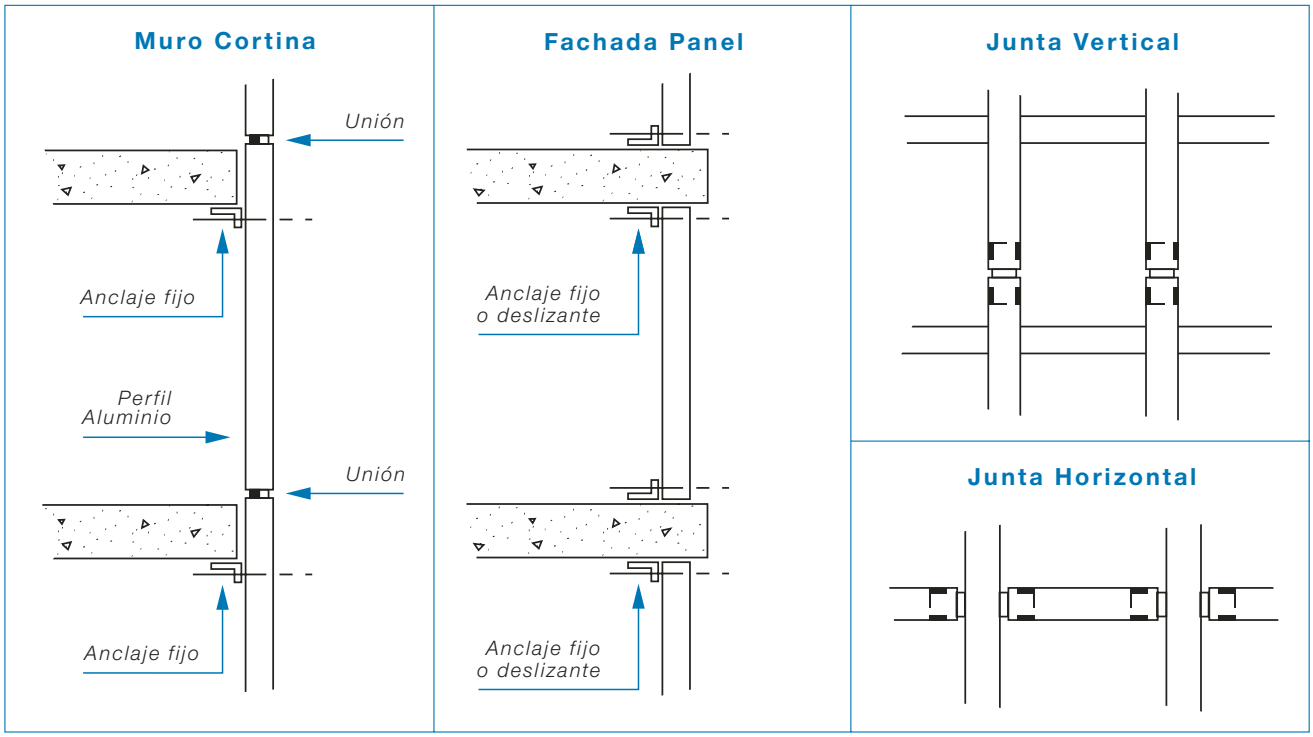


Figura 8 Figura 9 Figura 11

Detalle anclaje

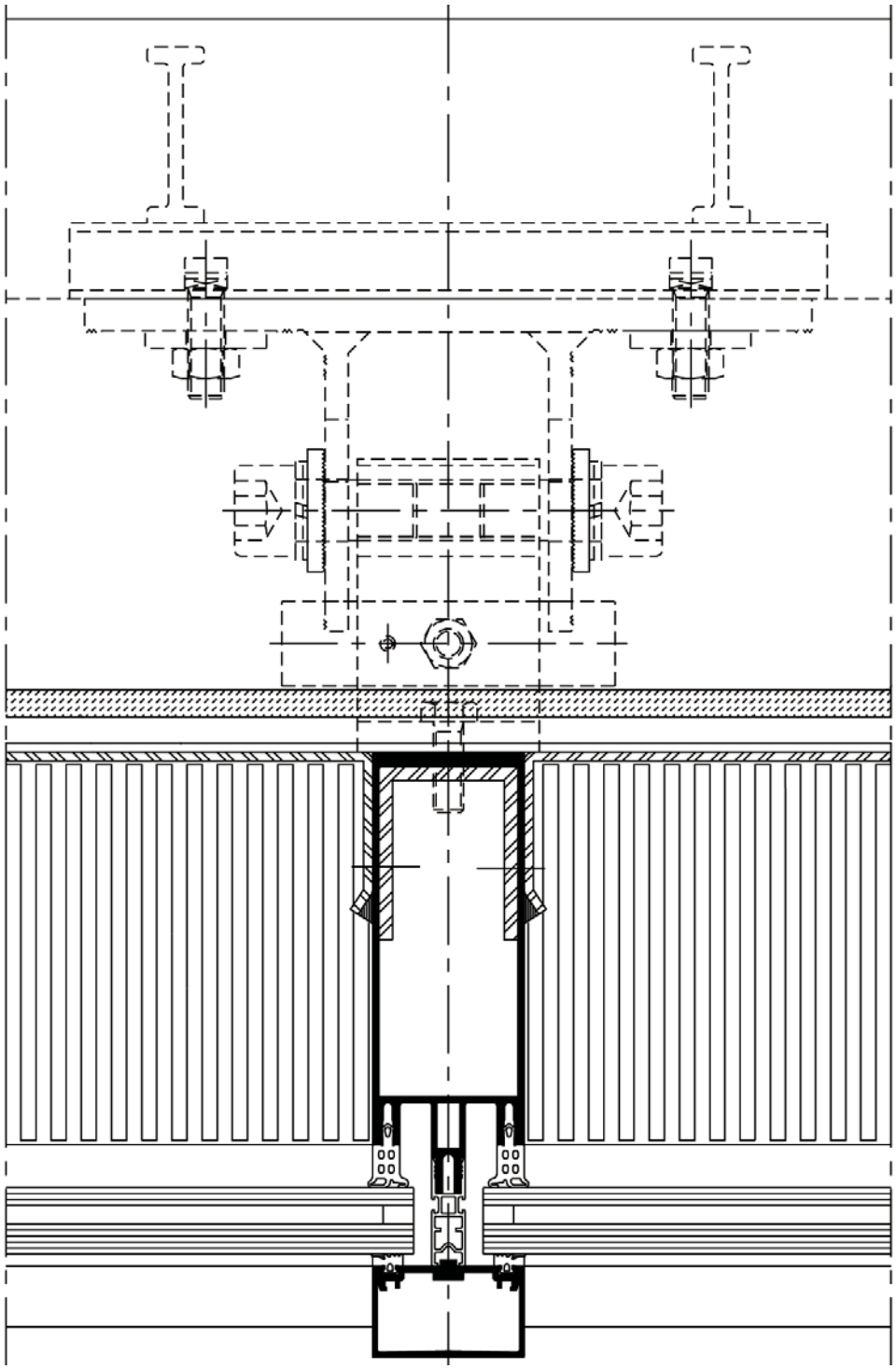


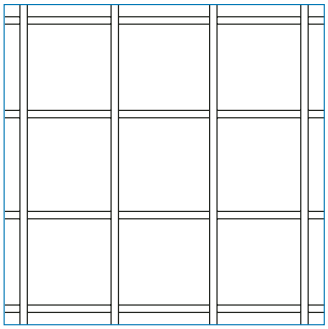
Figura 12

1.1.3. ASPECTOS DE LAS FACHADAS LIGERAS

Existen varios tipos de fachadas ligeras, según el sistema utilizado y la metodología usada a la hora de construir la fachada. El muro cortina es un sistema abierto, flexible y completo que permite al proyectista personalizar la arquitectura y expresar su creatividad.
Los aspectos que suelen contemplar los sistemas son:

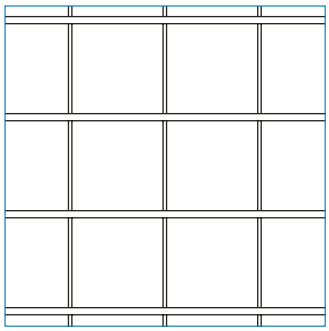
1. Parrilla

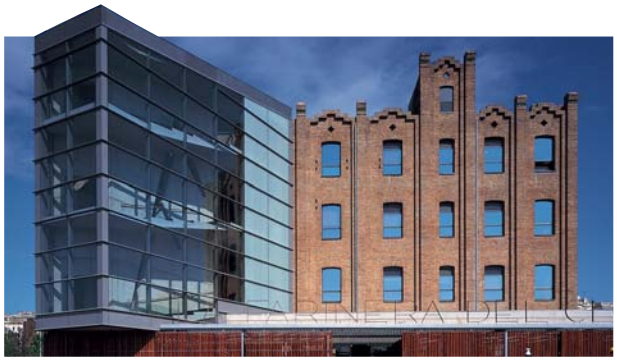
Con la opción parrilla se pueden realizar múltiples soluciones, diferentes a las demás, según la modularidad y los perfiles elegidos. Se caracteriza por formar módulos marcados (marca las líneas horizontales y verticales) por las tapas exteriores que pueden ser de distintas profundidades o colores, permitiendo la creación de ritmos distintos.



2. Trama horizontal

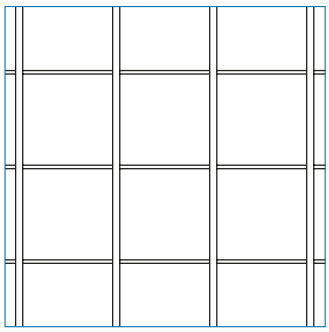
La utilización de perfiles, de gran sección, combinando con juntas verticales muy poco marcadas, crea un mayor protagonismo de sus líneas horizontales que fragmentan la imagen reflejada y da un aspecto longitudinal al edificio.





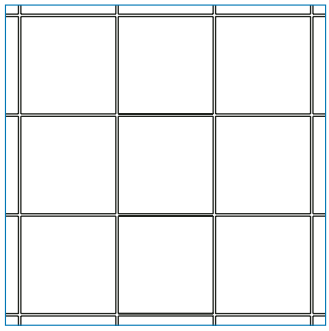
3. Trama vertical

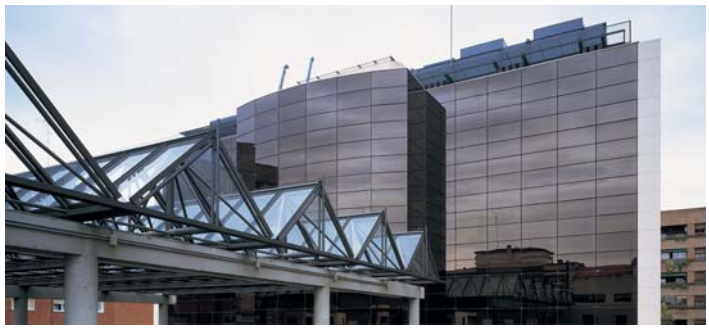
Tiene la misma finalidad que la trama horizontal, pero a diferencia se resaltan las líneas verticales creando una sensación de esbeltez.



4. Silicona estructural

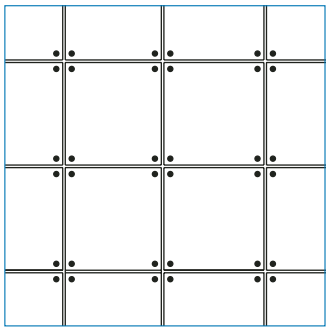
Fachadas de piel de cristal en las que el aluminio está totalmente oculto y deja protagonismo al vidrio. Las fachadas cobran vida reflejando todo su entorno.





5. Vidrio Exterior Abotonado

Fachadas que crean una sensación de transparencia y luminosidad, gracias al sistema de vidrio suspendido, alejado del montante y sin necesidad de travesaños. El vidrio está fijado a la estructura mediante unas piezas o rótulas, que permiten las dilataciones y la flexión.



6. Vidrio Enmarcado

Este tipo de fachadas se caracterizan por formar retículas enmarcadas por un perfil perimetral, creando un ritmo repetitivo de estructuras suspendidas.

1.2. EL ALUMINIO Y SU EXTRUSIÓN

1.2.1. EL ALUMINIO

El aluminio es el tercer elemento más abundante en nuestro planeta constituyendo aproximadamente el 8% de la corteza terrestre. Sólo el oxígeno y el silicio son más abundantes. Ningún otro metal está siendo tan utilizado por el hombre.
El mineral aluminio, llamado bauxita a partir de su descubrimiento en 1821, cerca del pueblo de Les Baux en el sur de Francia, ha sido encontrado en todos los continentes. Las reservas mundiales se estiman en más de 40.000 millones de toneladas.
Para que su explotación sea rentable, es preciso que la bauxita contenga al menos un 30% de alúmina (óxido de aluminio) y que el yacimiento sea fácilmente accesible. La producción de aluminio requiere grandes cantidades de energía por lo que las fábricas de fundiciones están localizadas mayoritariamente en países con bajos costes de energía y además, por motivos ecológicos, otorga preferencia a la energía de origen hidroeléctrico.

El aluminio no aparece en la naturaleza en forma de metal, sino de óxido (Al_2O_3). La bauxita, de textura terrosa y color rojizo, tiene más de un 40% en alúmina, está mezclada con otros óxidos minerales tales como el sílice, óxido de hierro, titanio, etc.

El proceso para obtener el metal de la **bauxita** se divide en dos fases:

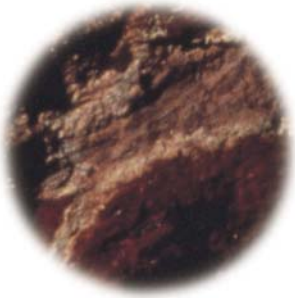
1. Extracción de la alúmina de la bauxita según el procedimiento de Bayer
2. Electrólisis

En términos cuantitativos, para obtener 1Tn de aluminio se requieren 2 Tn de alúmina, para las cuales a su vez, se necesitan 5 Tn de bauxita.

1. Extracción de la alúmina

El procedimiento para aislar la alúmina de estos minerales consiste en triturar la bauxita para obtener polvo fino, el cual se mezcla con sosa cáustica líquida y se calienta la mezcla a baja presión. Posteriormente se procede a la calcinación de la alúmina obtenida por hidrólisis, decantación y a continuación se filtra el conjunto resultante para detener las impurezas.
La solidificación del metal se consigue mediante precipitación, es decir, se conjuntan los cristales y se le quita la humedad a muy alta temperatura obteniendo un polvo blanco. Es la alúmina calcinada.

BAUXITA



ALÚMINA

2. Electrólisis

La electrólisis permite descomponer la alúmina en aluminio y oxígeno.

La reacción tiene lugar en unas cubas especiales, que pueden alcanzar temperaturas muy elevadas (900-1000ºC). No obstante, la temperatura de fusión de la alúmina es de 1800ºC, pero se consigue bajar mezclándola con fluoruro de sodio (criolita), que actúa de fundente.

La corriente eléctrica pasa a través de la mezcla, descomponiéndola en oxígeno y aluminio. El metal fundido se deposita en el polo negativo (cátodo) del fondo de la cuba, mientras que el oxígeno se acumula en los electrodos de carbono (ánodo). Parte del carbono que está en el baño se quema por la acción del oxígeno, transformándose en dióxido de carbono.

Así, mediante la electrólisis logramos separar el oxígeno y obtenemos aluminio metal puro, que tiene un grado de pureza entre el 93,3% y 99,8%.

Del aluminio puro y la unión con otros metales se obtienen las aleaciones, que pueden tener diversidad de características, le aumentan sus cualidades y propiedades como la resistencia a la corrosión y las características mecánicas. Estas aleaciones se pueden presentar en lingotes para la fundición, tochos para la extrusión, etc.

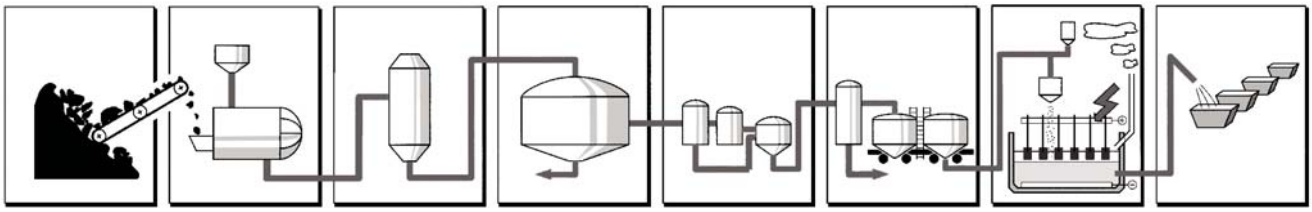


Figura 13

Propiedades del aluminio:

- Es ligero: a igualdad de volumen el aluminio pesa una tercera parte que el acero.
- Es un buen conductor de la electricidad.
- El aluminio puro tiene propiedades mecánicas reducidas, pero sus aleaciones alcanzan límites muy altos, también superiores a las de los aceros empleados corrientemente en la construcción, por lo que se puede usar tranquilamente en aplicaciones en que se precisen elevadas resistencias.
- Es resistente a los agentes atmosféricos: el aluminio y la mayor parte de sus aleaciones no se corroe, o si lo hace, en pequeña cantidad, puesto que se autoprotege por medio de una capa o lámina de alúmina.
- El aluminio presenta buena plasticidad y formabilidad: no sólo puede ser sometido a variados tipos de transformaciones plásticas sino que también pueden elaborarse en diferentes tipos de fundición, pueden ser extruídos, laminados, etc.
- Tiene una buena conductividad térmica.
- Debido a su excelente aspecto exterior se presta a tratamientos superficiales con lo que se pueden obtener interesantes efectos decorativos, muy apreciados en la arquitectura.

Su metalúrgica fue desarrollada en 1886 simultáneamente por el francés Heroult y el norteamericano Hall. En el caso de las fachadas ligeras y en general en el campo de la construcción sólo se utiliza la serie 6000 y más concretamente la aleación 6063 (según NBE) por reunir los requisitos adecuados tanto por sus propiedades mecánicas como por sus posibilidades en acabados superficiales desde un punto de vista estético.

1.2.2. EXTRUSIÓN DEL ALUMINIO

El proceso industrial para la fabricación de perfiles extrusionados de aluminio con destino al sector de la carpintería metálica y las fachadas ligeras consta, a grandes rasgos, de dos fases: la fundición y la extrusión.

1. Fundición

Es la fabricación del **material base**.

Según a qué uso se destine el perfil de aluminio, la composición química de la aleación diferirá ligeramente; por lo tanto la fabricación del material base debe controlarse para adaptarla a las necesidades de la posterior producción.

La obtención de la aleación de aluminio se efectúa en la fundición por fusión de lingotes de aluminio puro, aleaciones de Al-Mg-Si y chatarra de aluminio procedente de los residuos de las plantas de extrusión.

Las aleaciones normalmente usadas son de la familia Al-Mg-Si, siendo la más corriente la que se identifica con la siguiente composición química, según la norma UNE-38.337:

Si	(silicio)	entre	0,2 y 0,6 %
Mg	(magnesio)	entre	0,45 y 0,9 %
Mn	(manganeso)	máximo	0,1%
Cu	(cobre)	máximo	0,1%
Fe	(hierro)	máximo	0,35 %
Al	(aluminio)	el resto	

Esta aleación se corresponde con las denominaciones:

AA 6063	U.S.A.
H 9	GRAN BRETAÑA
AGS	FRANCIA
AlMgSi 0,5	ALEMANIA

La comprobación de la composición química de la aleación se efectúa mediante un análisis espectográfico y una vez confirmada, se solidifica el material en forma de barras cilíndricas de diámetro y longitud variable, en función de la prensa de extrusión a utilizar y del perfil a extrusionar, denominadas TOCHOS.

En general los TOCHOS tienen longitudes entre los 3 y 6 metros y diámetros entre los 130 y los 300 mm.

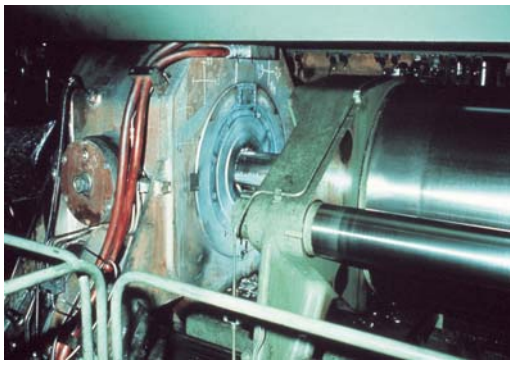
Para la obtención del material base, TOCHO, en una fundición se sigue el proceso siguiente:

- Fusión de la materia prima
- Homogeneizado de la aleación
- Colada o solidificación del material
- Estabilización de las barras
- Corte a medida de las barras

2. Extrusión

El proceso a través del cual obtenemos el **perfil**.

A la máquina de extrusionar se la denomina PRENSA y se clasifica por su potencia, que es la fuerza máxima que puede ejercer el pistón y se expresa en toneladas (Tn).



La matriz es la base del proceso y en su forma más sencilla consiste en un disco de acero templado en que se ha practicado un orificio que reproduce la forma del perfil a extrusionar. Pueden existir matrices planas para obtener perfiles abiertos y matrices puente (constan de varias partes) para obtener perfiles cerrados. Las matrices puente estan formadas por la matriz, con la forma exterior del perfil, y el puente con la forma interior del perfil.

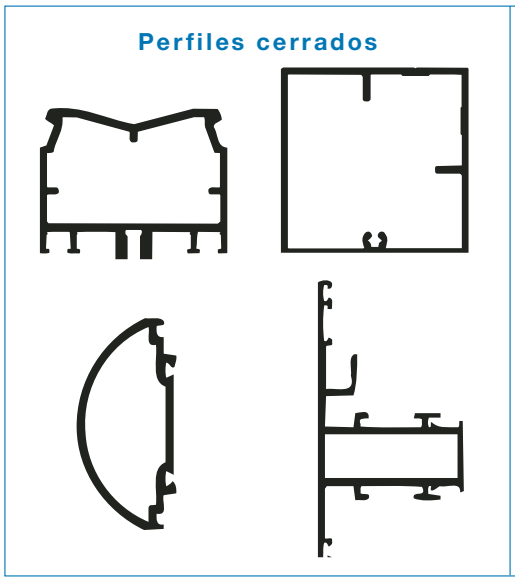


Figura 14

Figura 15

El TOCHO (barra de aluminio) se calienta en unos hornos de precalentamiento hasta una temperatura aproximada de 500º C. Una vez estabilizada la temperatura en toda la barra, se extrae del horno y se coloca en la máquina de extruir (PRENSA) donde se presiona mediante un pistón contra la matriz.

Por efecto de la presión y con el estado semiplástico del tocho de aluminio, el material fluye a través de la matriz adoptando la figura de la misma y dando origen al perfil, que una vez enfriado, se endereza estirándolo por medios mecánicos.
Finalmente se corta a la longitud solicitada para posteriormente efectuar el tratamiento térmico al objeto de que los perfiles extruídos adquieran la dureza solicitada.

El ciclo de extrusión puede esquematizarse de la manera siguiente:

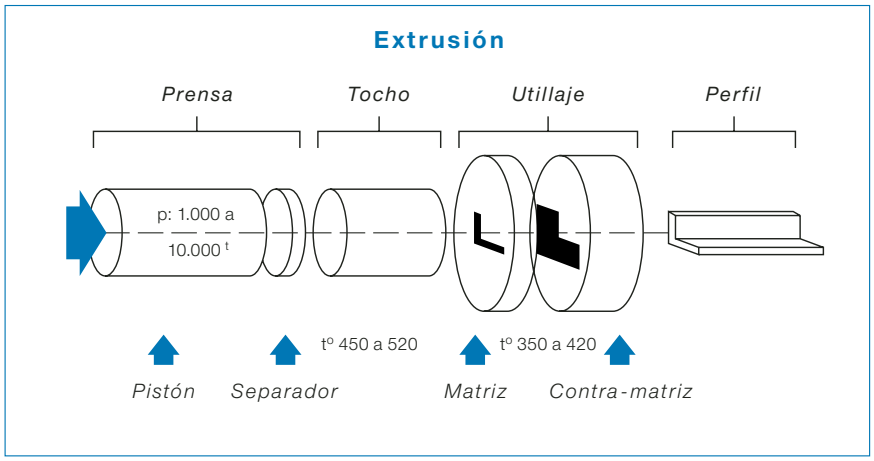


Figura 16

En resumen, el proceso de extrusión consta de las siguientes etapas:

- Calentamiento del tocho
- Corte en caliente de tocho
- Colocación de la matriz en la prensa extrusión propiamente dicha
- Extrusión propiamente dicha por presión del pistón sobre el tocho
- Enfriamiento del perfil a la salida de la prensa
- Corte del material
- Estirado y enderezado del perfil
- Control de calidad dimensional y control de calidad del estado superficial
- Corte a medida de los perfiles
- Colocación en contenedores para entrar en el horno de tratamiento térmico

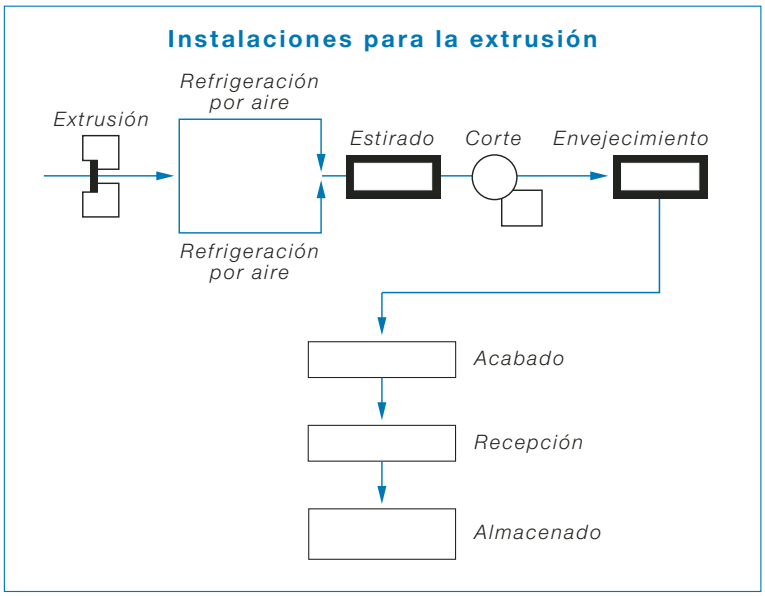


Figura 17

El **tratamiento térmico o templado** hace que se mejoren las propiedades de las aleaciones una vez extruídas.

Las propiedades de aleaciones, especialmente la serie 6000, pueden mejorarse mediante un tratamiento térmico después de la extrusión. Existen dos tipos de tratamiento: el tratamiento térmico de solución y el envejecimiento artificial.

1. El tratamiento térmico de solución proporciona una solución sólida sobresaturada de los elementos de aleación, calentándolos a unos 450-550ºC y luego enfriándolos rápidamente a unos 20ºC sumergiéndolos en agua o soplando con aire. Ahora el estado del aluminio se denomina T4, lo que significa que la resistencia de la aleación es una buena capacidad de alargamiento. Por eso, es apropiado elegir el templado T4 cuando se desea curvar las piezas.

2. El envejecimiento artificial consiste en calentar la aleación uniformemente a una temperatura controlada, normalmente entre 160-190ºC. Se mantiene esta temperatura durante un período de 4 a 10 horas y luego se enfría por aire.

Después de ser sometida al tratamiento térmico de solución y al envejecimiento artificial, se denomina templado T6.

Templado de aleaciones	AA
Extrusión calentada y enfriada por aire	F
Ablandada y recocida 350-500ºC, 1-5 horas	O
Tratamiento térmico de solución y envejecimiento natural 20ºC, 5-10 días	T4
Enfriado de la temperatura de extrusión y envejecido artificialmente 160-190ºC, 4-10 horas	T5
Tratamiento térmico de solución y envejecimiento artificial, 160-190ºC, 4-10 horas.	T6

Las propiedades mecánicas son las características medibles y el comportamiento del material cuando se somete a distintas fuerzas. Estas fuerzas incluyen tanto la relación entre tensión y deformación como la cuantificación de las reacciones elásticas e inelásticas. Métodos de prueba estándar miden la resistencia a la tracción, estirado, rotura por alargamiento y dureza.
Para utilizar el aluminio en carpintería, se requieren unas propiedades físicas y mecánicas determinadas, que se caracterizan por el tipo de dureza. Existen varias pruebas para determinar la dureza: Brinell, Vickers y Webster.

El sistema Brinell es conocido por el aparato de medidas Brinell. Este mide la huella que deja 1kg de peso sujeto en un punzón que contiene en su extremo una bola de 5mm de diámetro, y que cae desde una altura de 1m. Este sistema es el más utilizado en los talleres de carpintería de aluminio.
Los otros dos métodos se utilizan en otros campos, como por ejemplo el Vickers en automoción y el Webseter para aquellos que se necesite una dureza exacta, ya que se trata de un sistema de medición con pinza calibrada.

Las plantas de extrusión utilizan tablas de equivalencias para poder compararlas. La dureza aceptada en carpintería, con un tratamiento T5, tiene que estar entre los valores (65,75) en la escala Brinell, y entre (11,13) en la escala Webster.

La extrusión debe contar con un taller de matricería ya que al terminar el proceso de extrusión, debe ponerse a punto la matriz para poder ser utilizada en una nueva extrusión. Esta puesta a punto comporta las siguientes operaciones:

- Desmontaje de la matriz de portamatrices
- Eliminación del aluminio solidificado y adherido a ella mediante un baño de sosa caliente.
- Limpieza con la máquina de chorreado
- Retoque y pulido así como verificación de su estado
- Nitrurado
- Protección
- Almacenaje

Las plantas de extrusión están todas acreditadas bajo la normativa ISO en calidad de servicios.

1.3. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

El aluminio es un material que tiene una gran afinidad con el oxígeno y al estar en contacto con la atmósfera se recubre de una capa natural de óxido, que en la mayoría de los casos es capaz de detener el principio de corrosión.
La oxidación natural del aluminio no proporciona una capa superficial adecuada para el empleo arquitectónico exterior en lugares expuestos, donde la apariencia más la resistencia a la abrasión, corrosión y erosión son factores determinantes. Para conseguir estas características es preciso recurrir a unos procesos industriales como son el anodizado y los lacados.

1.3.1. ANODIZACIÓN

El aluminio es sensible al proceso de oxidación ambiental, como cualquier metal. Esto produciría manchas aleatorias, que afectarían negativamente la estética de los perfiles. Podemos definir el proceso de anodizado, como la oxidación controlada, acelerada y uniforme de la capa superficial del perfil, por medio de un proceso electroquímico.
La oxidación anódica, proceso de anodizado, es un tratamiento electrolítico para producir capas de óxido de mayor espesor, uniformidad, estabilidad y diferente estructura de las que se forman espontáneamente en la superficie del aluminio.
El anodizado del aluminio como tecnología de tratamiento de superficie se puede dividir en tres etapas básicas y de gran importancia: **pretratamiento, tratamiento anódico y postratamiento.**
El pretratamiento comprende inicialmente el **desengrase** del material en estado de suministro en el caso de muros cortina, extruído. Entre las opciones conocidas para la inmersión del material para su desengrase la más extendida es la utilización de un producto comercial consistente en una solución alcalina compuesta por agentes humectantes, emulsionantes solubilizantes, saponizantes y secuestrantes y con un tiempo de inmersión de 3 a 5 minutos.
La operación subsiguiente al desengrase de la superficie es el **decapado**, como resultado de un fuerte ataque químico al entrar en contacto el perfil con soluciones fuertemente alcalinas. Se utiliza el hidróxido de sodio con un aditivo comercial inhibidor de formación de depósitos duros y con propiedades detergentes.
El tiempo de inmersión es de 5 a 10 minutos.
A consecuencia de la capa delgada de partículas metálicas y óxidos que permanecen en la superficie del aluminio al salir del baño decapante se hace imprescindible un tratamiento de remoción de dicha película. A esta nueva operación se la denomina **neutralizado** y se lleva a cabo mediante la inmersión en una solución que contenga ácido nítrico.
Habiendo superado los pasos anteriores los perfiles extruídos ya se encuentran listos para ser sometidos a la conversión de su superficie: la formación de una capa de óxido anódica. El **tratamiento anódico** es un proceso electroquímico en el que el aluminio que va a ser tratado se hace eléctricamente positivo o ánodo en un electrolito adecuado. Este proceso mejora notablemente la característica natural del aluminio de reaccionar con el oxígeno. Cuando se aplica corriente se libera oxígeno del electrolito dirigiéndose al ánodo donde reacciona con la superficie del aluminio, formando una película de óxido de aluminio. Esta

película de óxido se conoce como capa anódica. La reacción sigue mientras dura el paso de corriente.
A medida que se forma el óxido, el electrolito tiende a disolverlo. Por consiguiente la capa se vuelve porosa y aumenta el espesor. El electrolito penetra en los poros, permitiendo el paso de corriente y la formación continua de una película de óxido porosa en la interfase del metal. Esta película interfásica se conoce como **capa barrera**. Puede haber billones de poros por centímetro cuadrado. La porosidad y el espesor de la capa son factores importantes en la determinación de las propiedades del anodizado. Esta capa es el resultado del tratamiento anódico del aluminio, en un electrolito que, en la mayoría de los casos, hay ácido sulfúrico entre el 15 y el 20 %. La corriente directa, a suficiente voltaje, circula a través de la celda electrolítica que tiene como cátodos el mismo tipo de aleación de aluminio. El flujo de corriente adecuado para la obtención de la capa anódica corresponde a una densidad entre 1,0 y 1,5 amperios por decímetro cuadrado, que requiere un voltaje de entre 13 y 17 voltios.
La capa anódica del aluminio ya anodizado debe ser sometida a un tratamiento final, postratamiento, de eliminación de su propiedad absorbente, que garantice la estabilidad química de la capa frente a ciertos medios, al igual que la estabilidad de color frente a la luz. Esta operación final se denomina **sellado** y con ella se aumenta la resistencia a las manchas y a la corrosión de dicha capa.
El sellado consiste en un tratamiento de hidratación aplicado a los recubrimientos anódicos de óxido, después de la oxidación con el fin de reducir la porosidad y por lo tanto la capacidad de absorción del recubrimiento.

Los valores del espesor de la capa anódica recomendados están en función de la agresividad atmosférica y se conocen con el nombre de **clase**, atendiendo a la nomenclatura facilitada por el EWAA-EURAS (QUALANOD), que es el sello de calidad que garantiza el anodizado en todo su proceso. Las clases de espesor son:

Clase 5	Implica que el espesor medio mínimo es de **5** μ
Clase 10	Implica que el espesor medio mínimo es de **10** μ
Clase 15	Implica que el espesor medio mínimo es de **15** μ
Clase 20	Implica que el espesor medio mínimo es de **20** μ
Clase 25	Implica que el espesor medio mínimo es de **25** μ

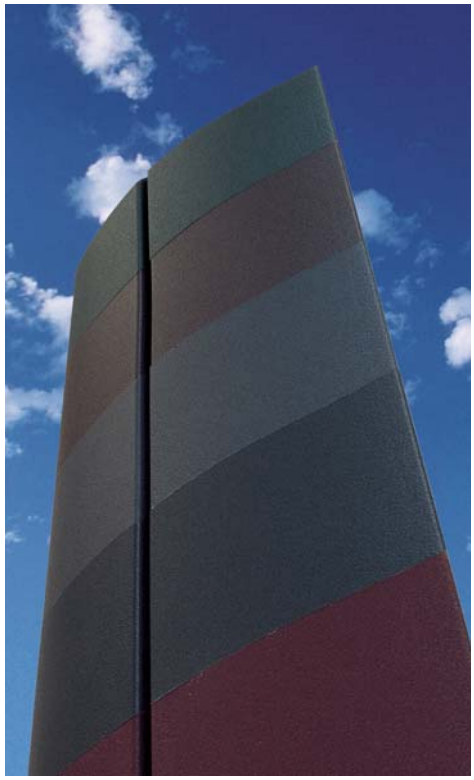
Las clases 5 y 10 se reservan para aplicaciones interiores y las clases 15, 20 y 25 se utilizan para exposiciones exteriores. La elección de la clase viene definida por el Prescriptor en función de la situación de la obra y de la agresividad ambiental.

QUALANOD es la Asociación Europea responsable de la Marca de Calidad en la industria del anodizado. Está sostenida por la Asociación Europea de Aluminio Transformado, EWAA, y por la Asociación Europea de Anodizadores EURAS. Actualmente el sello EWAA-EURAS está englobado dentro de la Marca QUALANOD que es internacional.

Todos los perfiles deberían ser anodizados por sociedades que posean la licencia o marca de calidad, EWAA-EURAS (QUALANOD).

Todos los Anodizadores que disponen de este sello están obligados y debe regirse, en todo su proceso productivo por las directrices que estos organismos dictaminen tanto en lo concerniente a controles (de sellado, de micraje, de diferencias de tonalidades etc.) como en lo concerniente a garantías.

1.3.2. CONTROLES Y GARANTÍAS



Para asegurar las garantías exigidas de calidad, los perfiles deben pasar durante el proceso de fabricación los ensayos siguientes:

- Control de sellado
- Control micras anodizado
- Control diferencias de tonalidad en el anodizado

Las sociedades que disponen de estos sellos de calidad pueden garantizar que los perfiles son tratados según las directrices de la marca de calidad EWAA-EURAS (QUALANOD) y visados por ASESAN, licenciataria general para España de la marca de calidad EWAA-EURAS (QUALANOD).

Documentos:

- **Precertificado de intenciones para anodizado.** Documento por el cual se garantiza que los materiales de un pedido concreto serán anodizados en plantas poseedoras de la licencia de la marca de calidad EWAA-EURAS (QUALANOD), debiendo ser refrendadas posteriormente por un certificado de calidad conforme los materiales han sido tratados en dichas plantas y visados por ASESAN.
- **Certificado de calidad.** Documento por el cual se certifica que los materiales de un pedido o de una obra concreta han sido tratados en la clase (micras) y en el color definidos por la dirección facultativa según las directrices de la marca ASESAN.

1.3.3. LACADO

El tratamiento de lacado consiste en proteger la superficie de los perfiles de aluminio con una capa de pintura.

Esta capa se puede conseguir mediante la aplicación de pintura en polvo o de pintura en líquido.

Pintura líquida: Tiene como medio de aplicación del recubrimiento, disolvente, el cual debe evaporarse para obtener la capa protectora de resina pigmentada.

Pintura en polvo: Se aplica por pulverización del polvo, depositado electrostáticamente para obtener la capa protectora de resina pigmentada.

En España se utiliza, casi exclusivamente, el proceso de pintura en polvo para el lacado de perfiles destinados a la construcción. Su proceso industrial típico consiste en:

- **Desengrasado** de los perfiles en un baño con productos medianamente alcalinos. Es el mismo tratamiento descrito para el anodizado.
- **Aclarado**, se realiza un enjuague con agua desmineralizada para eliminar arrastres
- **Decapado** con productos fuertemente alcalinos para conseguir una superficie uniforme del aluminio. Es el mismo proceso que en el anodizado.
- **Neutralizado**, igual que en el anodizado.
- **Cromatizado**, que es un tratamiento con soluciones acuosas que contienen iones hexavalentes de cromo y que forman una capa protectora.

- **Lavado** con agua desmineralizada y desionizada y posterior secado en el horno para que los perfiles lleguen secos a la cabina de pintura.
- **Cabina de pintura**, donde se pulverizan los perfiles con polvo de poliéster. Al abandonar el polvo las pistolas de proyección se cargan eléctricamente por acción de un campo eléctrico positivo dado que los perfiles de aluminio están conectados a tierra con un potencial negativo; esto hace que el polvo sea atraído y se deposite sobre las superficies de los perfiles.
- **Horno de polimerización**, una vez aplicado el polvo sobre los perfiles, éstos pasan al horno donde se realiza el termoendurecimiento a una temperatura de 200º C. El recorrido de los perfiles por dentro de este horno dura unos 30 minutos. Este tratamiento produce la fusión de las partículas de polvo proporcionando una película protectora uniforme.

  Los espesores que se obtienen son generalmente muy uniformes y con un espesor que oscila entre 60 y 80 μ como exigen las directrices marcadas por QUALICOAT.

QUALICOAT es una Marca de Calidad Europea que exige y determina un buen lacado del aluminio y que controla los procesos industriales y los ensayos necesarios entre sus asociados. En España está homologada por el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medioambiente como Marca Oficial, para el lacado del aluminio destinado a la arquitectura.
La Asociación Española ASELAC es la Licenciataria General para España de esta Marca Europea de Calidad.

1.3.4. OTROS PROCESOS PARA MEJORAR LAS PRESTACIONES DEL LACADO

"Calidad Marina" es un proceso recogido dentro de los parámetros del sello Qualicoat, que mejora las prestaciones del lacado en ambientes muy agresivos como primera línea de mar, industriales, etc... que consiste en pasar de rebajar la superficie del material de 0,8 gr/m^2 a rebajar entre 2 y 4 gr/m^2, lo que beneficia la penetración y agarre del cromatizado. El proceso esta homologado por el sello Qualimarine.

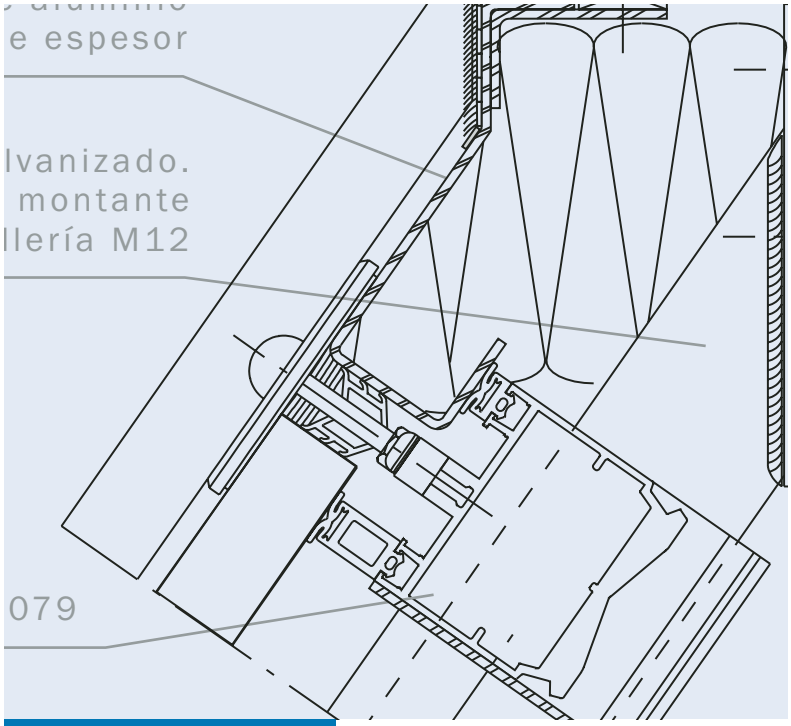
"Fluororucarbonados" o **"PVDF"** (laca en base fluoruropolimeros 70:30) sistemas multicapas que ofrecen excelentes prestaciones ante el envejecimiento y la degradación del color debido a los rayos UV, en ambientes de alta agresividad. El sistema contempla la aplicación de 3 o 4 capas: una primaria inhibidora de la corrosión, eventualmente una capa barrera, una capa de color y una última capa de barniz. La temperatura de horneado llega a los 240º C. por el contrario la diversidad de colores está más limitada. Este producto cumple o sobrepasa las exigencias de la Norma AAMA 2605-98.

1.3.5. CORROSIÓN

Para el caso del aluminio utilizado en la construcción, debe tenerse en cuenta dos tipos de corrosión que afectan gravemente el material. No sólo tiene consecuencias estéticas sino también consecuencias estructurales muy graves.

- **Corrosión filiforme.** Es una corrosión que avanza desde el interior del perfil hacia el exterior. Tiene aspecto de filamentos y su aparición generalmente se debe a una mala preparación de la superficie en el cromatizado, antes del lacado. También puede aparecer la corrosión filiforme por la porosidad del recubrimiento o por la falta de adherencia del mismo.

- **Corrosión por par galvánico.** La corrosión galvánica ocurre cuando dos metales se ponen en contacto y ambos poseen potenciales eléctricos diferentes, lo que favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo. A mayor diferencia de potencial, el material más activo será el ánodo.
  En los muros cortina el par galvánico debe tenerse muy en cuenta tanto en los anclajes como en la mechas, puesto que generalmente los dos son de acero galvanizado, zincado o pintado, mientras que el resto de uniones o tornillerías son de acero inoxidable, de aluminio o de zamac, que no causan problemas. El par galvánico puede evitarse colocando separadores de materiales inertes (plásticos) entre el aluminio y los otros metales, generalmente el acero de los anclajes y de las mechas.



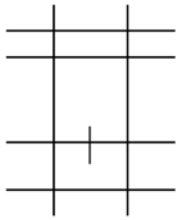
Terminología

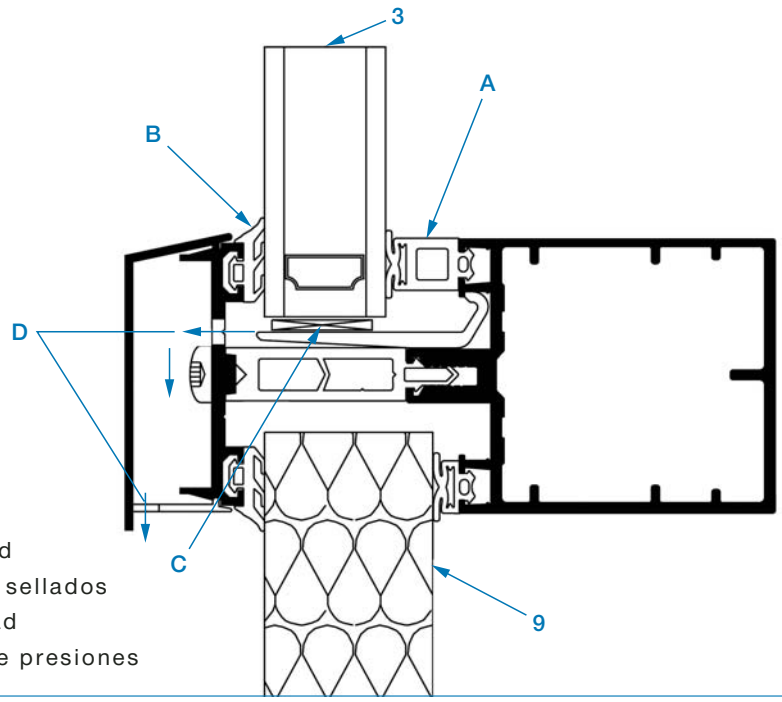
Terminología

Tomando como referencia la nueva normativa europea En 13119 “Fachadas Ligeras–Terminología”, se denominan las partes de un muro cortina como sigue:

1	**Travesaño inferior**	Elemento horizontal del armazón secundario situado en la base de la fachada ligera y que soporta por lo general los rellenos de la hilera inferior (ventanas, vidrios, paneles).
2	**Guía eléctrica**	Perfil específico continuo entrante o en voladizo (con respecto a la alineación de la fachada) integrado o fijo sobre los montantes y que permite el paso de un cable.
3	**Acristalamiento aislante**	Ensamblaje de una o varias hojas de vidrio selladas herméticamente con aire para asegurar prestaciones térmicas y acústicas mejoradas.
4	**Junta exterior de estanqueidad**	Perfil de estanqueidad elastómero situado entre la cara exterior del relleno y el marco que lo rodea.
5	**Anclaje**	Pieza metálica fabricada para asegurar la conexión mecánica entre la fachada y la estructura.
6	**Fachada panel modular**	Sistema formado por elementos vítreos pre-ensamblados acristalados en taller que tiene una altura de uno o más pisos.
7	**Calzo**	Pieza de metal, madera o PVC empleado alrededor de la perfilaría del acristalamiento o de cualquier otro relleno para asegurarlo en su marco.
8	**Travesaño superior**	Elemento horizontal del armazón secundario colocado en la parte alta de la fachada por encima de la última hilera de rellenos (acristalamientos, ventanas, elemento de relleno o puertas).
9	**Relleno**	Panel de relleno o de revestimiento que comporta uno o más componentes y que se coloca en obra en un marco.

Sección travesaño





A. Junta interna de estanqueidad
B. Cavidad con compartimentos sellados
C. Junta externa de estanqueidad
D. Aberturas para equilibrado de presiones

Figura 18

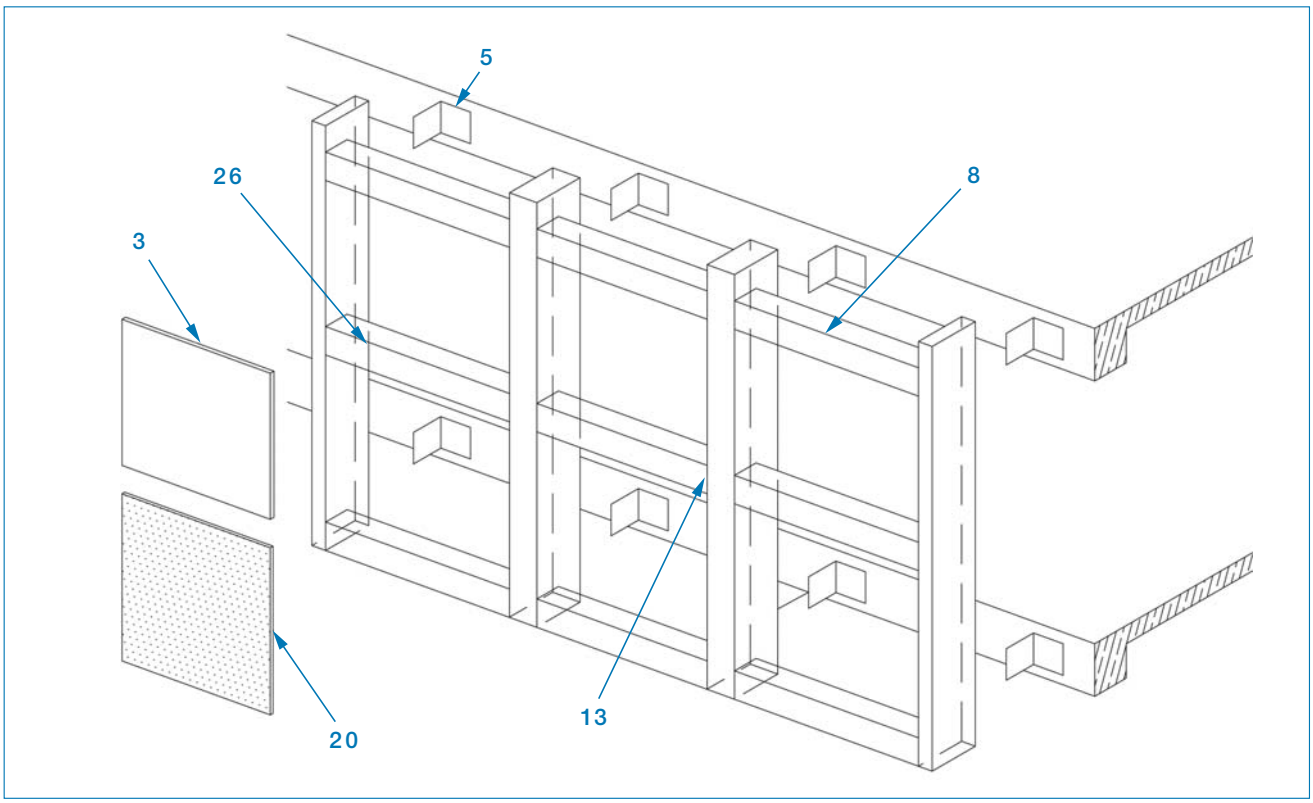


Figura 19

10	**Junta interior de estanqueidad**	Perfil de estanqueidad elastómero colocado entre la cara interior de un relleno y el marco que lo rodea.
11	**Montante lateral**	Elemento vertical del armazón secundario colocado en el lateral de la fachada ligera, adyacente a una trama en esquina que puede estar formada de acristalamientos, ventanas, rellenos o puertas.
12	**Mecha**	Trozo de perfil de ensamblaje fabricado para asegurar la unión de perfiles de armazón tubulares.
13	**Montante**	Elemento vertical del armazón secundario que separa y por lo general soporta ventanas, acristalamientos, rellenos y puertas adyacentes.
14	**Tapeta de montante**	Perfil de revestimiento exterior, clipado sobre los montantes y que asegura el aspecto arquitectónico.
15	**Equilibrado de presión**	Principio de puesta en comunicación con el exterior de cámaras formadas en la fachada ligera. Los burletes de estanqueidad interior aseguran la estanqueidad al aire, y los exteriores funcionan como paraguas. Un conjunto de orificios de ventilación y salidas en zig-zag aseguran un equilibrado de presión minimizando los efectos del viento sobre el burlete exterior.
16	**Contratapa o presor**	Pieza metálica, por lo general de aluminio extruído, colocada en la periferia de rellenos (acristalamientos o elementos de relleno) que permite la transmisión de esfuerzos por medio de los burletes de estanqueidad.

Terminología

17	Pantalla de agua	Elemento de diseño de una junta que permite eliminar las infiltraciones de agua por dispositivos de equilibrado de presión de una y otra parte de la piel exterior. Este elemento de pantalla de agua funciona por la utilización de burletes de estanqueidad, de salidas en zig-zag, de gotas de agua y de drenaje.
18	Calzo de asiento	Pieza de neopreno, plomo, madera y otro material adecuado, colocado bajo el canto inferior de una hoja de vidrio para su colocación en un marco.
19	Antepecho	Parte de una pared exterior situada entre dos elementos horizontales.
20	Panel de antepecho	Elemento de relleno colocado en el antepecho.
21	Embudo	Pieza fabricada que permite el ensamblaje mecánico de un prefil de travesaño tubular y un montante.
22	Fachada con montante y travesaño	Sistema de fachada, realizado en obra con elementos distintos y ensamblado enteramente en obra.
23	Elementos de estanqueidad	Tapones de estanqueidad dispuestos en las uniones.
24	Sistema de silicona estructural	Principio de puesta en obra de un acristalamiento por sellado sobre su marco con un mínimo de fijación mecánica para formar una fachada enteramente de vidrio.
25	Puente térmico	Compuesto de baja conductividad térmica incrustado en un ensamblaje para reducir los flujos térmicos entre dos materiales que tienen una alta conductividad térmica.
26	Travesaño	Elemento horizontal del armazón secundario que separa y por lo general soporta ventanas, acristalamientos, rellenos o puertas adyacentes.
27	Tapeta de travesaño	Perfil extruído, por lo general soportado por abrochamiento sobre los travesaños y que asegura el aspecto arquitectónico.
28	Coeficiente K (U)	Coeficiente de transmisión térmica global, entre el interior y el exterior, de uno o varios elementos de pared.
29	Barrera de vapor	Material o película suficientemente resistente a la transmisión de vapor para retrasar el paso de vapor de agua entre las zonas con alta humedad relativa y las zonas con débil humedad relativa.
30	Junta periférica	Burlete de estanqueidad aplicado entre el borde de la fachada ligera y la estructura del edificio.
31	Drenaje	Pequeña abertura en la pared o un marco de ventana a través de la cual el agua es drenada hacia el exterior del edificio.
32	Flecha	Deformación o combadura que sufre una estructura, relativa a la línea recta que une los apoyos, debido a las cargas que inciden sobre ella.

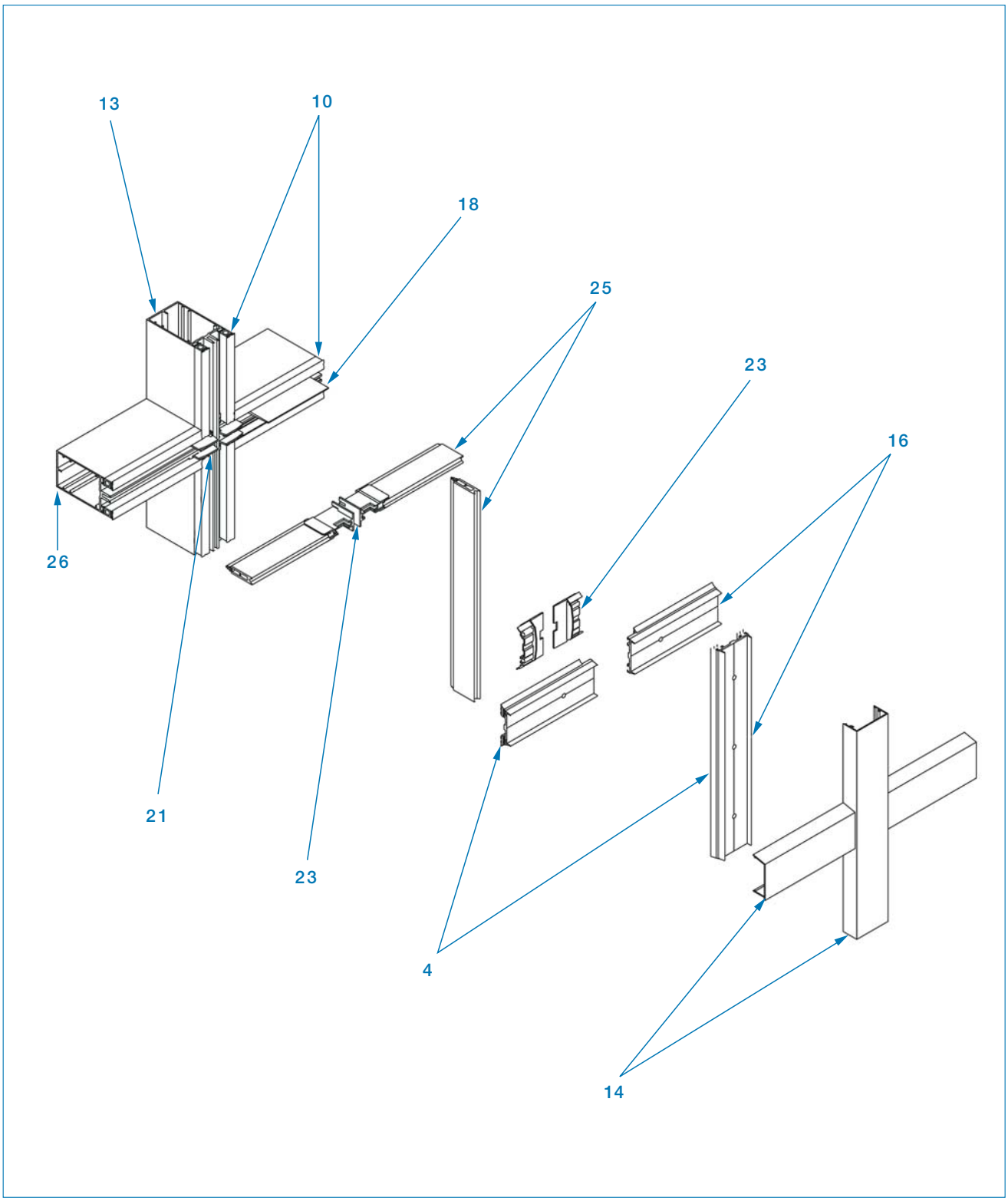


Figura 20

Exigencias funcionales

3.1. ESTRUCTURA

Resistencia

La fachada ligera es autoportante, los montantes están fijados a los forjados, lo que permite repartir el peso al edificio. La fachada ligera debe soportar, generalmente, su propio peso y la acción del viento ya que el efecto de otras cargas es mucho menor, y normalmente no se tienen en cuenta en los cálculos.
El peso del aluminio, debido a su ligereza, es despreciable en comparación con las cargas de viento y el peso de los paneles o vidrios que debe soportar, por lo que el criterio básico de cálculo es el dimensionado en función de la flecha admisible. Se destaca que en el caso de los travesaños, el peso del vidrio o panel está concentrado en los puntos donde se colocan los calzos.

Los principales casos a estudiar son los siguientes:

- Montantes a flexotración (flexión combinada con tracción)
- Montantes a flexocompresión (flexión y compresión axial)
- Travesaños

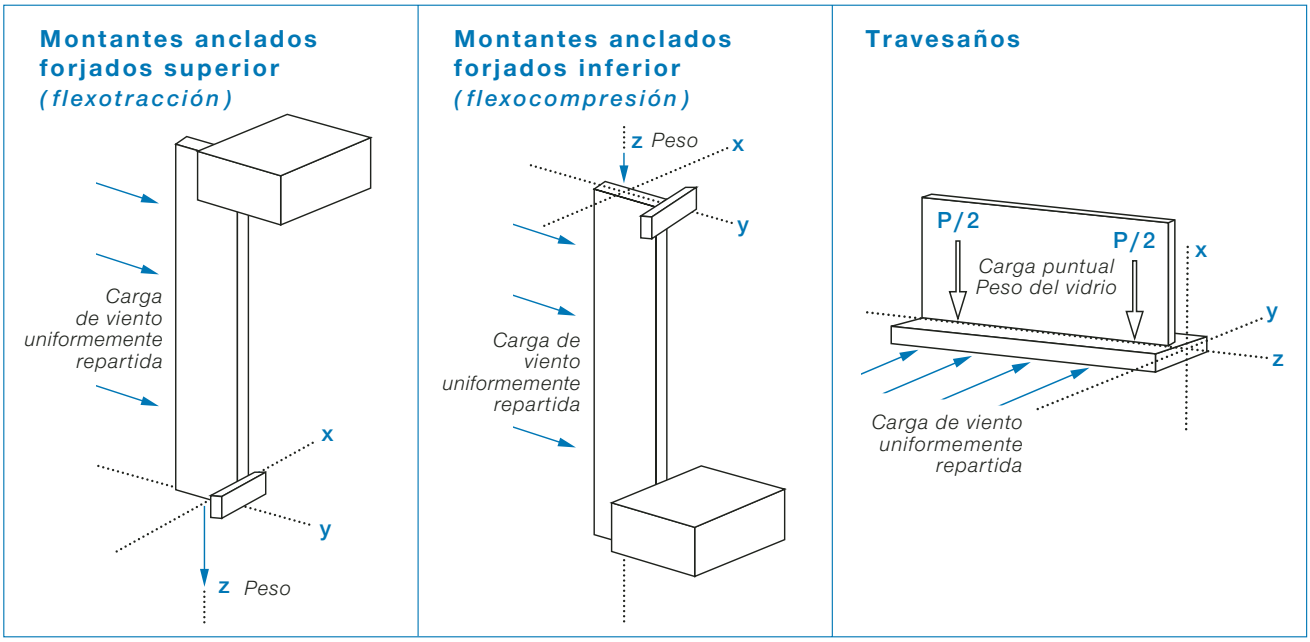


Figura 21 Figura 23 Figura 24

Aislamiento térmico

El aislamiento térmico es un factor determinante ya que está ligado intrínsecamente con el ahorro energético. Se sabe que si un cerramiento no aporta el aislamiento térmico adecuado, se necesitará más calefacción (en invierno) o aire acondicionado (en verano), repercutiendo en equipos de mayor peso para la estructura del edificio y mayor consumo energético a lo largo de la vida del edificio. Por lo tanto, hay que tener en cuenta que el aluminio es un material conductor y se debe asegurar el aislamiento térmico así como elegir los materiales más adecuados de relleno con un buen coeficiente de transmisión.

Las fachadas ligeras pueden tener numerosos puntos deficientemente aislados, llamados puentes térmicos, es decir, zonas que permiten el flujo de energía calorífica entre el interior y exterior de la estructura, provocando la fuga o ganancia de calor y condensaciones. Se localizan preferentemente en los montantes, travesaños, anclajes y remates, así como en las entregas de las ventanas, y en los acristalamientos si no es el adecuado. La solución consiste en disminuir el **coeficiente de transmisión térmica** con la utilización de perfiles compuestos, o la inyección de aislantes.

El calor, como se conoce, se puede propagar mediante la transmisión, la convección y la radiación de los rayos solares, como veremos más adelante. La consecuencia de la rotura térmica es la resistencia a la propagación de la energía calorífica.

Para eso se ha creado sistemas para evitar el contacto directo entre materiales conductores entre la zona interior y la exterior. Las fachadas ligeras son diseñadas con rotura de puente térmico representando un aumento significativo del ahorro energético y la sensación de confort. Se consigue separando la estructura interna formada por los montantes y travesaños, de los elementos exteriores de sujeción de relleno mediante materiales no conductores del calor.

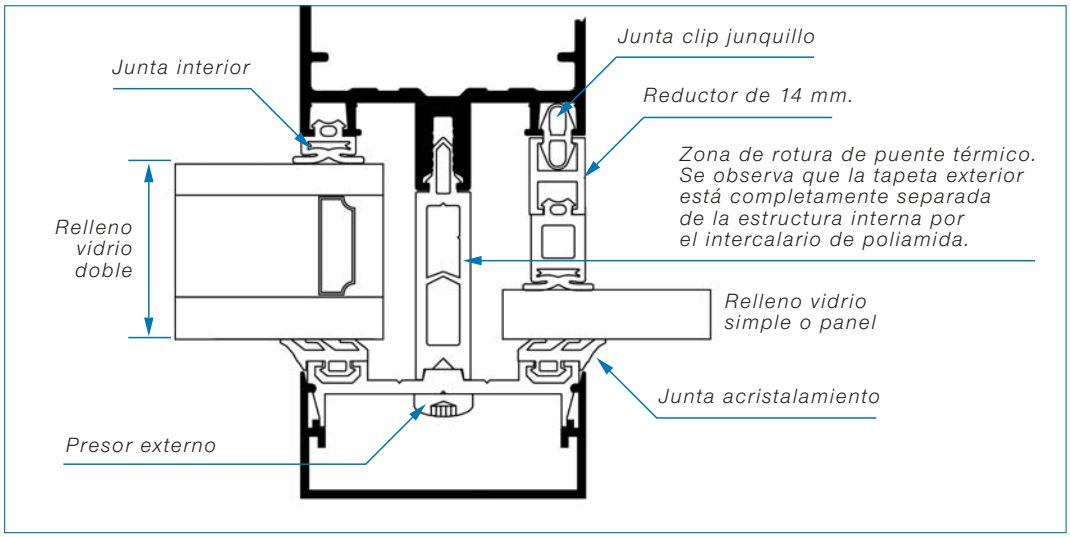


Figura 25

3.2. ELEMENTOS DE RELLENO

En toda fachada ligera, y especialmente en un muro cortina, el acristalamiento y los paneles forman la mayor parte de la superficie de la fachada.
Según el tipo de edificio (vivienda, edificio comercial, oficinas, etc.) las proporciones variarán, ya que se debe estudiar con antelación las funciones que debe realizar el revestimiento, de acuerdo con las necesidades requeridas. Obviamente, tratándose de un muro cortina, se tendrá en cuenta su **función visual o arquitectónica**, destacando del resto de las fachadas por su novedosa tecnología y modernidad.
El color y la textura de los materiales utilizados influirán en la belleza de la obra. Pero no sólo es un elemento con finalidad decorativa, sino que también se le exige otras funcionalidades, las mismas que cumpliría cualquier cerramiento, es decir, cerrar y proteger de los agentes exteriores (luz, calor, agua, viento y ruidos).

En general, se busca:

Estética	Transparencia, reflejos, dimensiones, formas y mantenimiento
Seguridad	Protección de las radiaciones, de las personas , bienes y durabilidad
Confort	Control de la luz, aislamiento térmico y aislamiento acústico
Nuevas tendencias	Aprovechamiento de la enegía solar

Exigencias funcionales

Estética

Los arquitectos se inclinan por la transparencia total del vidrio, por lo que se han desarrollado novedosas técnicas para transformarlo y obtener el color y la reflexión deseada, siempre teniendo en cuenta su limpieza y mantenimiento.

Seguridad

Para aumentar el nivel de seguridad de un vidrio existen 2 posibilidades:

- **Templar el vidrio:** se aumenta el nivel de resistencia para evitar la rotura.
- **Laminar el vidrio:** Adhesión de varias láminas de vidrio, garantizado la impenetrabilidad aunque se produzca rotura del vidrio exterior. Se destacan los vidrios de seguridad física, antiagresión o antirrobo y antibala (ver elementos de relleno).

Confort

1. Control de la luz

Los muros cortina debido a su ligereza poseen baja inercia térmica, y las fluctuaciones del soleamiento se reflejarían en el interior, y sin protección adecuada el acondicionamiento térmico interior es excesivamente costoso.

Para ello hay diferentes elementos adicionales de protección que procuran disminuir el flujo de radiación solar directa incidente sobre la superficie acristalada, y no impiden la visibilidad desde el interior.

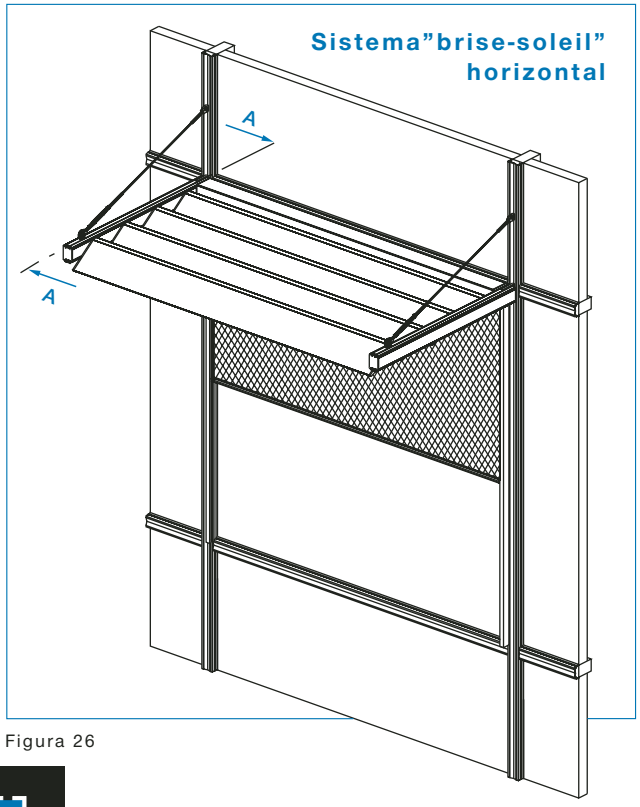


Figura 26

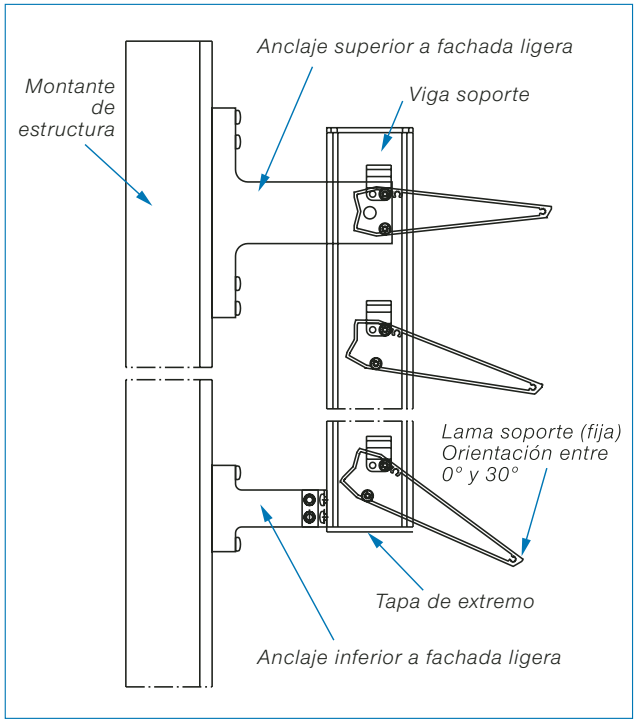


Figura 27

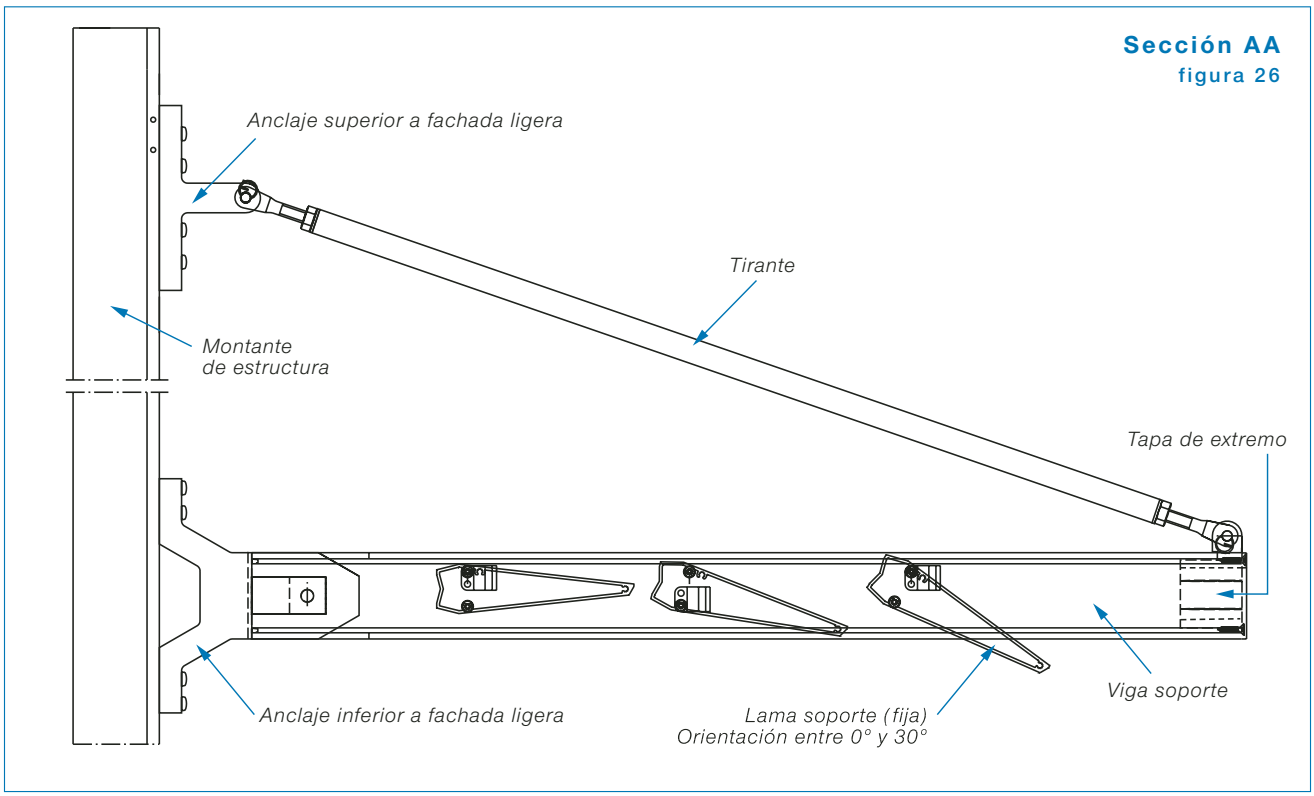


Figura 28

Tipos

- **Protecciones interiores:** cortinas, persianas, cortinas reflejantes, etc. pero tienen una eficacia térmica limitada.
- **Vidrios especiales:** tal y como se explica posteriormente, hay vidrios especiales absorbentes, reflectantes, de control solar, etc. todos ellos diseñados para limitar buena parte de la energía radiante solar. Los vidrios con multicapas metálicas son una buena solución.
- **Protecciones exteriores:** reciben el nombre de parsoles o bien "brise-soleil". Son dispositivos fijos o móviles, exteriores al plano de fachada y susceptibles de proyectar sombras. Otras protecciones solares exteriores pueden ser "screens" o cortinas. Se distinguen varios tipos o diseños:

A. Horizontales
Verticales

B. Fijos
Orientables
Móviles

La elección del tipo y material depende de la orientación del edificio, la latitud, las sombras a proyectar, etc. Los materiales más idóneos son aquellos más ligeros y de gran poder reflector.

2. Aislamiento térmico

Es un factor determinante para el bienestar y ahorro energético. Existen varios mecanismos de transmisión de calor a través de un cerramiento (recogida en la NBE-CT-79 Condiciones Térmicas de los edificios).

- **Conducción y acumulación:** es el modo de transferencia en el que el calor viaja desde una superficie del cerramiento a una temperatura T1 a otra superficie de temperatura T2, inferior a T1.
- **Convección:** el intercambio de calor tiene lugar cuando el aire del ambiente se pone en contacto con la superficie de un cerramiento a una temperatura distinta. La convección puede ser libre (natural) o forzada, dependiendo de si interviene alguna fuerza motriz (por ejemplo el viento).
- **Radiación:** es el modo de transmisión entre la superficie del cerramiento y el ambiente mediante la absorción y emisión de energía por ondas electromagnéticas.

En las superficies tales como vidrio, paneles, perfiles, etc. que estén en contacto con el ambiente exterior e interior, el calor se intercambia por radiación y convección entre el ambiente interior y exterior.

El calor almacenado en el interior del cerramiento se transmite por conducción entre las superficies interior y exterior.
Las regiones del interior del cerramiento, zonas de aislamiento, carecen de capacidad de acumulación de calor y actúan por convección y radiación.

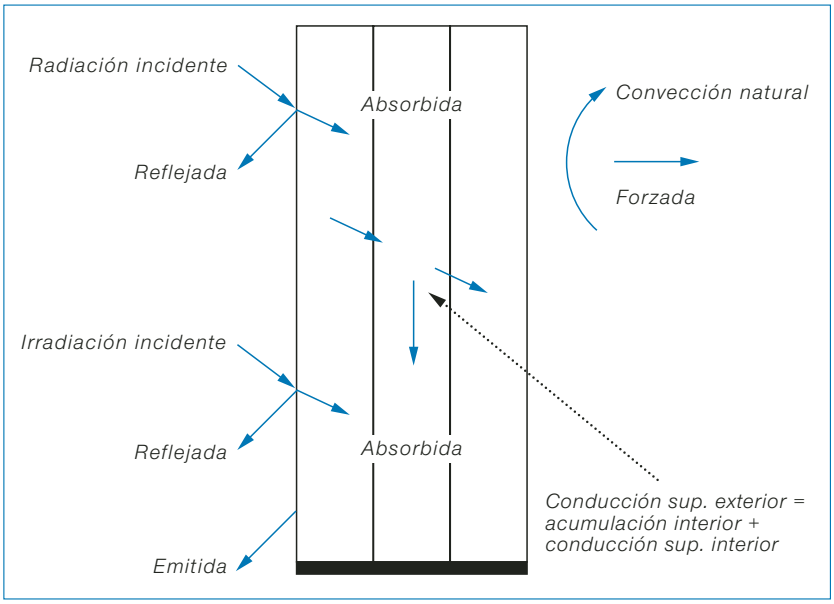


Figura 29

Propiedades térmicas

- **Trasnsmisión energética (TE):** es la cantidad de energía que atraviesa directamente una superficie. Se expresa en un porcentaje de la energía incidente sobre el mismo.
- **Reflexión energética (RE):** es la cantidad de energía reflejada por una superficie. Se expresa en un porcentaje de la energía incidente sobre el mismo.
- **Absorción energética (AE):** es la cantidad de energía solar incidente absorbida por la superficie.
  Esta absorción provoca un aumento de la temperatura de la misma irradiando hacia el interior y hacia el exterior parte de esta energía absorbida (Ai, Ae).
- **Coeficiente K:** es la cantidad de energía que atraviesa un m^2 de superficie por unidad de tiempo y por cada incremento de temperatura entre ambos lados de la superficie. Las unidades más utilizadas son ($kcal/hm^{2}{}^{o}C$)
  También se puede dar en ($W/m^{2}{}^{o}K$) pero en este caso normalmente se denomina U.
- **Factor solar (FS):** es la cantidad total de energía que el sol introduce dentro del edificio. Es la suma de la transmisión energética (TE) más una parte irradiada hacia el interior procedente de la absorción energética (Ai).

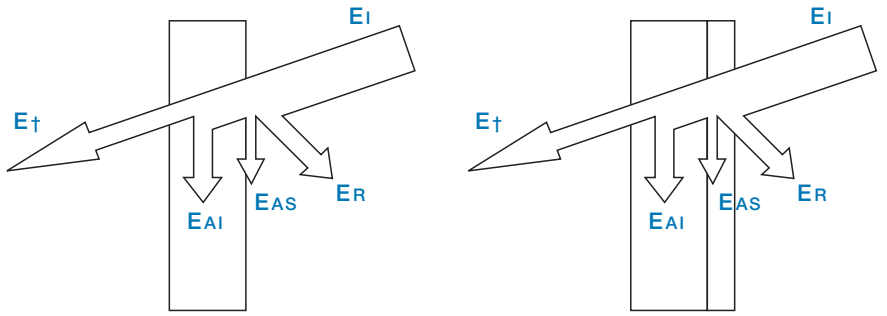
Existen muchos tipos de vidrios, y entre ellos los de baja emisividad, que reducen extremadamente el coeficiente de transmisión garantizando en invierno mayor temperatura en las caras interiores de los vidrios y condensaciones mínimas.

3. Aislamiento acústico

Hoy en día, una de las exigencias más destacadas es el aislamiento de un edificio (NBE-CA-82 Condiciones Acústicas de los Edificios). Además de los aspectos de diseño exterior y aislamiento térmico, el aislamiento acústico contribuye de manera importante a garantizar el confort en una edificación.

Generalidades. El sonido y su balance energético

El sonido es cualquier variación de la presión, debida a las vibraciones de las partículas del aire, que puede detectar el oído humano. En general, lo que percibimos es un conjunto de perturbaciones que, superpuestas, producen los distintos tipos de sonido, entre ellos el ruido.



La energía incidente de una onda sonora, al chocar contra una pared, parte se transmite Et a través de ella, otra parte se disipa en su interior, EAI, y la restante se refleja hacia su lugar de origen, ER. Una cantidad de esta energía reflejada se disipa por absorción en el límite de la superficie de la pared.

Fuente: Tectonica.

Figura 30

El ruido

Se define el ruido como cualquier sonido no deseado que interfiere con la actividad humana. El confort viene determinado según los niveles de ruido de fondo de un edificio.

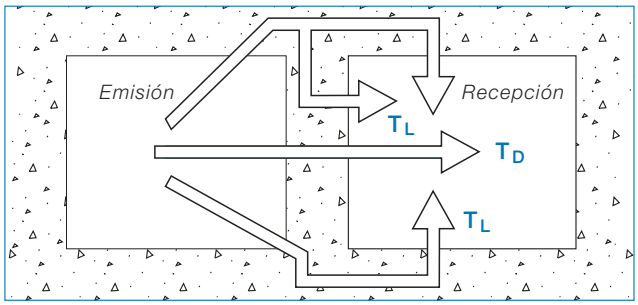
En general, hay dos clases de ruidos a los que están sometidos los usuarios de un edificio:

- Ruido de transmisión externa: ruido de tráfico, maquinaria de obras públicas y fuentes de ruido externas como equipos de aire acondicionado, de extracción, etc.
- Ruido de transmisión interna: ruido de las instalaciones internas como ascensores, grupos de presión, aire acondicionado, etc.

La transmisión del ruido se puede efectuar de tres maneras distintas:

- Por vía directa a través de los paramentos: se produce a través del elemento constructivo.
- Por transmisiones laterales, por vía estructural: se produce por la solidarización del elemento constructivo respecto sus colindantes.
- Por impacto o parásitas, se produce a través de los debilitamientos acústicos producidos por la existencia de instalaciones y otros (caída de objetos, pisadas, vibración de equipos, etc.).

La transmisión del ruido aéreo de un local a otro, se transmite por vía directa al vibrar la pared de separación bajo la acción de las ondas incidentes.
La presión sonora excita también el resto de las superficies adyacentes que provocan las transmisiones laterales.



Fuente: Tectonica.

Figura 31

Exigencias funcionales

Las transmisiones directas en las fachadas se producen generalmente por el panel opaco o las zonas acristaladas. El aislamiento de la fachada viene determinado por el tanto por ciento que representa cada una de las superficies y se identifica mediante un coeficiente denominado a_g, que corresponde al valor de aislamiento acústico global de la fachada.

Las transmisiones laterales se producen por el contacto de los frentes de forjado, tabiques y medianerías, con el muro cortina. Las provocadas por tabiques y medianerías pueden eliminarse casi en su totalidad, desconectándolas del muro exterior de fachada.

Las transmisiones parásitas, se producen fundamentalmente por las cajas de persianas, instalaciones de calefacción, etc.

Para atenuarlo se puede actuar de dos maneras distintas:

- Por aislamiento
- Por absorción

Cuando hablamos de aislamiento acústico, para conseguir el nivel de ruido deseado, se impide la propagación del sonido actuando sobre la diferencia de nivel de intensidad acústica en el local emisor y el del receptor. Es decir, se actúa sobre la energía transmitida E_T.

Cuando hablamos de absorción, se actúa colocando materiales absorbentes que consiguen bajar el nivel de ruido en el local emisor, pero el aislamiento no se modifica; es decir, se acondiciona el local actuando sobre la energía reflejada. Disminuye el nivel sonoro del local emisor y en consecuencia se reduce la energía que llega al local receptor.

R es el índice de atenuación acústica y representa la capacidad que tiene un elemento de atenuar la transmisión del ruido. En Europa se emplea el índice **Rw** que se obtiene comparando el valor de **R**, en función de la frecuencia, con un valor de referencia estándar. El valor a 500 Hz de la curva de referencia que más se aproxime a la curva de los valores de **R** es el valor de **Rw**.

El aislamiento global para todas las frecuencias depende del espectro y por lo tanto será diferente para cada tipo de ruido. Para determinar los aislamientos se utilizan ruidos normalizados en su reparto de la energía acústica entre todas las frecuencias. Se distingue: el ruido blanco, el ruido rosa y el ruido de tráfico.

El ruido blanco tiene una distribución uniforme de energía por todo el espectro y se emplea como ruido patrón; el ruido rosa tiene una distribución uniforme de energía en el espectro de octavas y reproduce el ruido en el interior de un edificio. El ruido de tráfico posee una mayor energía en el rango correspondiente a las bajas frecuencias. El ruido rosa y el ruido de tráfico se emplean normalmente como referencia para el cálculo del nivel de aislamiento de una fachada.

Según la norma de producto En 13830 “Fachadas Ligeras. Norma de Producto”, respecto la atenuación acústica enuncia que **“cuando se requiera el índice de atenuación acústica será determinado por ensayo de acuerdo con la norma En ISO 140-3. Los resultados de los ensayos serán determinados de acuerdo con la Norma Europea EN ISO 717-1.”**

Los niveles de aislamiento medidos en laboratorio siempre son más favorables ya que no tienen en cuenta factores como las transmisiones laterales u otros, que suponen una disminución considerable del aislamiento.

A diferencia de la NBE CA 82, el CTE (Código Técnico de la Edificación) exige algunos aspectos nuevos:

- Exigencia de niveles de aislamiento acústico superiores para distintos elementos constructivos.
- Limitaciones de ruidos transmitidos a vivienda por las distintas instalaciones.
- Exigencia de unos tiempos de reverberación determinados para ciertos espacios públicos en función de su volumen y actividad.
- El control se llevará a cabo para garantizar su cumplimiento a través de la Certificación expedida por Laboratorio de Acústica Acreditado para ensayos in situ, sin el cual no se otorgará la licencia de primera ocupación.

Para los acristalamientos, el aislamiento a ruido aéreo se puede asegurar mediante diferentes soluciones:

- Acristalamiento acústico y de seguridad
- Vidrio doble de atenuación acústica y bajo coeficiente de transmisión térmica
- Vidrio laminado con resina aislante

Los vidrios dobles incrementan el aislamiento, combinando vidrios de diferente espesor, o vidrios especiales laminados que contengan resinas amortiguantes. Por otra parte, cuanto mayor sea la cámara de aire, mayor será la atenuación, pero pueden producirse resonancias por lo que es conveniente introducir algún tipo de absorbente en su interior.

Valores técnicos de algunos tipos de vidrios acústicos

Composición (mm)	Espesor (mm)	Índice de aislamiento acústico (db)
6 - 12 - 4	22	33
6 - 16 - 4	26	36
23	36	2.5
10 - 15 - 6	31	38
L9 - 20 - 4	33	40
L11 - 12 - 6	29	41
L13 - 24 - L9	46	50

L = laminar

Fuente: Cristalglass

En la tabla siguiente se muestra los niveles de aislamiento al ruido aéreo entre dos locales, exigidos por el CTE:

Aislamiento entre	Niveles de aislamiento
Recinto habitable – recinto de actividad	> 60 dBA
Recinto habitable – recinto con instalaciones	> 55 dBA
Recinto habitable – recinto común	> 50 dBA
Recinto habitable – otro recinto, distinta unidad de uso	> 50 dBA
Recintos habitables, misma unidad de uso	> 30 dBA

En resumen, el ruido exterior exigirá en primer lugar, un buen diseño del cerramiento, procurando que los vidrios, sellantes y anclajes contribuyan a la atenuación del ruido; en segundo lugar, la determinación de las propiedades acústicas de forma experimental del cerramiento; y por último, un control del aislamiento “in situ” que presenta la fachada ya construida.

Elementos de relleno

Elementos de relleno

4.1. EL VIDRIO

Características mecánicas

El vidrio puede estar sometido a esfuerzos mecánicos de diferentes tipos: tracción, torsión, impacto y penetración. La resistencia real del vidrio siempre está por debajo de la resistencia teórica debido a los defectos microscópicos. Los ensayos proporcionan los siguientes resultados:

Resistencia a compresión

La rotura del vidrio a compresión es prácticamente imposible ya que su resistencia es muy elevada (10.000kg/cm^2).

Resistencia a tracción

Vidrio recocido: 400 kg/cm^2. **Vidrio templado:** 1.000 kg/cm^2

Resistencia a flexión

En este caso se tiene una carga que provoca un gradiente de tensiones, a tracción y compresión, sobre la sección del material. La resistencia a rotura será:
Vidrio recocido sin defectos visibles: 400kg/cm^2. **Vidrio templado:** 1.000 kg/cm^2

Tensiones de trabajo admisibles (daN/cm^2)

	Posición vertical	Posición inclinada	Posición horizontal	Posición horizontal
	Vidrio no sometido a tensiones permanentes.	Vidrio sometido parcialmente a tensiones permanentes.	Vidrio sometido a tensiones permanentes. Ambiente húmedo.	Vidrio sometido a tensiones permanentes. Ambiente húmedo-Piscinas
Recocido	200	150	100	60
Templado	500	375	250	250
Semi-templado	350	260	175	175
Templado Serigrafiado	350	260	175	-
Laminado	200	150	100	100
Colado recocido	180	135	90	90
Colado templado	400	300	200	200
Armado	160	120	80	-

1 daN/cm^2 = 10^5 Pa = 14.5 PSI

Fuente: Ariño

Otras características físicas y mecánicas del vidrio son:

Características	Símbolo	Valor numérico y unidad (*)
Densidad (a 18ºC)	ρ	2500 kg/m^3
Dureza		6 unidades (escala de Mohs)
Módulo de Young	E	7x10^{10} Pa
Índice de Poisson	μ	0.2
Calor específico	c	0.72 x10^3 J/(kg.K)
Coeficiente medio de dilatación lineal entre 20 y 300ºC	α	9x10^{-6} K^{-1}
Conductividad térmica	λ	1W/(m.K)
Índice de refracción medio en el espectro visible (380nm a 780nm)	n	1.5

(*) Estos valores numéricos convencionales no son especificaciones precisas que deba cumplir estrictamente el vidrio, sino valores generalmente aceptados para los cálculos cuando no se exige una gran precisión.

Fuente: Ariño

Transformaciones de los vidrios y tipologías

Para aumentar la resistencia mecánica y seguridad, se recomienda hacer un pulido sobre los bordes de los vidrios.

Los cantos más utilizados son los siguientes:

Arista arenada

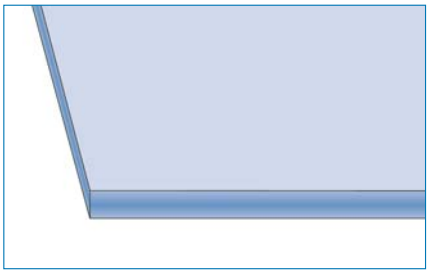


Figura 32

Canto pulido industrial plano

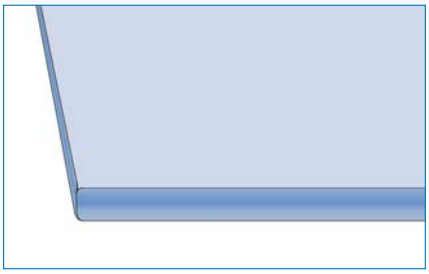


Figura 33

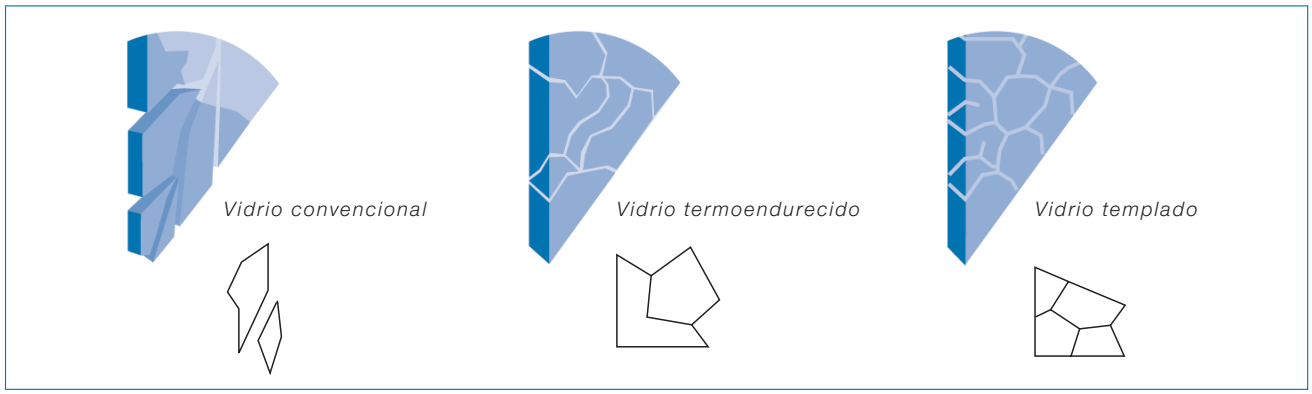
Procesos de transformación

Los principales procesos de transformación del vidrio que existen en el mercado son: corte, pulido, manufacturas, serigrafiado, templado, curvado, deposición metálica, laminado y doble acristalamiento.

Vidrio Templado: el templado térmico consiste en calentar el vidrio hasta una temperatura próxima a la de reblandecimiento para, a continuación, enfriar bruscamente, haciendo incidir sobre su superficie aire a una presión controlada. Así, la superficie queda sometida permanentemente a fuerzas de compresión, mientras que el interior se somete a fuerzas de tracción. Las intensidades de estas tensiones varían de acuerdo con el gradiente térmico que se estableció en el momento de su enfriamiento, con lo que se puede obtener vidrios templados o termoendurecidos.

Los vidrios templados presentan un aumento de la resistencia mecánica, mayor resistencia al choque térmico y mayor seguridad. Se pueden realizar manufacturas, como taladros y serigrafías.

Esquema de rotura:



Fuente: Ariño

Figura 34

Vidrios termoendurecidos

Los vidrios termoendurecidos nos llevan a un reforzamiento de la resistencia mecánica, pero éstos no se consideran un producto de seguridad, ya que en caso de rotura los trozos son de una gran dimensión y pueden ocasionar accidentes. En el proceso de transformación el enfriamiento es mucho más lento, por lo que las tensiones superficiales son inferiores y por tanto tienen una resistencia mecánica más baja.

Temple químico

En este caso, la generación de las tensiones se produce por una modificación superficial de la composición química del vidrio. Existen dos procedimientos diferentes:

- Creación de capas superficiales de menor coeficiente de dilatación que el vidrio base: el recubrimiento se lleva a cabo a temperaturas superiores a la de la relajación del vidrio, cuando éste se enfría la parte interior se contrae más que la superficie quedando ésta sometida a compresión.
- Intercambio superficial de iones del vidrio por otros de mayor tamaño: en este caso, la compresión se produce por la sustitución de iones alcalinos de la superficie por otros más voluminosos. Este proceso de cambio debe producirse a temperaturas inferiores a la de reblandecimiento del vidrio.

Vidrio Laminado

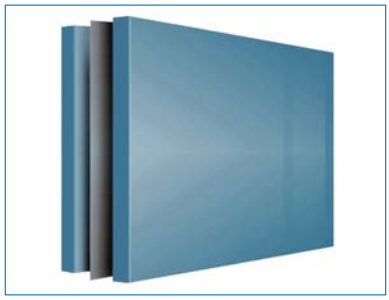
Está compuesto por varias lunas unidas mediante láminas de butiral de polivinilo (PVB), material plástico con muy buenas cualidades de adherencia, elasticidad, transparencia y resistencia.
La característica más sobresaliente es la resistencia a la penetración, por lo que resulta especialmente indicado para la seguridad y protección de personas y bienes. Ofrece también buenas cualidades ópticas, mejora la atenuación acústica y protege contra la radiación ultravioleta.

Vidrio coloreado en masa (parsoles)

Es un vidrio en el cual, durante el proceso de fabricación, se le han añadido óxidos metálicos que le dan un color característico con el consiguiente aumento de la absorción. El vidrio coloreado se utiliza fundamentalmente como protección solar. Debido a la gran absorción de energía solar, es necesario el templado para evitar la rotura por choque térmico.

Vidrio Templado-Laminado

Otra posibilidad es primero templar el vidrio para poder manufacturalo y luego laminarlo. Lo que se pretende conseguir es reunir todas las cualidades que aportan los dos sistemas de tratamiento (mejor resistencia mecánica, seguridad, manufacturas, etc.).
Este tipo de vidrio tiene más resistencia mecánica, puede soportar un choque térmico de 200º C y es seguro.



Fuente: Ariño

Figura 35

Vidrios recubiertos con capas metálicas

Son vidrios en los que se ha depositado, sobre una de sus superficies, una o varias capas metálicas mediante bombardeo iónico en alto vacío. Este tratamiento se realiza a baja temperatura, por lo que no afecta a la planimetría del vidrio. Estos tipos de vidrios brindan la posibilidad de tener un gran control sobre la transmisión de luz y de energía, así como conseguir diferentes aspectos estéticos. En las zonas climáticas en las que el aire acondicionado es necesario, es deseable limitar buena parte de la energía radiante solar. Los vidrios con multicapas metálicas son la solución ideal para este propósito. También podemos combinar estos recubrimientos con vidrio coloreados en masa, lo que provoca que el color en reflexión cambie, dándose así un amplio rango de colores y propiedades de protección solar. Una clase especial de vidrios con capa la constituyen los vidrios **bajo emisivos** en los que la capa metálica es

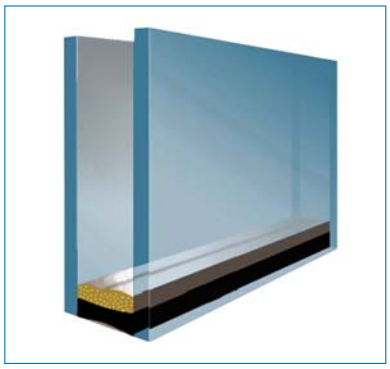
prácticamente transparente a la radiación solar visible, reflejando en cambio la radiación del infrarrojo. Esta característica permite una reducción importante de la ganancia solar, a la vez que mantiene un alto coeficiente de transmisión luminosa.

Vidrios serigrafiados

En los vidrios serigrafiados, se depositan en una de sus caras esmaltes vitrificables por el sistema de impresión serigráfica. Posteriormente se someten al proceso de templado. En dicha operación el esmalte queda vitrificado formando masa con el vidrio y adquiriendo las mismas propiedades que el vidrio templado normal, excepto su resistencia al choque mecánico, la cual está condicionada por la superficie esmaltada, el espesor de los esmaltes, las dilataciones, etc.

Vidrios con cámara

Están formados por dos o más lunas separadas entre sí por una cámara de aire o algún otro gas deshidratado.
La separación entre las lunas la proporciona un perfil de aluminio en cuyo interior se introduce el deshidratante.
El conjunto permanece estanco gracias a una doble barrera contra la humedad.
El segundo sellante asegura la adherencia entre las dos lunas y la integridad del sistema.
Se caracteriza por ser un buen aislante térmico, ya que tiene un bajo coeficiente de transmisión y disminuye mucho las pérdidas de calor con respecto los vidrios monolíticos.
Por otra parte, la superficie interior del acristalamiento permanece a una temperatura próxima a la de la habitación, aumentando la sensación de confort, junto a la ventana y disminuyendo el riesgo de condensaciones en invierno. Es recomendable para conseguir las mayores prestaciones en aislamiento térmico y acústico, así como un mayor ahorro energético.

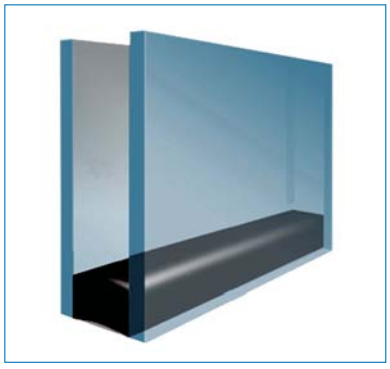


Fuente: Ariño

Figura 36

Doble Acristalamiento TPS

Es un vidrio de nueva tecnología que mejora las prestaciones del doble acristalamiento convencional, reemplazando el perfil de aluminio por un material termoplástico (TPS). Este sistema es el único que permite realizar el relleno de gases de alto peso molecular combinado con sellados de silicona estructural.
La formulación del TPS está basada en poli-isobutileno, desecantes e inhibidores de ultravioleta. Como gran ventaja se puede destacar que evita el puente térmico al eliminar el separador metálico.
El plástico TPS permite una mayor retención de gases pesados y el sistema se caracteriza por una distribución uniforme de la temperatura en toda la superficie de la ventana. Asimismo, mejora el aislamiento acústico y el material es completamente reciclable.



Fuente: Ariño

Figura 37

Elementos de relleno

En resumen, para escoger el vidrio adecuado se debe plantear lo siguiente:

Dimensiones	Máximo y mínimo posible Cálculo de espesores. Teoría de placas. Simulación numérica
Aspecto	Reflexión luminosa. Color e intensidad en reflexión. * Parsoles. Capa superficial. Serigrafía
Iluminación	Transmisión luminosa. Color e intensidad en transmisión Parsol. Capa superficial. Serigrafía
Seguridad	Protección de personas y bienes. Laminado. Templado
Confort	Temperatura de la cara interior Condensaciones - Cámara. Baja emisividad Atenuación acústica Protección ultravioleta - Laminado
Ahorro energético	Factor solar - Parsol. Capa superficial. Serigrafía Coeficiente de transmisión térmica - Cámara. Baja emisividad Fachada ventilada

* Parsol: vidrio coloreado en masa.

Consideraciones para el cálculo de espesores

El espesor del vidrio debe ser el adecuado para soportar una carga determinada y condicionar la flecha del producto cuando se aplica dicha carga.
Generalmente el cálculo se determina mediante la formulación de la teoría de flexión pura de placas según Timoshenko.

Los datos necesarios para poder determinar el espesor son los siguientes:

- Tipo de vidrio que se desea
- Emplazamiento (datos de la obra: zona geográfica, situación del edificio, altura, situación climática, etc.)
- Prestaciones técnicas
- Tipo de enlace
  - placa apoyada en los 4 lados
  - placa apoyada en los dos lados opuestos
  - placa encastrada en un lado
  - puntuales (vidrio exterior anclado)
- Ángulo de la fachada
- Necesidad de mecanizados
- Tipología de fachada/ventana

Para mayor información técnica sobre los productos, ver "Manual del Vidrio" (CITAV) o "MEMENTO" (Saint-Gobain Glass).
El cálculo analítico del espesor del vidrio debe ser determinado por el fabricante.

Propiedades ópticas del vidrio:

Factor de transmisión luminosa: cociente entre el flujo de radiación visible transmitida al atravesar un medio y la radiación visible incidente.
Factor de reflexión luminosa: cociente entre el flujo luminoso reflejado y el flujo luminoso incidente, medido para una incidencia casi normal.
Transmisión de energía directa: porcentaje de la energía solar que atraviesa el vidrio en relación con la energía solar incidente.
Absorción energética: parte del flujo de energía solar incidente absorbida por el vidrio.
Factor de transmisión total de la energía solar o Factor Solar: cociente entre la energía total que pasa a través de un acristalamiento y la energía solar incidente.

Esquema de la distribución energética:

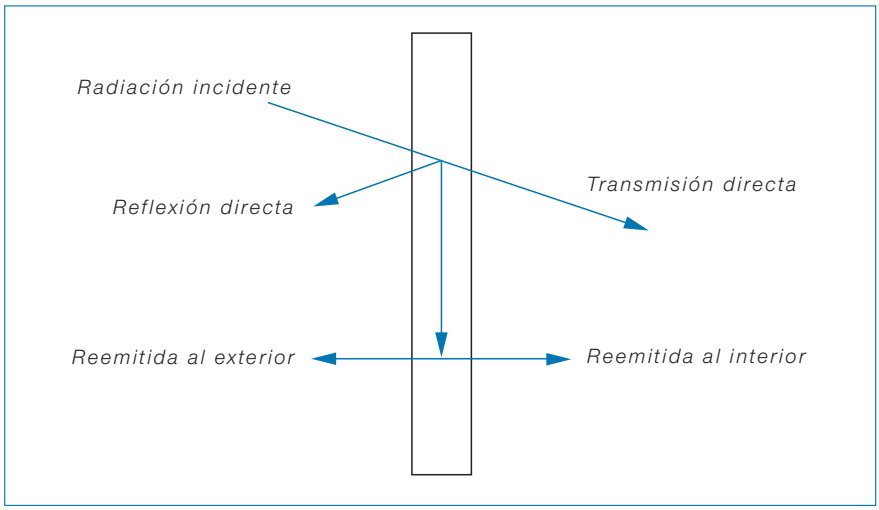


Figura 38

Métodos de control solar

Dependiendo de las prestaciones técnicas que se deseen se utilizan diferentes tipos de vidrio:

- Vidrios coloreados en masa
- Vidrios serigrafiados
- Vidrios con recubrimientos metálicos (vidrios bajo-emisivos)
- Vidrios aislantes

Coeficiente de transmisión térmica, K (U)

Para describir el comportamiento térmico de un acristalamiento se define el coeficiente de transmisión K el cual indica si el material es buen aislante. Dicho coeficiente depende de las características intrínsecas del material, su espesor, de la existencia de cámara de aire así como del tratamiento superficial del vidrio. Un valor K pequeño indica que es buen aislante térmico.

Puesta en obra

La puesta en obra de los productos vítreos viene definida y regularizada según la norma UNE 85222:1985 “Ventanas. Acristalamiento y Métodos de Montaje”. En ella se hace referencia a los principios de colocación, galces, normas de acuñado, acristalamientos especiales, juntas, almacenamiento y montaje.

4.2. LOS PANELES

Los paneles opacos forman una parte importante del muro cortina, aunque variable según el diseño. Igual que los vidrios tienen como misión las mismas funciones. Están compuestos por las siguientes superficies:

1. Cara exterior del panel: es importante ya que de ella depende el aspecto exterior y su resistencia a los agentes atmosféricos. Los materiales generalmente utilizados son:

Metales: Chapa de acero vitrificada
Chapa de acero inoxidable
Chapa de acero corten
Chapa de cobre
Chapa de aluminio (esmaltada al fuego, color natural, coloreada, (aluminio fundido))

Placas de fibrocemento vitrificado

Placas de vidrio

2. Cara interior del panel: los materiales más utilizados son:

Chapa de aluminio
Chapa de aluminio plastificada
Madera
Chapa de fibrocemento

3. Parte central (aislante): los materiales más empleados son:

Aislantes vegetales: Corcho Lino
Aislantes minerales: Lana de vidrio
Espuma de vidrio
Poliestireno expandido
Cloruro de polivinilo expandido
Poliuretano expandido

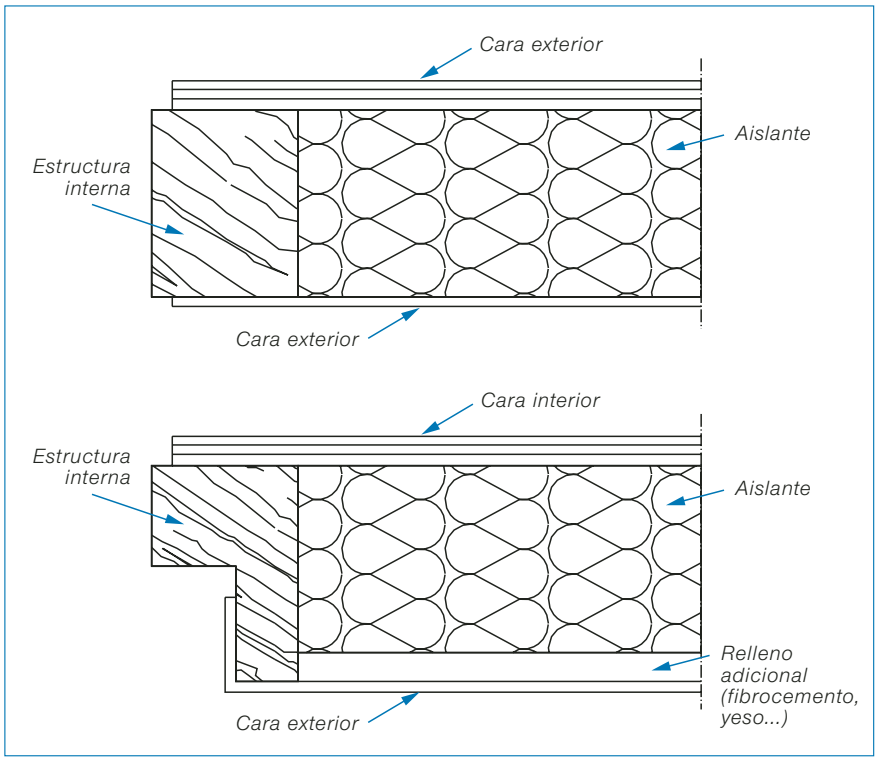


Figura 39

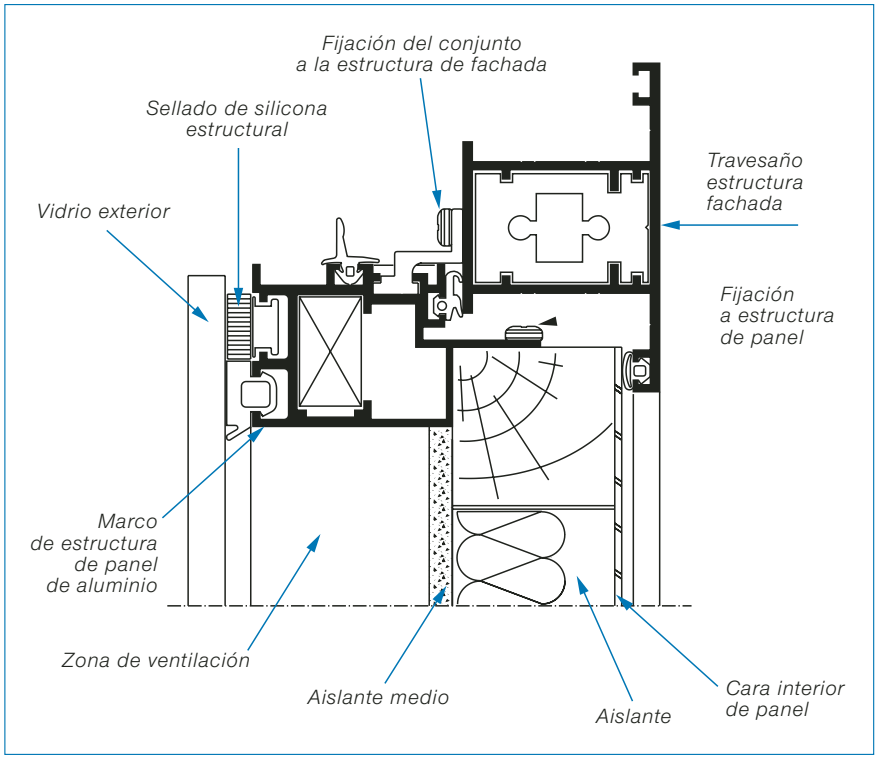


Figura 40

Tipologías

Encolados

La placa exterior e interior se encolan al aislante para obtener un panel rígido.
Cuando el aislamiento térmico contribuye a la rigidez, estas placas pueden ser más delgadas.

Ensamblados mecánicamente

Cuando se desea realizar un panel ventilado, el panel exterior no puede pegarse; entonces se recurre a la unión de las placas mediante otros sistemas de fijación.

Elementos de relleno

Fijados separadamente

En este caso, la placa exterior, la interior y el aislante se fijan por separado a la estructura auxiliar.

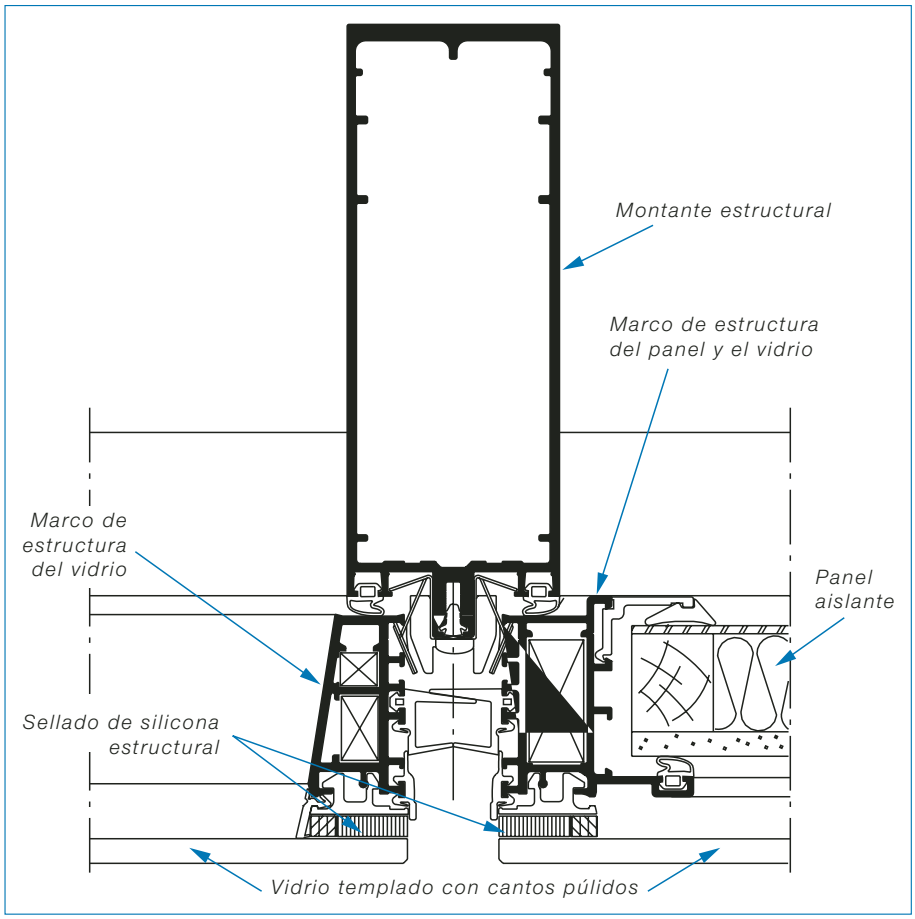


Figura 41

Paneles trasdosados

Cuando además del panel ligero se dispone interiormente de un antepecho de albañilería, el panel puede simplificarse ya que entonces el cerramiento está definido por el conjunto de panel y antepecho, en el que el panel constituye únicamente la hoja exterior.

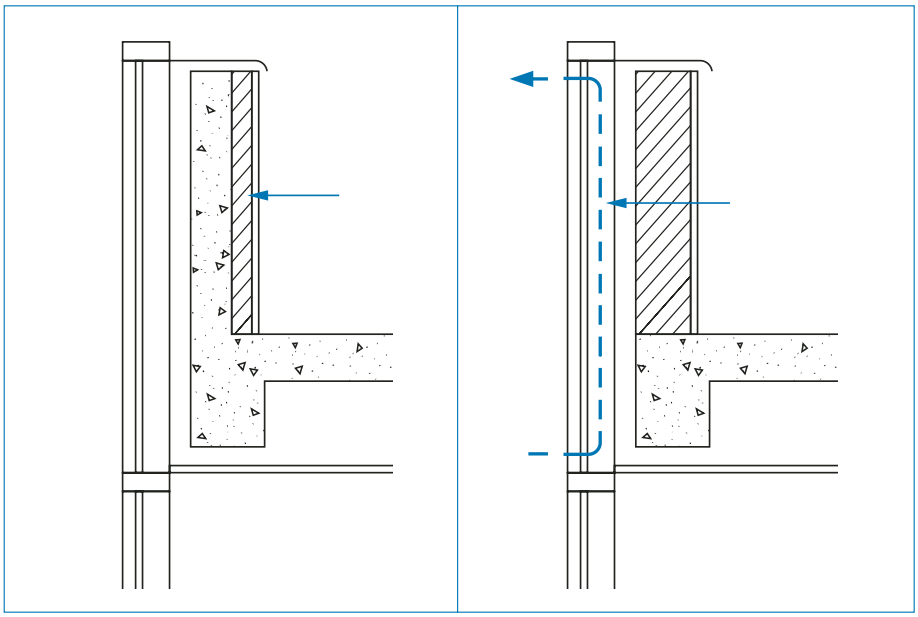


Figura 42

4.3. CORTAFUEGOS

Recogido en la NBE-CPI-96.
Los espacios que se originan entre la estructura del edificio y la fachada ligera supone un peligro en caso de incendio ya que el fuego se puede propagar entre plantas. Es por ello que se exige, según la NTE "Fachadas-Particiones" 1989, en edificios de más de 25m, colocar en los pasos de forjado a partir de esta altura, elementos resistentes al fuego (mínimo durante 60 minutos). Estos deben ser solidarios al forjado y con una altura mayor de 60 cm por encima del forjado y de 25 cm por debajo de éste.

4.4. ELEMENTOS DE REMATE

Detalle paso forjado

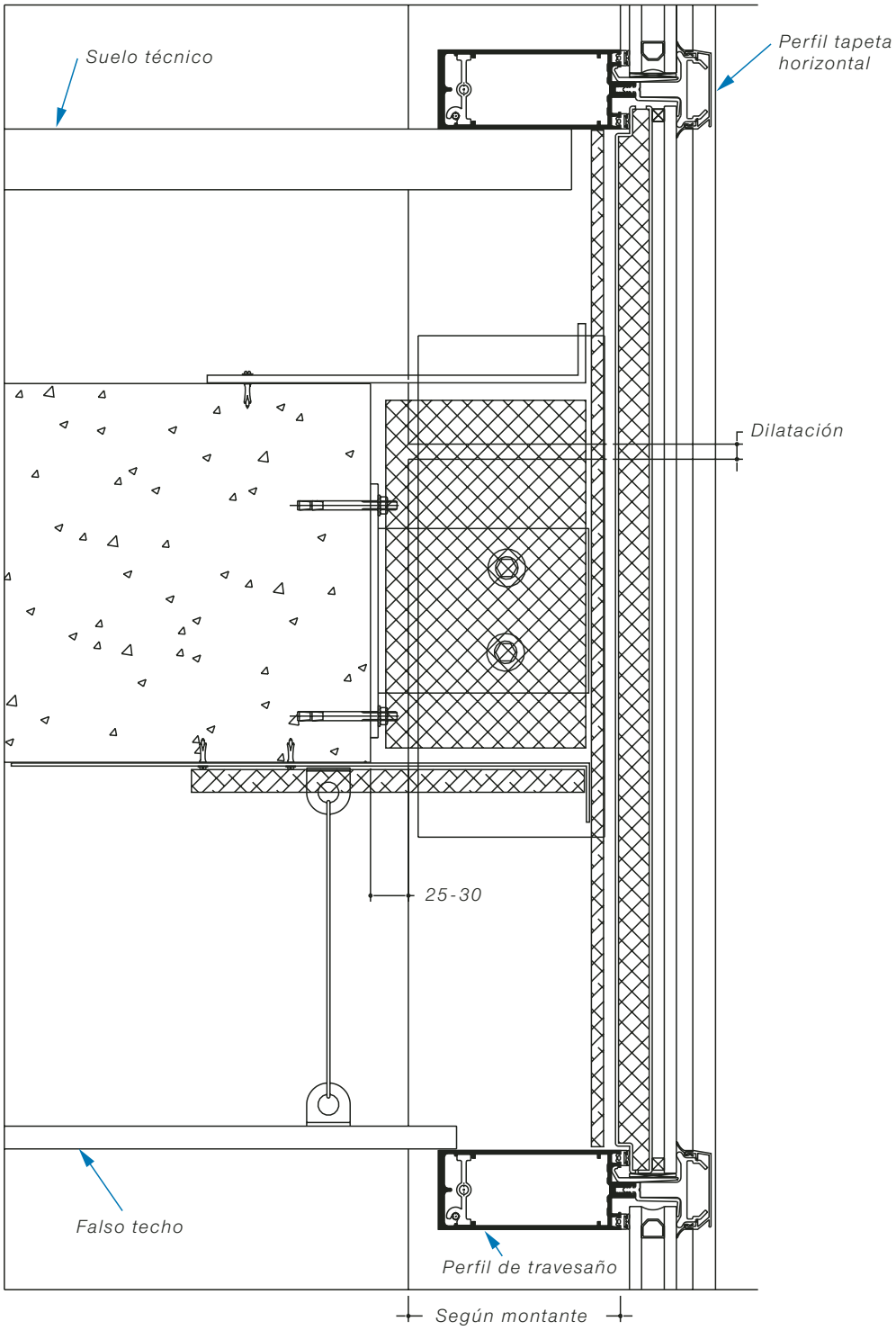


Figura 43

Detalle de coronación

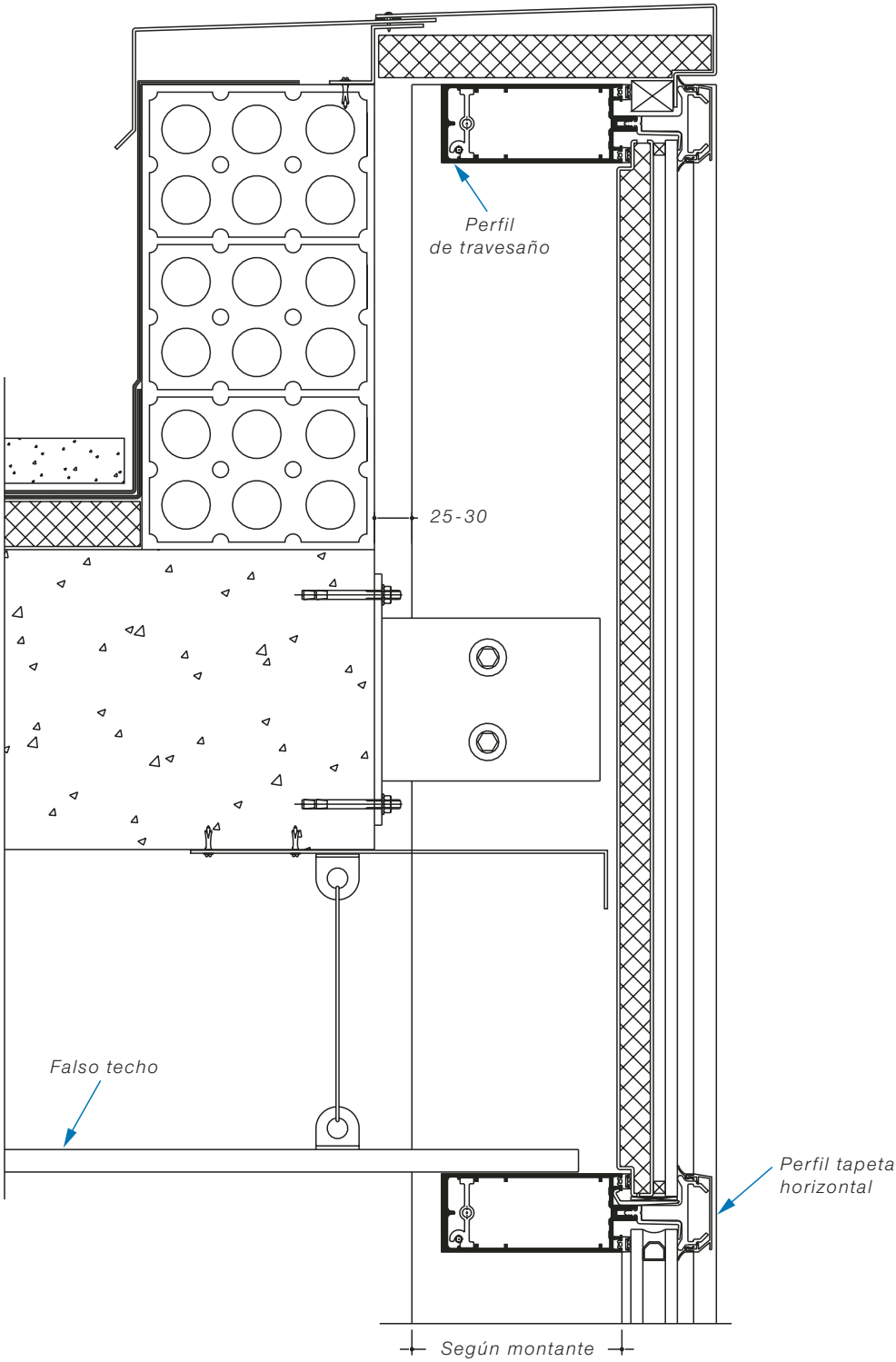
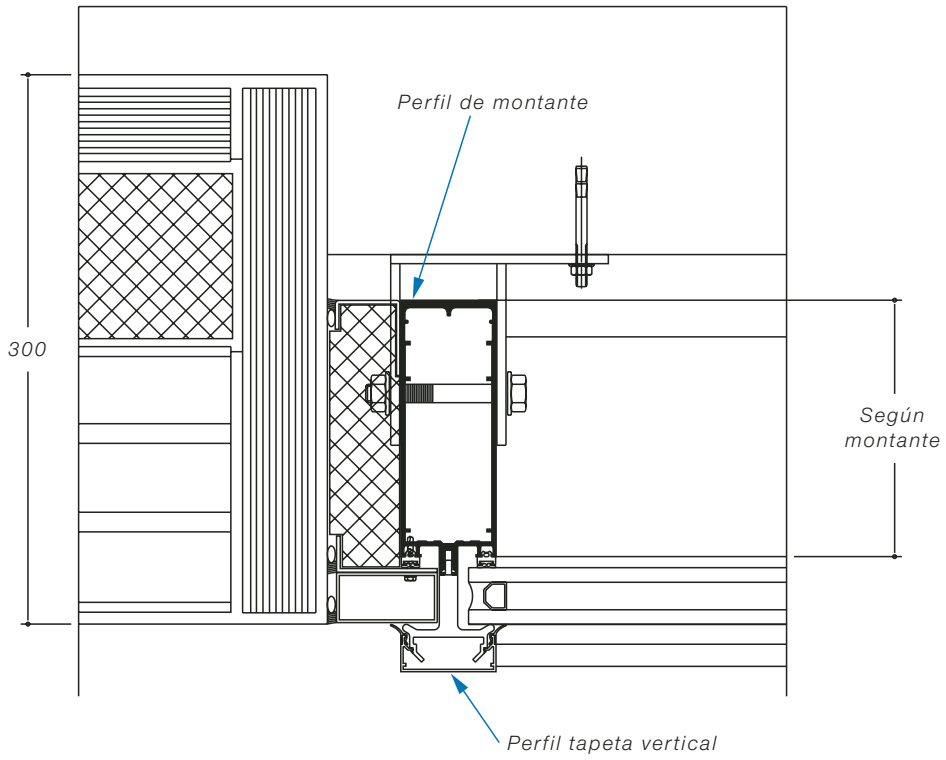


Figura 44

Detalle lateral



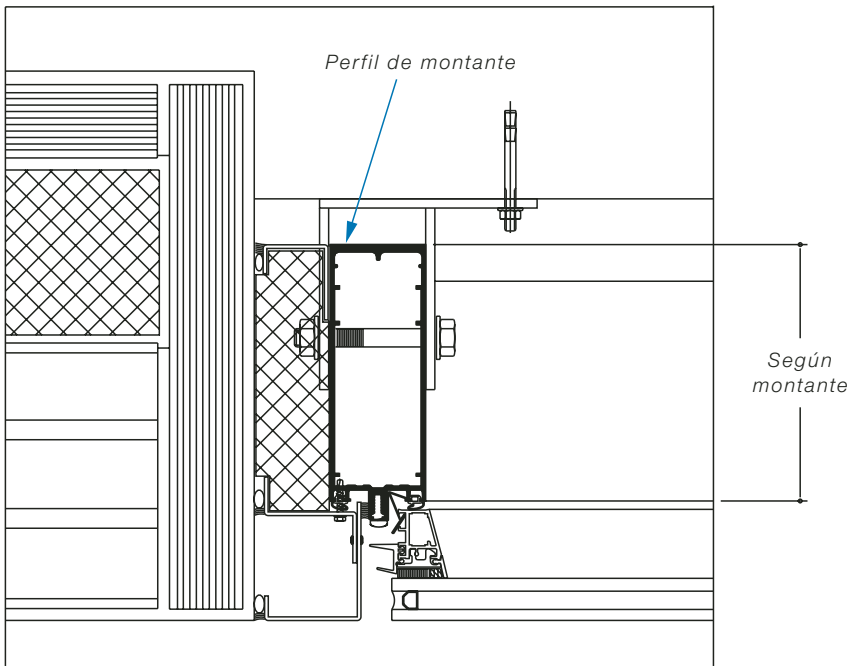
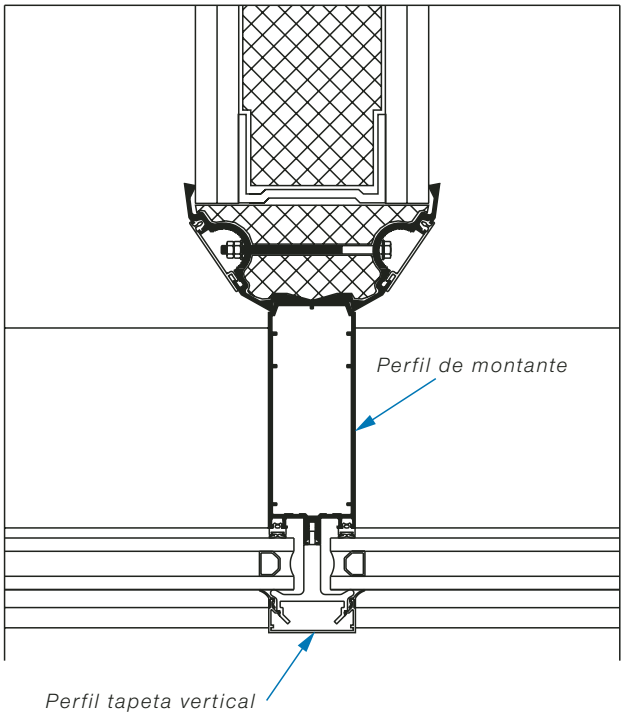


Figura 45

Detalle entrega tabiqueria



Detalle arranque inferior

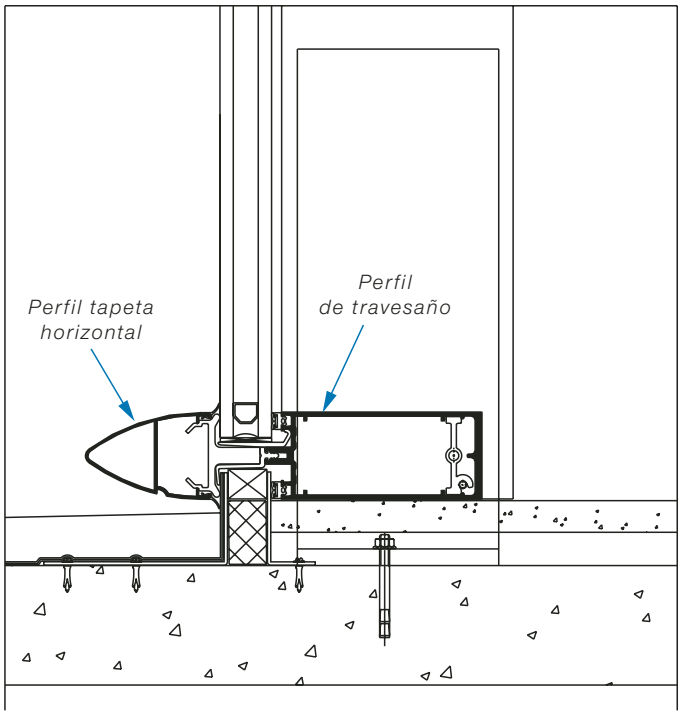


Figura 46

Sistema de silicona estructural

Sistema de silicona estructural

El sistema de silicona estructural o vidrio estructural (structural glazing), es el más novedoso de la actualidad. Consiste en eliminar de la cara externa de la fachada el elemento de sujección del relleno (contratapa o presor), para evitar líneas marcadas de fachada y consiguiendo una superficie total de vidrio.
Para ello, el vidrio se fija a una estructura (generalmente de aluminio anodizado a través de procesos de calidad muy exigentes), independiente de la estructura de la fachada, y mediante siliconas de características especiales (resistentes a rayos UV...), obteniendo así módulos prefabricados que posteriormente cerrarán la fachada.
Se pueden incorporar ventanas (proyectantes al exterior o practicables al interior) que por el exterior carecen de resaltes
impidiendo distinguir los módulos practicables de los fijos ya que su apariencia es idéntica al tratarse de sistemas de ocultación de la perfilería de base.

El peso del vidrio queda soportado por los calzos de acristalamiento, tal y como se puede observar en la siguiente figura, para evitar que la silicona trabaje a cortadura; de manera que la función de esta es evitar el desprendimiento debido a acciones perpendiculares a la superficie del vidrio, como la presión o succión del viento (a tracción).
La Norma Europea EN 13022-1 hace referencia solo al sistema de silicona estructural empleado con perfiles de aluminio **anodizado** o bien sobre otros perfiles metálicos conformes con los requisitos determinados en dichas normativas. Tampoco abarca ciertas clases de vidrio (vidrios impresos, vidrio plano armado, serigrafiados, etc.).

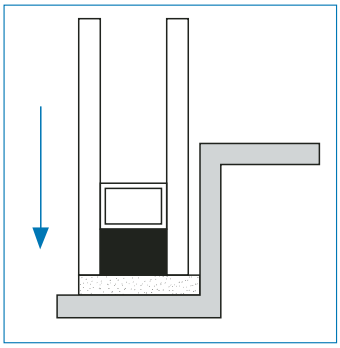


Figura 47

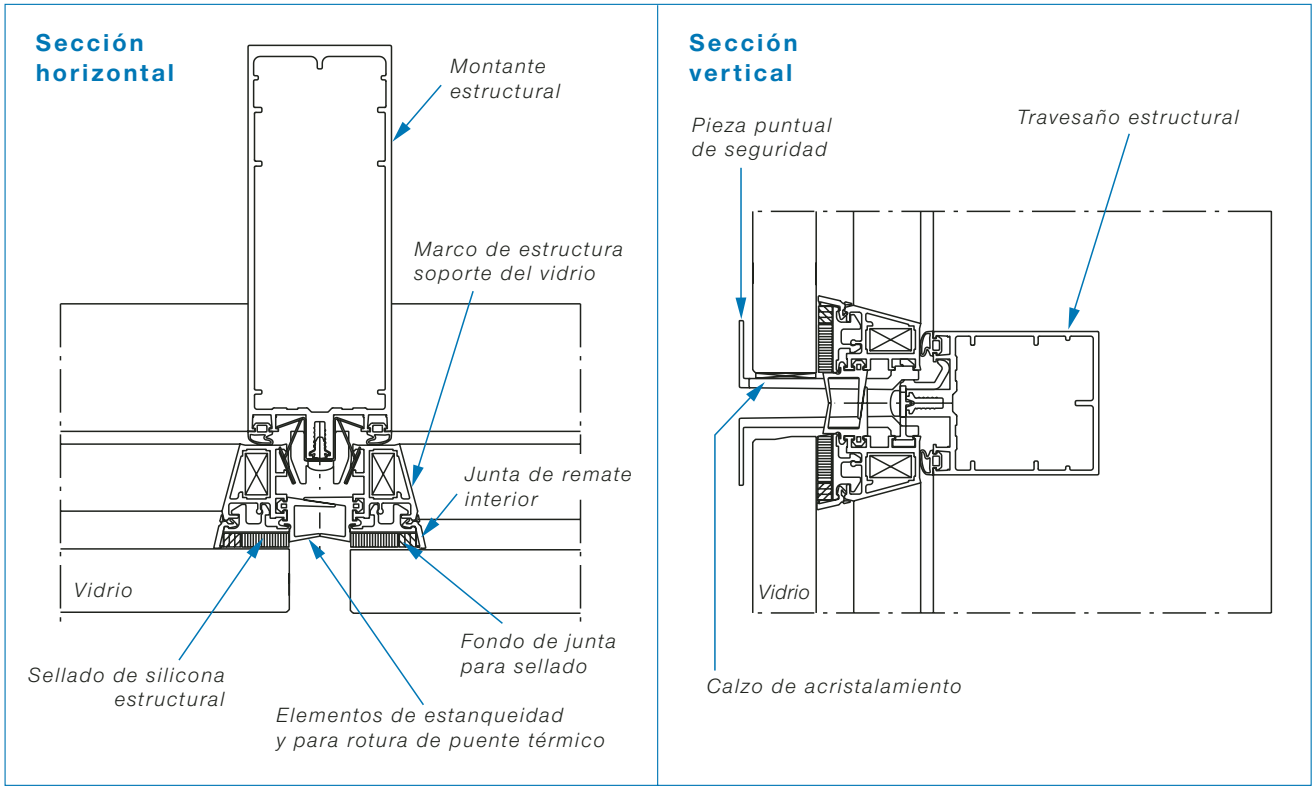


Figura 47 Figura 48

5.1. TERMINOLOGÍA Y TIPOLOGÍAS

Según la norma EN 13022 se distinguen tres tipos de sellado:

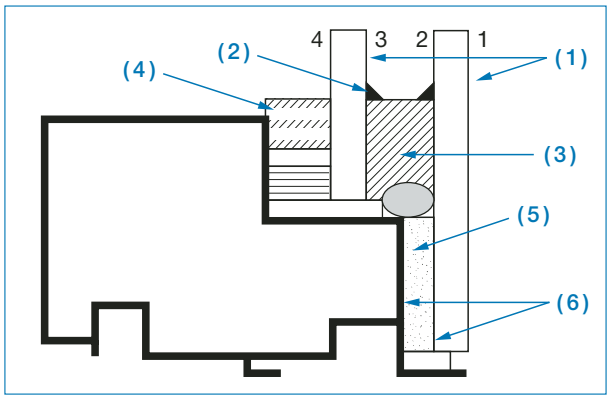


Figura 49

Caso 1: vidrio con cámara.
La silicona se aplica en la cara interior del vidrio exterior (cara 2), ya que el vidrio va decalado.

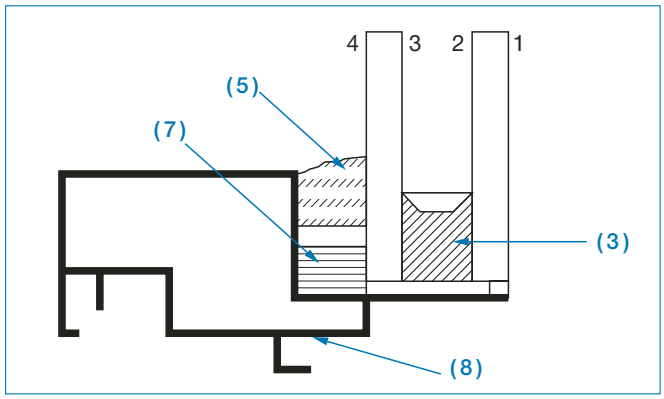


Figura 50

Caso 2: vidrio con cámara.
La silicona se aplica en la cara 4.

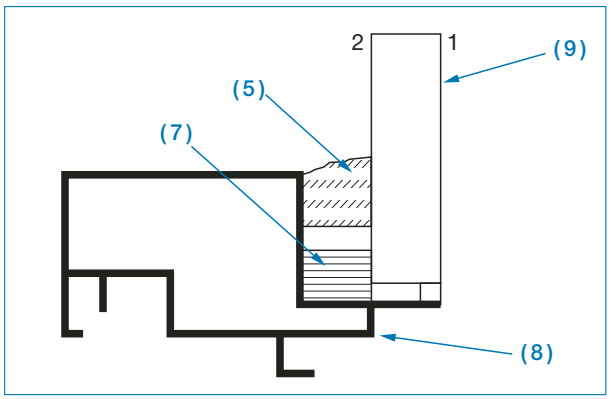


Figura 51

Caso 3: vidrio laminado.
El cordón de silicona se aplica en la cara 2.

Terminología

1	Vidrio de cámara
2	Intercalario + sello primario
3	Sello secundario o sellado del doble acristalamiento
4	Sellado de estanquidad
5	Cordón de silicona estructural
6	Superficie de adhesión
7	Distanciador y cordón de estanqueidad
8	Perfil de aluminio
9	Vidrio laminado

5.2. REQUISITOS DEL SELLADO ESTRUCTURAL

Según la Norma Europea 13022-1, la silicona estructural es ensayada para garantizar los requisitos siguientes:

1	**Fallo de adhesión**	Se considera que hay fallo cuando la fractura supere el 10% en la superficie de soporte.
2	**Cambio de volumen**	No debe sobrepasar un 10%
3	**Recuperación elástica**	Como mínimo debe ser un 85%
4	**Resistencia al desgarre**	No puede empeorar respecto de la inicial
5	**Tensión de tracción y módulo de elasticidad**	$R_{u,5}$ (tensión a tracción (23ºC)) > 0.5 MPa Tensión tracción (80ºC) > 70% $R_{u,5}$ Tensión tracción (-20C) > 70% $R_{u,5}$
6	**Deformación a cizalladura**	Lo permitido en servicio es de un 15%
7	**Carga mecánica cíclica**	El valor de la tensión de tracción después de ensayo debe ser mayor que el 70% de la tensión de tracción media
8	**Radiación solar e inmersión en el agua**	El valor de la tensión de tracción después de ensayo debe ser mayor que el 70% de la tensión de tracción media
9	**Niebla salina**	El valor de la tensión de tracción después de ensayo debe ser mayor que el 70% de la tensión de tracción media
10	**Atmósfera de SO_2**	El valor de la tensión de tracción después de ensayo debe ser mayor que el 70% de la tensión de tracción media
11	**Agentes de limpieza**	El valor de la tensión de tracción después de ensayo debe ser mayor que el 70% de la tensión de tracción media
12	**Alta temperatura**	El valor de la tensión de tracción después de ensayo debe ser mayor que el 70% de la tensión de tracción media
13	**Compatibilidad con materiales adyacentes u otros sellantes**	No debe producirse decoloración. La tensión media puede verse afectada por la presencia del otro objeto
14	**Formación de burbujas**	No se permite la existencia de burbujas

5.3. DIMENSIONES MÍNIMAS DEL SELLADO

Las dimensiones mínimas enunciadas en la Norma Europea EN 13022-1 del sellado estructural son las siguientes:

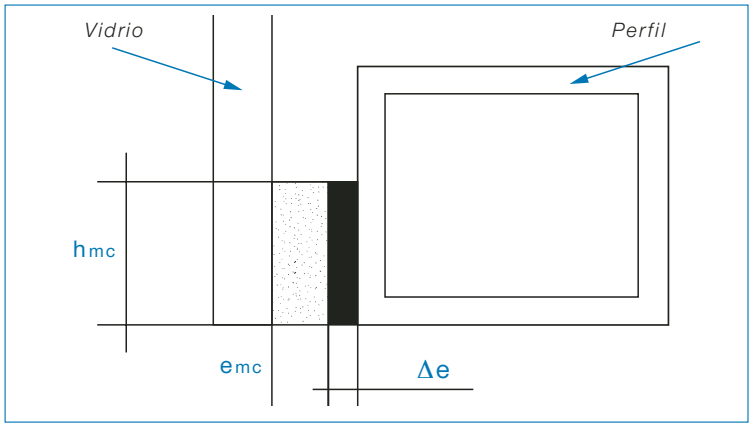


Figura 52

donde:

h_{mc} es la altura del sellado estructural

e_{mc} es el espesor del sellado estructural

h_{mc} (mm)	e_{mc} (mm)
$6 \leq h_{mc} \leq$	$6 \leq e_{mc} \leq$
$12 \leq h_{mc} \leq 20$	$h_{mc}/2 \leq e_{mc} \leq 12$
$h_{mc} > 20$	$10 \leq e_{mc} > 12$

5.4. PIEZAS DE SEGURIDAD

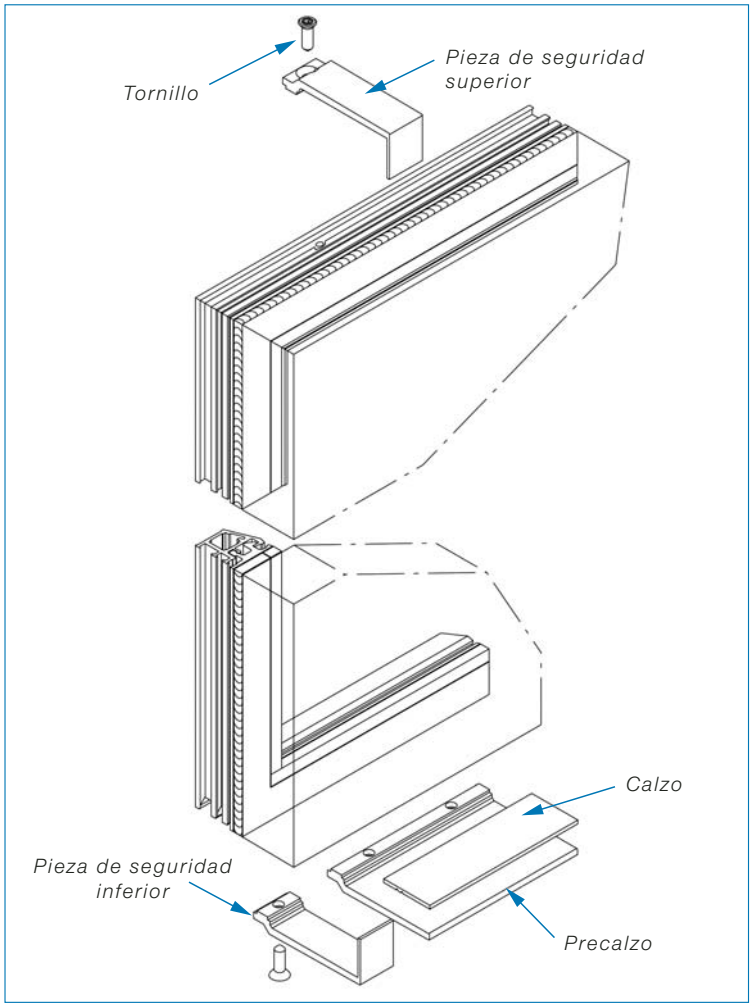


Figura 53

En nuestro país existe un vacío legal en cuanto a la obligatoriedad de colocar piezas de seguridad para este tipo de fijación del vidrio. Estas piezas sujetan mecánicamente el vidrio a la estructura (sólo en caso de desprendimiento del vidrio) y prácticamente no se aprecian una vez colocadas.

La garantía que ofrecen los fabricantes de silicona estructural es como mínimo 10 años, referente a la adherencia de su producto.

En otros países, como por ejemplo Francia y Alemania, la utilización de estas piezas es obligatoria.

Bases de proyecto

6.1. TOLERANCIAS DEL SISTEMA

Una de las exigencias de los muros cortina se refiere a las tolerancias en el montaje. En este caso, a diferencia de las fachadas tradicionales, se requiere un sistema de montaje que permita el ajuste preciso de la posición en cada una de las direcciones del espacio. Para ello se utilizan tornillos de calibración que una vez anclados mediante cualquier procedimiento pueden ser parte del sistema definitivo de transmisión de cargas.

6.2. TOLERANCIAS DE LA ESTRUCTURA

La magnitud de las desviaciones es diferente que en el caso anterior (hablamos de mm en referencia a las fachadas ligeras y de cm en caso de la estructura del edificio), lo que implica sistemas de ajuste distintos.
Para corregir los errores de desviación de la estructura se suelen utilizar forros, agujeros rasgados y elementos que permitan el ajuste amplio, aunque no de gran precisión. Estos elementos se sitúan entre la estructura y el anclaje, de forma que se coloque dentro de las tolerancias de la fachada, procediéndose al ajuste final mediante la tornillería solidaria a los paneles.

La necesidad de considerar tolerancias de importancia obliga a dejar entre la fachada y la estructura separaciones que condicionan el sistema de anclaje en virtud de la excentricidad introducida entre las cargas gravitatorias y la estructura. Tal separación condiciona igualmente el comportamiento ante el fuego, siendo necesario disponer algún tipo de relleno que separe los niveles pero que no introduzca coacciones a la fachada.

6.3. SENSIBILIDAD A LOS DESPLAZAMIENTOS DE LA ESTRUCTURA

Las dimensiones de los elementos de cerramiento son muy inferiores a las luces de la estructura y vienen condicionadas por fabricación (hasta 6 m). Esto implica que los apoyos habrán de realizarse en los puntos intermedios de los forjados. Como consecuencia el cerramiento queda afectado por las flechas inducidas del forjado que se suma a la flecha provocada por las sobrecargas.

La fachada se sujeta al forjado del edificio, provocándole flexión y a su vez, a su propia estructura.

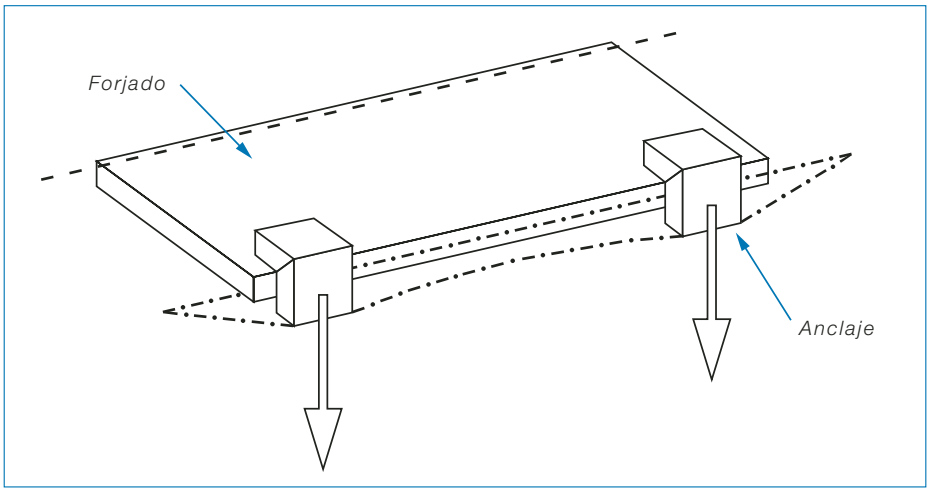


Figura 54

La flecha máxima sobre los elementos de la fachada ligera se obtiene de la siguiente forma:

$$\delta_{máx} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$$

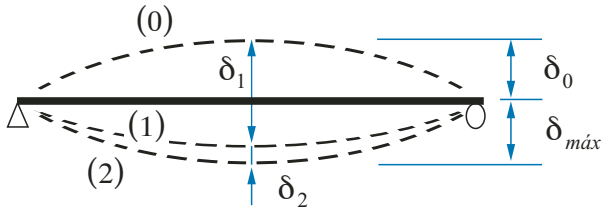


Figura 55

donde:

$\delta_{máx}$ es la flecha en el estado final relativa a la línea recta que une los apoyos;

δ_0 es la contraflecha inicial (combadura) de la viga en estado de descarga (estado 0);

δ_1 es la variación de la flecha de la viga debida a las cargas permanentes inmediatamente después de la carga (estado 1);

δ_2 es la variación de la flecha de la viga debida a las cargas variables más cualquier deformación dependiente del tiempo debida a las cargas permanentes (estado 2).

6.4. SENSIBILIDAD A LOS DESPLAZAMIENTOS TÉRMICOS

Las diferencias de temperatura a las que están sometidos a los cerramientos plantean importantes condicionantes tanto en la organización del propio cerramiento como al sistema de anclaje.
Las variaciones dimensionales del aluminio son debidas a las dilataciones y contracciones originadas por los cambios de temperatura. Estas variaciones son función del coeficiente de dilatación térmica del material, α, y de las diferencias de temperatura, y originan en los perfiles un esfuerzo σ (kg/cm^2).

Si tenemos un material a una temperatura t_0 y se calienta hasta una temperatura t_1, el alargamiento experimentado se obtiene de la expresión:

$$\Delta L = L_1 - L_0 = \alpha\,(t_1 - t_0)$$

siendo:

L_1 la longitud del elemento a la temperatura t_0

L_0 la longitud del elemento a la temperatura t_1

α el coeficiente de dilatación térmica

t_1 el salto térmico

Aproximadamente, la variación de longitud que experimenta un perfil de aluminio sometido a un salto térmico de 40ºC (40º en verano y 0º en invierno) es de 1mm por metro de longitud.

Según la ley de Hooke, el esfuerzo producido por el alargamiento es:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = E\,\alpha\,\Delta t$$

σ Tensión en kp/cm^2

ε Alargamiento unitario $\sigma\Delta t$

E Módulo de elasticidad en kp/cm^2

Cuando se calienta el aluminio y no puede expandirse libremente produce sobre los elementos que le impiden expansionarse un esfuerzo que viene dado por la fórmula anterior, que se traduce en una deformación del elemento más débil. Es decir, si el montante es más débil que el travesaño, se producirá una falta de verticalidad. Si por el contrario es el travesaño el más débil, se originan pandeos con flechas muy importantes.

En el primer caso, la magnitud de las deformaciones impide concentrar su efecto en juntas aisladas y, por tanto, cada panel ha de montarse con la holgura suficiente como para no topar con los aledaños en caso de dilatación extrema. Respecto al anclaje, la estructura tiene que ser isostática para acomodar los desplazamientos relativos entre el sistema y la estructura. Existen diferentes tipologías que permiten situar la estructura en el espacio y permitir el deslizamiento debido a la dilatación del material.

La norma UNE 85222:1985 postula el principio de independencia como sigue:

"Los productos vítreos, recocidos o templados, deben estar colocados de forma tal que en ningún momento puedan sufrir esfuerzos debidos a:

- Contracciones o dilataciones del propio vidrio
- Contracciones, dilataciones o deformaciones de los bastidores que lo enmarcan
- Deformaciones aceptables y previsibles del asentamiento de la obra, como pueden ser las flechas de los elementos resistentes
- Las lunas, jamás han de tener contactos entre si, evitándose igualmente el contacto vidrio–metal, salvo en aquellos casos de perfiles y metales blandos, como pueden ser el plomo y el aluminio recocido.
- En general, los contactos vidrio – vidrio, vidrio – metal y vidrio – hormigón están prohibidos"

6.5. BASES DE CÁLCULO

Según la Norma Europea EN 13830: 2002, "Fachadas Ligeras – Norma de Producto", los requisitos a tener en cuenta para el proyecto de una fachada ligera son:

1. **Resistencia a la carga de viento:** el sistema debe ser capaz de resistir las cargas de viento y transmitirlas a la estructura del edificio mediante los puntos de anclaje.
2. **Peso muerto:** el sistema debe soportar su propio peso y el peso de cualquier otro elemento adicional, transfiriéndolos a la estructura del edificio mediante los puntos de anclaje. Los pesos propios deben ser calculados mediante la Norma Europea ENV 1991-1-1. 2001.
3. **Resistencia al impacto:** si el arquitecto lo requiere, se deben realizar ensayos de resistencia según la Norma Europea EN 12600.
4. **Permeabilidad al aire:** se debe realizar un ensayo según la Norma Europea 12153.
5. **Permeabilidad al agua:** se debe realizar un ensayo según la Norma Europea 12155.
6. **Atenuación al ruido aéreo:** cuando el arquitecto o constructor lo desee, se realiza el ensayo mediante la norma EN ISO 140–3.
7. **Transmitancia térmica:** el método de cálculo y ensayo viene definido en la norma prEN 13947:2000.
8. **Resistencia al fuego:** si se solicita, la fachada se clasifica según la norma prEN13501-2:1999.
9. **Reacción al fuego:** en caso de ser solicitado, la fachada se clasificará según la norma EN 13501-1:2000.
10. **Propagación al fuego:** cuando el proyecto lo exija, se incorporarán en la fachada interruptores de fuego y humo para prevenir su propagación y facilitar la evacuación de humos.
11. **Durabilidad:** depende de los componentes y acabados del sistema. No se somete a ningún ensayo para evaluar su durabilidad, pero el fabricante tiene que dar algunas recomendaciones para su mantenimiento.

12. **Permeabilidad al vapor de agua:** se deben incorporar elementos para la evacuación del vapor de agua y evitar condensaciones.
13. **Equipotencialidad:** las fachadas con una altura superior a 25 m tienen que mantener sus partes metálicas ligadas mecánicamente entre sí y al edificio, asegurando equipotencialidad con el circuito de toma de tierra del edificio. Sólo se ejercita cuando el proyecto lo exija.
14. **Resistencia al choque sísmico:** sólo cuando el proyecto lo solicite será determinado según la localización y las especificaciones técnicas de la zona.
15. **Resistencia al choque térmico:** según las prestaciones que se requieran se colocará un vidrio determinado (endurecido o templado).
16. **Movimiento del edificio y térmico:** la fachada ligera debe absorber los movimientos de la estructura del edificio, previamente especificados por el proyectista.
17. **Resistencia a las cargas vivas horizontales:** la fachada debe resistir dichas cargas según lo especificado en la norma ENV 1991-1-:2001.

6.6. COMPROBACIÓN DE LOS ELEMENTOS

6.6.1. VIDRIOS

El cálculo del espesor de un vidrio se efectúa mediante la formulación según Timoshenko, que se reduce al cálculo estructural de una placa sometida a una carga uniforme.
En realidad se trata de una placa rígida sobre apoyos elásticos de rigidez mucho menor que la placa, ya que los esfuerzos se transmiten a través de la junta situada entre el vidrio y el marco.
En el caso particular de los muros cortina, el vidrio va apoyado por unos calzos únicamente en 4 puntos (2 en cada travesaño), situados a una distancia L/10 de los apoyos, siendo L la longitud del travesaño.

Cálculo del espesor

Se toman las siguientes hipótesis:

- La carga es uniforme en toda la superficie del vidrio
- La tensión máxima admisible (σ_{adm}) debe ser elegida según el tipo de vidrio que se desee
- Para el cálculo del peso propio del vidrio, el espesor a tener en cuenta es la suma del espesor nominal y de la tolerancia en espesor del producto
- El resultado del cálculo es el espesor mínimo que debe tener el vidrio

	Caso 1: placa apoyada en 4 lados sometida a una carga uniforme.	**Caso 2:** placa apoyada en 2 lados sometida a una carga uniforme.	**Caso 3:** placa encastrada en 1 lado sometida una carga uniforme.
Espesor	$e = \sqrt{6\beta P \frac{a^2}{\sigma}}$	$e = \sqrt{7.5 P \frac{a^2}{\sigma}}$	$e = \sqrt{30 P \frac{a^2}{\sigma}}$
Flecha	$f = \frac{\alpha}{72} P \frac{a^4}{e^3}$	$f = \frac{149}{72} P \frac{a^4}{e^3}$	$f = \frac{1500}{72} P \frac{a^4}{e^3}$

b/a	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	3	4	5	∞
6β	2.8	3.3	3.7	4.1	4.5	4.8	5.1	5.4	5.6	5.9	6.1	7.1	7.4	7.5	7.5
α	46	55	64	73	80	88	95	101	106	111	116	140	146	148	149

Siendo: e Espesor del vidrio
P Carga uniformemente repartida (Pa)
a Distancia más corta entre apoyos
b Distancia más larga entre apoyos
σ Tensión máxima admisible en el vidrio (daN/cm^2)
f Flecha en mm en el centro de la placa
α y β Coeficientes de forma

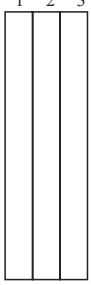
Según estas fórmulas se halla el espesor de vidrio de cálculo, que debe ser multiplicado por un factor corrector de equivalencia para determinar el espesor mínimo del vidrio real.

Para los vidrios habituales se utilizan los siguientes factores:

Clase de vidrio		ε
Vidrio armado		1.2
Vidrio templado	P ≤900 Pa	0.8
	P > 900 Pa	0.7
Vidrios laminados	Dos hojas del mismo e	1.3
	Tres hojas del mismo e	1.6
Doble acristalamientos		1.5

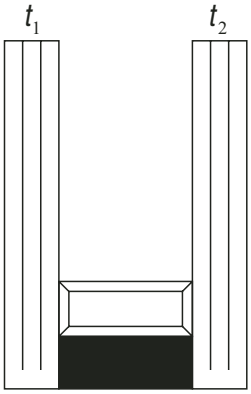
En la norma pr EN 13022 (proyecto de norma, no en vigor aún) se define el espesor (t) equivalente de los vidrios laminados y aislantes de la siguiente manera:

Vidrio laminado



$$t = \sqrt[3]{(t_1^3 + t_2^3 + \ldots + t_n^3)}$$

Vidrio aislante de dos hojas de vidrio monolítico

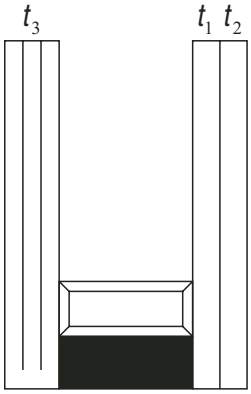


para

$$t_1 - t_2 \leq \pm 2\,mm$$
$$d \leq 14\,mm$$

$$t = \frac{(t_1 + t_2)}{1.4}$$

Vidrio aislante con vidrio laminado



para

$$t_1 - t_3 \leq \pm 2\,mm$$
$$d \leq 14\,mm$$

$$t = \frac{(t_l + t_3)}{1.4}$$

con

$$tl = \sqrt[3]{(t_1^3 + t_2^3)}$$

Figura 56

Los valores obtenidos a partir de las ecuaciones anteriores son más conservadores que los indicados en el manual del vidrio.

6.6.2. PERFILERÍA

Se distingue entre el cálculo de los montantes y los travesaños. El proyectista debe atender a dos comprobaciones:

- **Comprobación de la resistencia de la sección del perfil**

Se debe comprobar que la tensión de cálculo de la sección solicitada no sobrepase la tensión admisible del material.

- **Flecha máxima admisible**

Se debe comprobar que la flecha inducida no sobrepase los valores establecidos por las normas.

Diseño

Se pueden dar dos situaciones:

Caso 1: El proyectista quiere calcular la inercia necesaria para los perfiles de la obra.
Caso 2: Se parte de un perfil determinado.

En ambos casos se deben realizar las dos comprobaciones anteriormente mencionadas.

Montantes

El diseño de los montantes viene determinado por el arquitecto o constructor pero normalmente van de forjado a forjado y se sujetan mediante los anclajes. Por lo general, se suele dejar libre el extremo inferior (para absorber las dilataciones) consiguiendo así que las cargas verticales provoquen tracciones y no compresiones.
El montante está sometido a la acción del viento, a lo largo de su longitud, y al axil provocado por su peso propio y las cargas, tal y como se indica en el esquema siguiente:

Según la NTE la flecha admisible para los elementos estructurales es:
1/300 para acristalamiento simple.
1/500 para acristalamiento doble o elemento opaco.

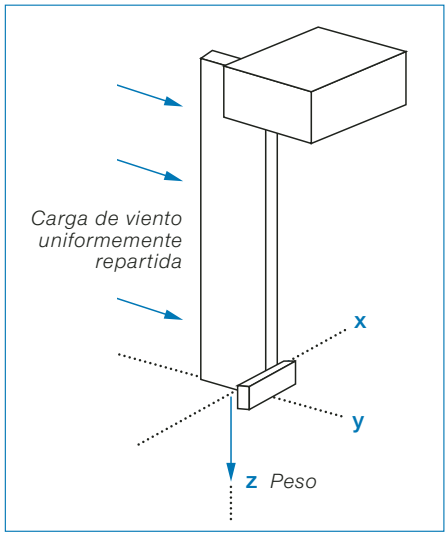


Figura 57

	Caso 1	Caso 2
A Comprobación de la resistencia de la sección	Se condiciona al cálculo de la flecha y se comprueba la sección (caso 2 A)	$\sigma_{calc} = \frac{N^*}{A} + \frac{M^*}{W} \leq \frac{\sigma_{admAl}}{\gamma_M}$
B Aptitud al servicio *(flecha)*	$I_{min} \geq \frac{5}{384} \frac{qL^4}{E f_{máx}}$	$f_{máx} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{E I_{min}}$

Siendo:

N^*	Esfuerzo normal de la sección mayorado
A	Área de la sección
M^*	Momento flector mayorado debido a la acción del viento
W	Módulo resistente de la sección
σ_{admAl}	Tensión admisible del aluminio, depende del tipo de aleación.
γ_M	= 1.1,coeficiente de minoración del material
q	la carga de viento uniformemente repartida, calculada según la Norma Básica NBE AE-88 “Acciones en la edificación”, desarrollada en la NTE ECV-88 “Estructuras. Cargas de Viento”
L	La longitud del montante
E	Módulo de elasticidad
I	Momento de inercia de la sección en el eje considerado

En el caso 1, una vez conocida la inercia y tipo de sección, esta debe ser comprobada. En el caso 2, la sección elegida debe verificar los dos criterios.

Travesaños

El travesaño está sometido a una flexión biaxial, debido en primer lugar, a las cargas verticales a su peso propio y el peso de las lunas o paneles que debe soportar; y sometido, a la vez, a las cargas de viento que provocarán una flexión en el plano horizontal.

Según la NTE la flecha admisible para los elementos estructurales es:
1/300 para acristalamiento simple.
1/500 para acristalamiento doble o elemento opaco.

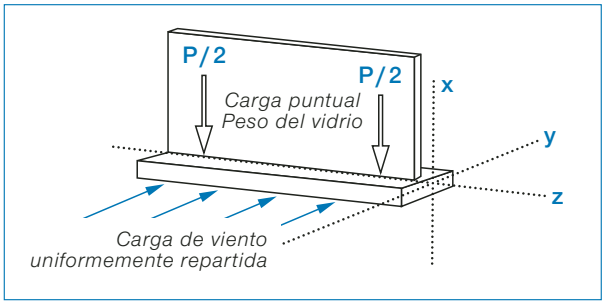


Figura 58

	Caso 1	Caso 2
A Comprobación de la resistencia de la sección	Se condiciona al cálculo de la flecha y se comprueba la sección (caso 2 A)	$\sigma_{calc} = \frac{M_x^*}{W_x} + \frac{M_y^*}{W_y} \leq \frac{\sigma_{admAl}}{\gamma_M}$
B Aptitud al servicio *(flecha)*	Acción del viento $I_x = \frac{5}{384}\frac{qL^4}{Ef_{max}}$ Peso vidrio $I_y = \frac{qb}{24Ef_{max}}(3L^2 - 4b^2)$	Acción del viento $f_{max} = \frac{5}{384}\frac{qL^4}{EI_x}$ Peso vidrio $f_{max} = \frac{qb}{24EI_y}(3L^2 - 4b^2)$

Siendo:

M_x Momento flector mayorado debido a la carga de viento

M_y Momento flector mayorado debido al peso del vidrio

W_x Módulo resistente de la sección según el eje x

W_y Módulo resistente de la sección según el eje y

σ_{admAl} Tensión admisible del aluminio

γ_M = 1.1, coeficiente de minoración del material

q la carga de viento uniformemente repartida, calculada según la Norma Básica NBE AE-88 "Acciones en la edificación", desarrollada en la NTE ECV-88 "Estructuras. Cargas de Viento"

L La longitud del travesaño

E Módulo de elasticidad

I Momento de inercia de la sección en el eje considerado

Después de realizar las dos comprobaciones (A y B) en el caso 1 se elige la sección de mayor inercia. En el caso 2, la sección elegida debe verificar los dos criterios.

6.7. EJEMPLO DE CÁLCULO

Recordatorio:

Los principales esfuerzos que actúan sobre una fachada ligera son los debidos a la acción del viento y en menor medida los originados por su peso propio.

La carga teórica del viento que actúa sobre una fachada, atendiendo a presiones y succiones, se deduce y calcula mediante la NBE AE-88 "Acciones en la Edificación".

Para calcular la resistencia mecánica de los elementos de una fachada ligera debe atenderse a dos conceptos:

- **Comprobación de los E.L.U (Estados Límites Ultimos):** el coeficiente de trabajo no puede sobrepasar los valores mínimos admitidos (momento resistente).
- **Comprobación de los E.L.S (Estados Límites de Servicio):** la flecha no puede sobrepasar los límites marcados.

Como norma general se acepta que los montantes de la fachada ligera aguantan por sí solos la carga de viento y que los travesaños únicamente deben aguantar el peso propio de los elementos que gravitan sobre ellos.

En consecuencia debe tenerse presente que si un mismo perfil se utiliza como montante y como travesaño, en un caso se considerara su momento de inercia respecto a los ejes X-X y en el otro respecto a los ejes Y-Y (ver recapitulativo de perfiles en págs. 78 y 79).

En el ámbito de cargas se efectúan las hipótesis siguientes:

Montantes

En el caso de las fachadas ligeras tipo MURO CORTINA, esto es, pasando por delante de los forjados y sujetos en dos puntos por los anclajes, los montantes deben aguantar, según lo expuesto anteriormente, una carga de viento aplicada a una superficie rectangular tal como se muestra en la figura 58:

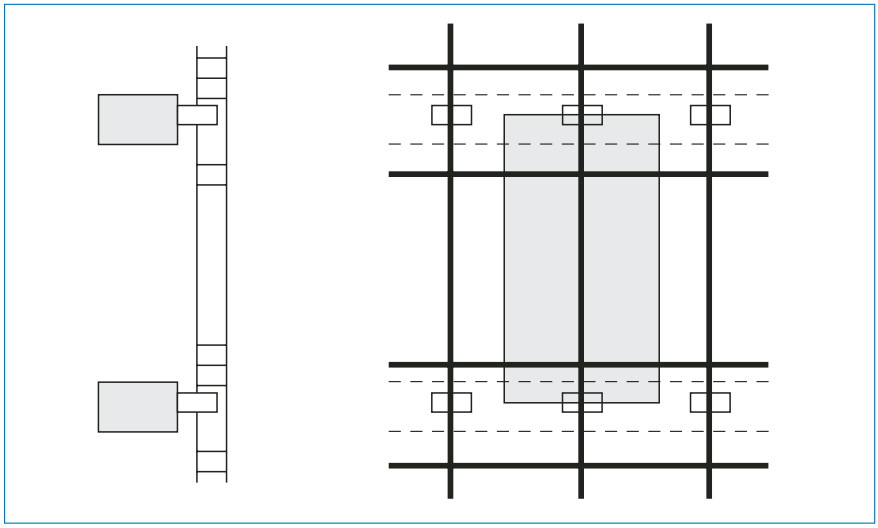


Figura 59

En el caso de fachadas ligeras tipo FACHADA PANEL, es decir, las fachadas ligeras insertadas entre los forjados, la carga de viento que deben aguantar los montantes es una superficie trapezoidal como se indica en la figura 60:

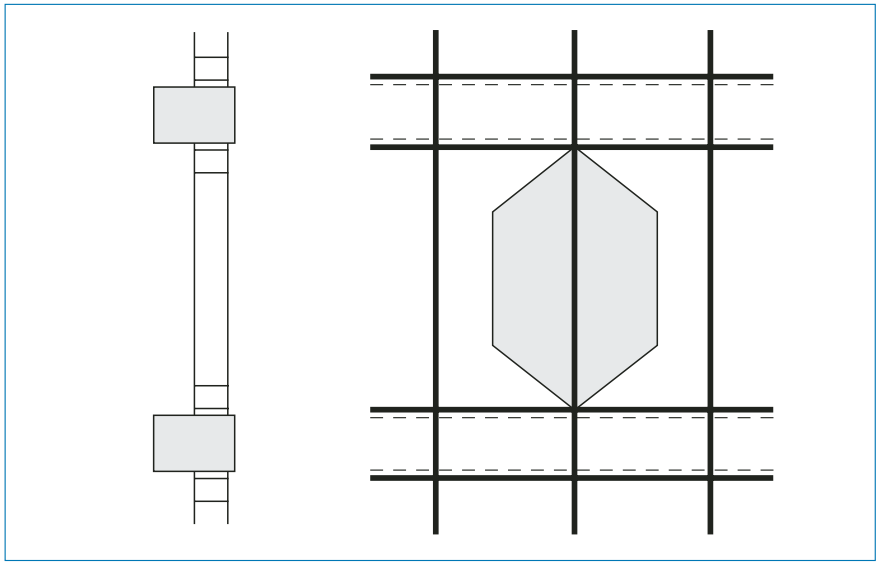


Figura 60

Dado que los montantes pueden asimilarse, en lo que a cálculos estáticos se refiere, a unas vigas con sus extremos simplemente apoyados o con un extremo empotrado y el otro apoyado, y sometidas a una distribución de carga. Dichas cargas serán rectangulares si se trata de un muro cortina y trapezoidales en el caso de fachada panel, puesto que los travesaños en este caso contribuyen al reparto de carga al estar sujeto a los forjados. En cualquier caso siempre se ha de permitir la libre dilatación del montante.

Los casos posibles a calcular en los montantes según lo expuesto en la introducción precedente son los siguientes:

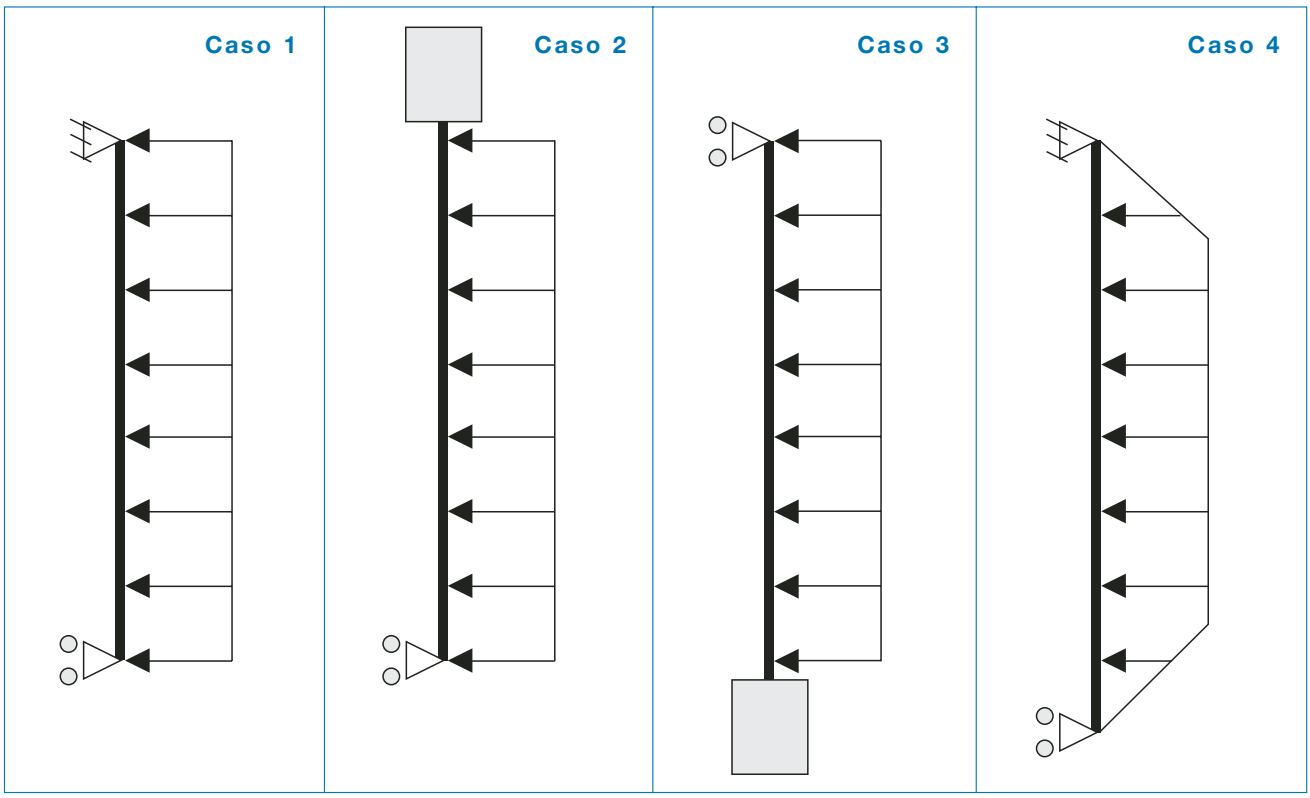


Figura 61

Ante la dificultad de llevar a cabo un empotramiento próximo al “empotramiento teórico”, ya que para cada caso se ha se llevar a un laboratorio de ensayo; sistemáticamente, se opta por realizar el cálculo según el caso primero con el montante bi-apoyado.

Travesaños

Para los travesaños horizontales, tal y como hemos dicho con anterioridad, se considerará que sólo aguantan la carga vertical de los elementos que gravitan sobre ellos. En consecuencia se puede considerar el travesaño como una viga simplemente apoyada por sus extremos y sometida a la acción de dos cargas puntuales equidistantes de los extremos, cuya situación es coincidente con los calzos de apoyo, de los vidrios o paneles, o con las fijaciones de los elementos practicables.

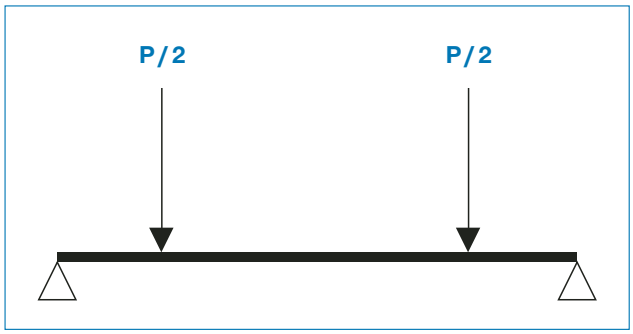


Figura 62

La situación de los calzos o fijaciones es el correspondiente a la distancia b de los extremos de los travesaños.
El valor de b corresponde a 1/10 de la longitud total a del travesaño, que viene especificado por la norma UNE 85222.

Excepcionalmente en los travesaños, a causa de su longitud (luz entre montantes) puede ser preciso tener en cuenta que también ellos soportan la carga de viento, con lo cual si los seguimos asemejando a una viga podremos considerarlos como vigas simplemente apoyadas en sus extremos y con una carga triangular que debe soportar.

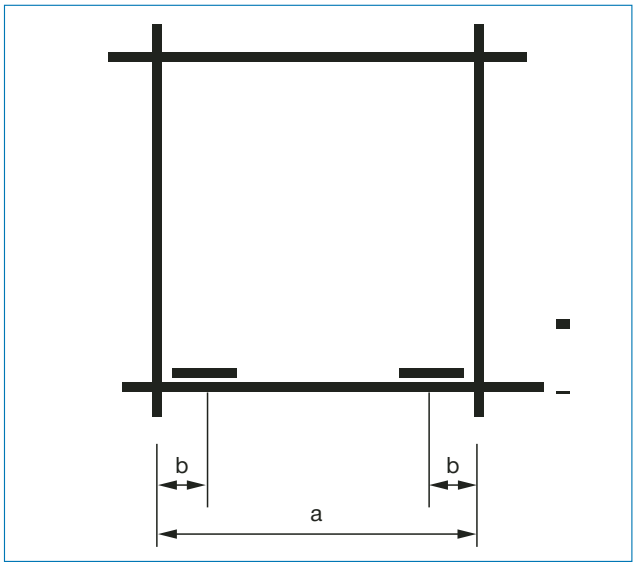


Figura 63

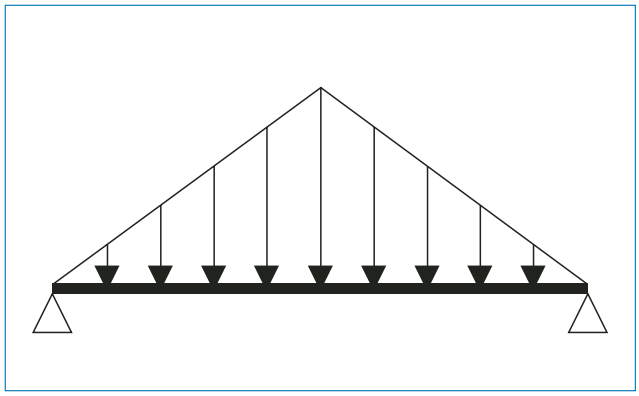


Figura 64

Esfuerzos transmitidos

Los esfuerzos que las fachadas ligeras transmiten, a través de los anclajes, a los forjados o estructuras portantes de las que se suspenden y apoyan son:

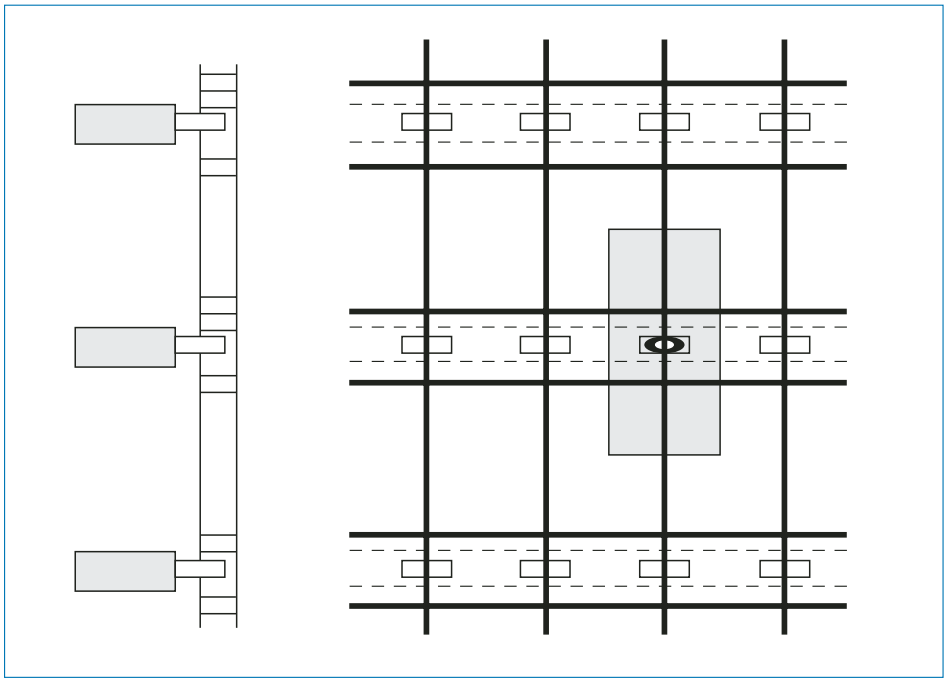


Figura 65

Cargas verticales correspondientes al peso propio y total de un módulo completo del muro y aplicado en el anclaje.

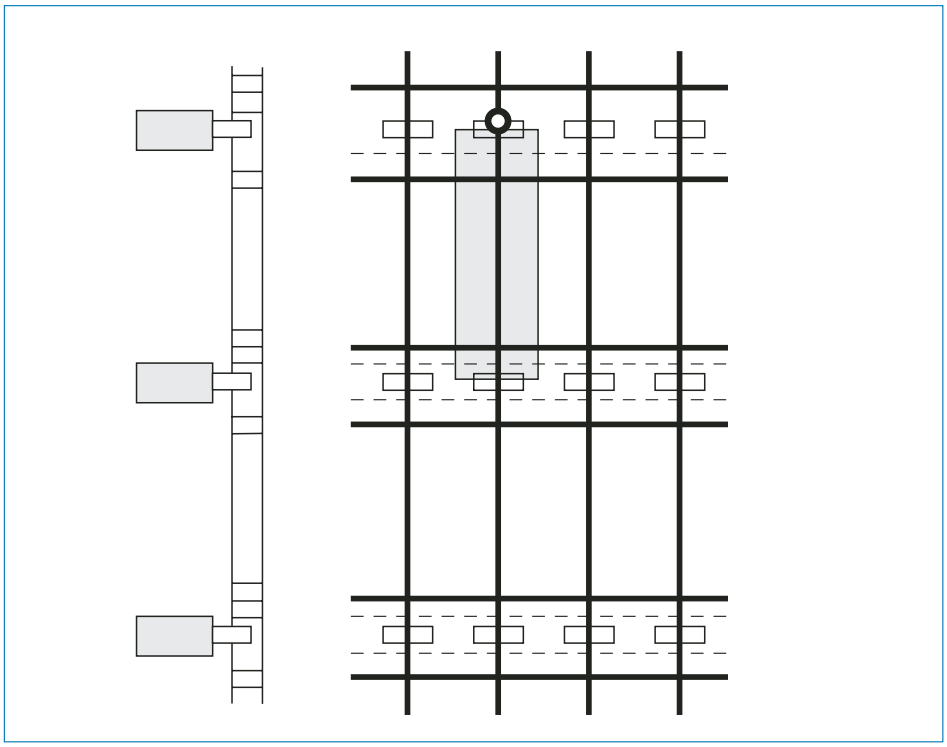


Figura 66

Cargas horizontales perpendiculares al plano de la fachada y que corresponden a la carga de viento sobre un módulo completo del muro cortina y aplicada en el anclaje.

Empuje por dilatación térmica

Los Muros Cortina están sometidos a unas variaciones dimensionales debidas a las dilataciones y contracciones originadas por los cambios de temperatura. Estas variaciones son función del coeficiente de dilatación térmica del material, α, y de las diferencias de temperatura, y originan en los perfiles un esfuerzo σ (kg/cm^2).

Según la ley de Hooke: $\sigma = \varepsilon \cdot E$

σ Tensión en kp/cm^2
ε Alargamiento unitario $\alpha \Delta t$
E módulo de elasticidad en kp/cm^2

Luego: $\sigma = E \alpha \Delta t$

Si se calienta el aluminio y no puede expandirse libremente produce sobre los elementos que le impiden expansionarse un esfuerzo que viene dado por la fórmula anterior, que se traduce en una deformación del elemento más débil. Es decir, si el montante es más débil que el travesaño, se producirá una falta de verticalidad. Si por el contrario es el travesaño el más débil, se originan pandeos con flechas muy importantes.
Para evitar este efecto deben disponerse juntas de dilatación que permiten que el material se dilate libremente.

El empuje transmitido por la dilatación térmica vendrá expresado por:

EMPUJE (Kg) = σ x SECCIÓN DEL PERFIL

La magnitud, de la contracción o dilatación, que hay que prever para dimensionar las juntas de dilatación por causas térmicas viene expresada por:

$$\Delta l = \varepsilon \cdot l = \alpha \cdot \Delta t \cdot l$$

$$\Delta l < d$$

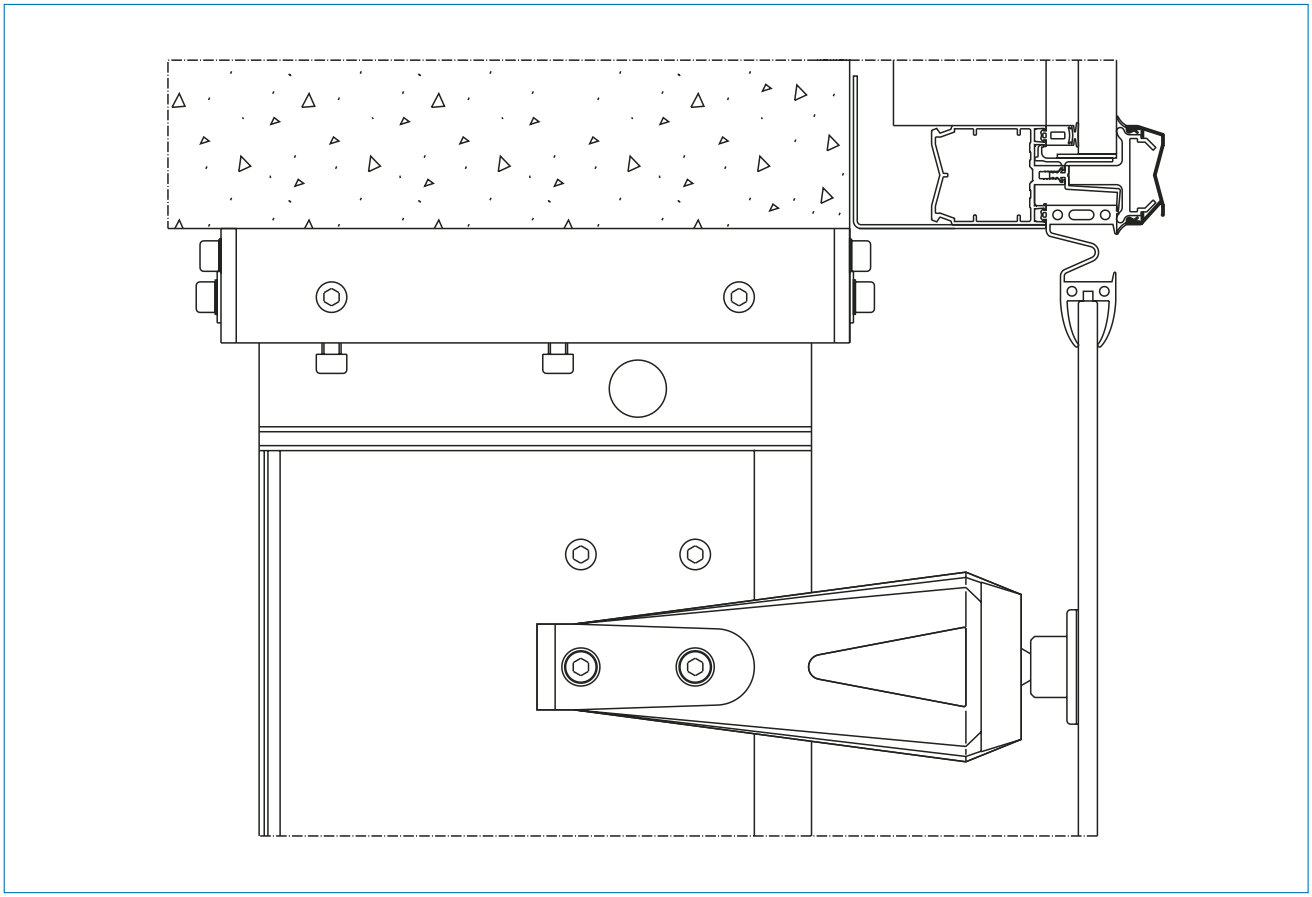


Figura 67

Dado que en nuestro país la máxima dispersión térmica se considera que es de 42ºC, el alargamiento máximo por metro de perfil será:

$$\Delta l = 23 \cdot 10^{-6} \cdot 42^{o} C \cdot 1000\, mm = 0.966\, m$$

Es por ello que a efectos de dimensionado de juntas de dilatación será suficiente con prever 1mm por metro puesto que con ello se consiguen absorber las dilataciones independientemente de la época del año en que se mecanice, monte y acabe la obra.

Caso práctico de cálculo de una fachada

Partiendo de las cargas de viento establecidas en la NBE-AE-88 y sabiendo que el proyecto contempla una fachada ligera constituida por un muro cortina convencional con las características dimensionales que definimos a continuación, vamos a calcular la perfilería de montantes y travesaños requerida y el acristalamiento mínimo necesario.

Hipótesis de cálculo

1. La distancia entre ejes de forjados es de 3.500 mm
2. La separación entre montantes es de 1.200 mm
3. La altura entre canto superior de forjado y nivel de suelo técnico es de 250 mm
4. La distancia entre canto inferior de forjado y falso techo es de 400 mm
5. La distancia libre interior entresuelo técnico y falso techo es de 2.500 mm
6. La zona opaca de paso de forjado es de 1.000 mm
7. Carga de viento más desfavorable a succión, 238 Kp/m^2
8. Forjado de 350 mm
9. Vidrio reflectante con cámara en las zonas de visión y reflectante opacificado en los pasos de forjado
10. El tipo de muro cortina será el de tapetas vistas verticales y horizontales
11. Acabado del aluminio: anodizado plata mate, 25 μ

La fachada queda definida en la figura siguiente:

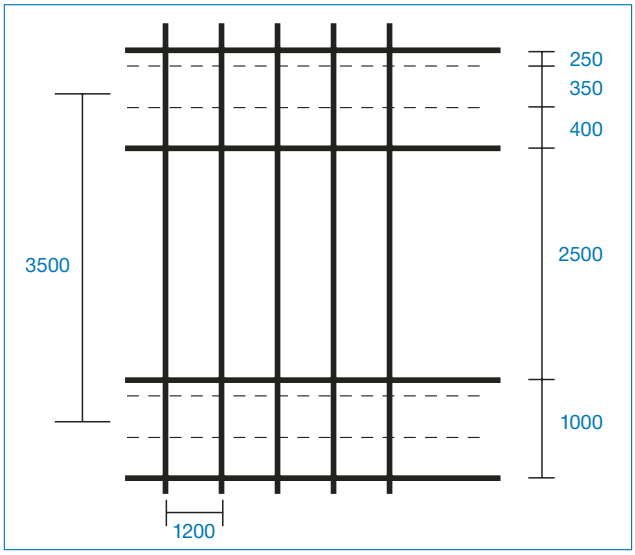


Figura 68

Cálculo del espesor del vidrio

Tenemos dos módulos básicos: (1.200 x 1.000) y (1.200 x 2500) y estudiaremos el más desfavorable en lo que se refiere a carga de viento.

Al requerirse un vidrio reflectante obligatoriamente deberá ser un vidrio templado independientemente de las consideraciones que también lo aconsejarían por razones de seguridad ante una rotura.

La situación del edificio es una zona expuesta.

Con todo lo anterior y utilizando lo expuesto en el apartado 1.5.4 de acristalamiento tendremos:

$\sigma_{adm} = 0{,}25\ R$

$R = 20\ 10^6\ Kg/cm^2$

a = 1.200 mm

b = 2.500 mm

vidrios con cuatro apoyos

b/a = 2,083 con lo que b = 0,79

$$e = \beta \cdot a \cdot \sqrt{\frac{q}{\sigma_{adm}}}$$

e = 0,00654 m = 6,54 mm

Si el vidrio no fuera templado el espesor requerido sería e =10 mm.

Al no comercializarse el espesor 7 mm el cristal mínimo a utilizar será un cristal reflectante y templado de 8 mm para el exterior.

Convenimos pues en la utilización de un acristalamiento compuesto por un vidrio reflectante y templado de 8 mm, una cámara de aire de 15 mm y un vidrio interior laminar de 4+4 mm cuyo peso total es:

(8+4+4) x 2,5 x 1,2 x 2,5 = 120 Kg.

Para el cálculo de los travesaños tendremos que considerar dos cargas puntuales de 60 kg.

Cálculo de los montantes

La distancia entre anclajes es de 3.500 mm.
La flecha máxima según NBE-AE-88 es de L/300 ó 15 mm.

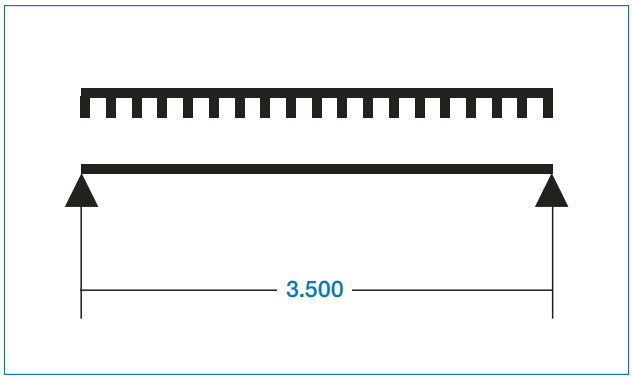


Figura 69

q= 238 Kp/m^2

f_{max} = L/300 = 11,66 mm

P = q x S = 238 x 1,2 x 3,5 = 999,6 Kp

Luego

$$I = \frac{5}{384}\frac{PL^3}{Ef} = \frac{5 \cdot 999.6 \cdot 350^3}{384 \cdot 700.000 \cdot 1.16} = 687{,}2cm^4$$

Podemos utilizar un perfil según catálogo (ver pág. 78, ref. 10257), cuyos valores son:

I_{xx} = 706,12 cm^4 > 687,2 cm^4
W_{xx} = 65,58 cm^3 = 65,18 10^3 mm^3

Solo nos queda la comprobación de los ELS y los ELU

- ELS: Se cumplen puesto que hemos partido de la flecha aceptada como imposición. Con la nueva inercia (706,12 cm4) la flecha prevista es de 1.12cm < L/300 cm.
- ELU: debemos comprobar la sección del perfil y verificar que la tensión de cálculo sea inferior a la tensión admisible del material, es decir:

$$\frac{M^*}{W} \leq \sigma^*_{adm}$$

donde:

$$M^* = \gamma_s M = 1.50M = 1.50\left(\frac{qL^2}{8}\right) = 1.55\left(\frac{238 \cdot 1.2 \cdot 10^{-2} \cdot 350^2}{8}\right) = 67785{,}375 \text{ Kpcm}$$

siendo

$$\sigma^*_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{\gamma_M} = \frac{1300\,kp/cm^2}{1.10} = \frac{130N/mm^2}{1.10} = 118.2N/mm^2$$

γ_s = coeficiente de mayoración de las cargas
γ_M = coeficiente de minoración del material
W_{xx}= 65.18 cm^3 = 65.18 10^3 mm^3

Entonces, con los datos anteriores comprobamos si cumplen la hipótesis según la ecuación:

$$\sigma = \frac{67785.375}{65.18} = 1039.97 \text{ Kp/cm}^2 = 104 \text{ N/mm}^2 < 118.2 \text{ N/mm}^2$$

Cálculo de los travesaños

Como se ha indicado en el calculo de espesor de vidrio,el peso del acristalamiento es de 120 Kg.
Por estética limitaremos la flecha máxima de los travesaños a 3 mm.

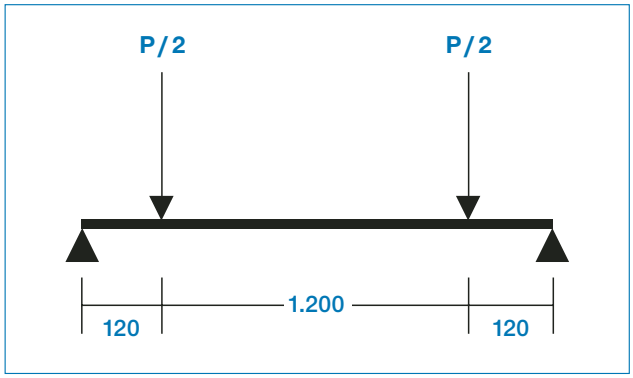


Figura 70

Luego

$$I = \frac{pa}{12\,Ef}\left(\frac{3}{4}L^2 - a^2\right) = \frac{120 \cdot 12 \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot 120^2 - 12^2\right)}{12 \cdot 700.000 \cdot 0.3} = 6.08\,cm^4$$

Podemos utilizar el perfil encontrado según catálogo (ver pág. 79, ref 10165), cuyos valores son:

Iyy = 8.52 cm^4 = 8.52 10^4 mm^4
Wyy = 3.27 cm^3 = 3.27 10^3 mm^3

Solo nos queda la comprobación de los ELS y los ELU

- ELS: Se cumplen puesto que hemos partido de la flecha aceptada como imposición. Con la nueva inercia obtenemos el valor de 2.1 mm < 3mm.
- ELU: debemos comprobar la sección del perfil y verificar que la tensión de cálculo sea inferior a la tensión admisible del material, es decir:

$$\frac{M^*}{W} \leq \sigma^*_{adm}$$

donde:

$M^* = \gamma_s M$ = 1.35M = 1.35*12*P/2 = 1.35*12* 60 = 972Kpcm

siendo

$$\sigma^*_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{\gamma_M} = \frac{1300kp/cm^2}{1.10} = \frac{130N/mm^2}{1.10} = 118.2N/mm^2$$

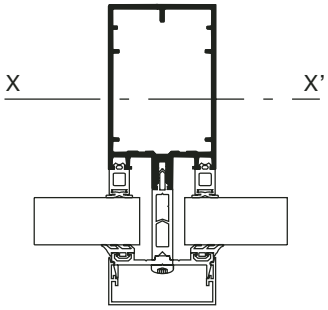
γ_s = coeficiente de mayoración de las cargas
γ_M = coeficiente de minoración del material

W_{yy} = 3.27 cm^3 = 3.27 10^3 mm^3

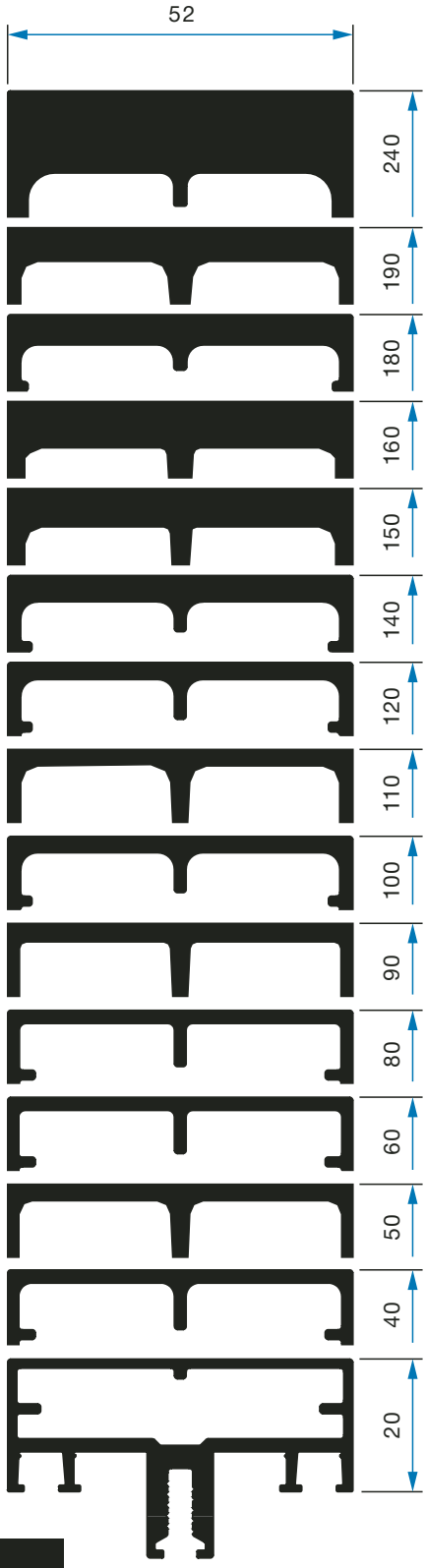
Igualmente comprobamos si se cumple la hipótesis:

$$\sigma = \frac{972}{3.27} = 297\ Kp/cm^2 = 29.7\ N/mm^2 < 118.2\ N/mm^2$$

Bases de proyecto

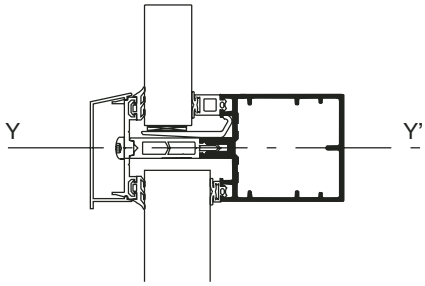


IXX': en cm^4
IXX': en cm^3
V

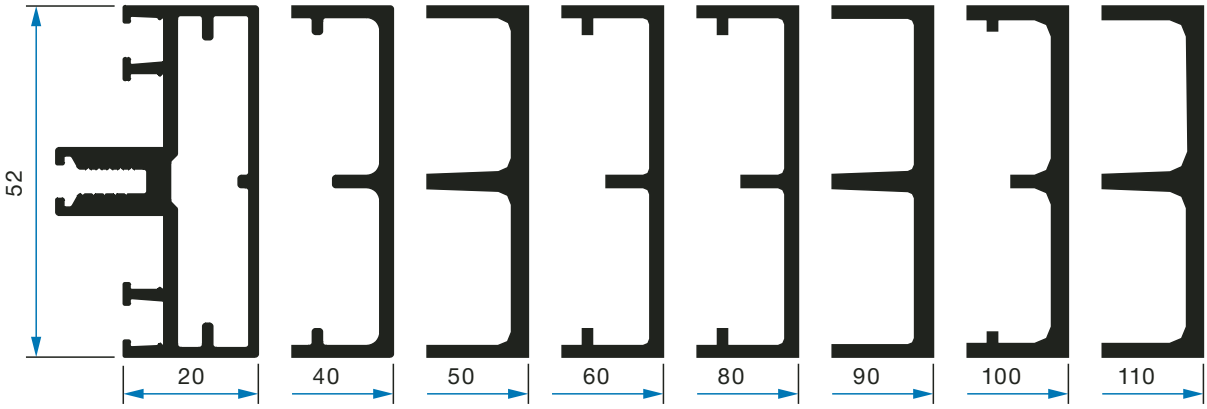


Referencia	Perimetro	Inercia sin refuerzo	Inercia con refuerzo	
10160	0.690 ml	1698.8 cm^4 114.7 cm^3	Tubo acero 140 x 40 x 4 70 x 40 x 4	4439.99 cm^4 336.45 cm^3
10257	0.590 ml	706.12 cm^4 65.58 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4 40 x 40 x 4	2092.57 cm^4 202.19 cm^3
10159	0.570 ml	589.52 cm^4 58.87 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4 40 x 40 x 4	1974.97 cm^4 197.41 cm^3
10256	0.530 ml	504.95 cm^4 50.64 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4	1065.62 cm^4 117.69 cm^3
10255	0.510 ml	403.44 cm^4 44.64 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4	964.11 cm^4 113.04 cm^3
10158	0.490 ml	298.30 cm^4 37.56 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4	858.97 cm^4 107.75 cm^3
10157	0.450 ml	181.89 cm^4 27.87 cm^3	Tubo acero 100 x 40 x 4	528.96 cm^4 77.98 cm^3
10254	0.430 ml	152.65 cm^4 24.69 cm^3	Tubo acero 80 x 40 x 4	347.02 cm^4 56.98 cm^3
10169	0.410 ml	116.05 cm^4 20.95 cm^3	Tubo acero 80 x 40 x 4	310.42 cm^4 53.70 cm^3
10253	0.390 ml	93.13 cm^4 17.80 cm^3	Tubo acero 60 x 40 x 4	186.07 cm^4 36.37 cm^3
10156	0.370 ml	61.65 cm^4 13.41 cm^3	Tubo acero 60 x 40 x 4	154.59 cm^4 32.13 cm^3
10155	0.330 ml	30.99 cm^4 8.84 cm^3	Tubo acero 40 x 40 x 4	64.20 cm^4 17.12 cm^3
10252	0.310 ml	22.42 cm^4 6.83 cm^3	Tubo acero 20 x 40 x 2	26.71 cm^4 8.34 cm^3
10166	0.290 ml	12.11 cm^4 4.53 cm^3	Tubo acero 20 x 40 x 2	16.40 cm^4 5.85 cm^3
10165	0.250 ml	2.24 cm^4 1.28 cm^3		

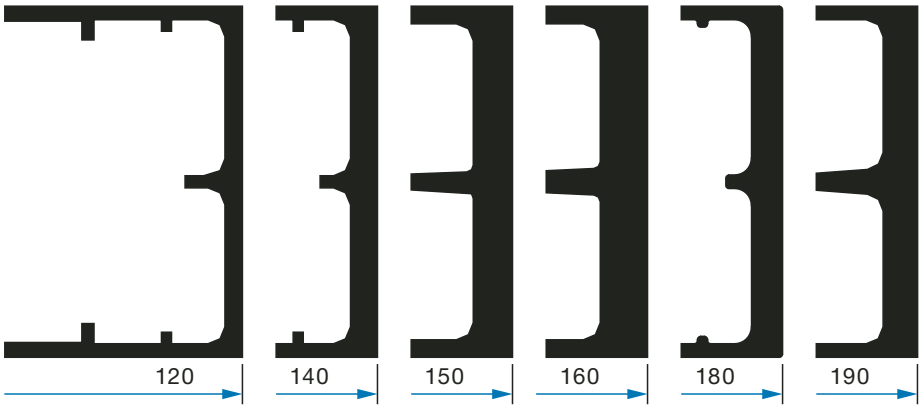
TECHNAL



IYY': en cm^4
IYY': en cm^3
V



Referencia	10165	10166	10252	10155	10156	10253	10169	10254
Inercia sin refuerzo	8.52 cm^4 3.27 cm^3	14.24 cm^4 5.48 cm^3	16.87 cm^4 6.49 cm^3	19.09 cm^4 7.34 cm^3	24.17 cm^4 9.29 cm^3	27.20 cm^4 10.46 cm^3	32.82 cm^4 12.62 cm^3	35.73 cm^4 13.74 cm^3
Inercia con refuerzo		Tubo acero 20 x 40 x 2 27.5 cm^4 10.6 cm^3	Tubo acero 20 x 40 x 2 30.1 cm^4 11.6 cm^3	Tubo acero 40 x 40 x 2 52.3 cm^4 20.1 cm^3	Tubo acero 60 x 40 x 2 73 cm^4 28.1 cm^3	Tubo acero 60 x 40 x 2 76 cm^4 29.2 cm^3	Tubo acero 80 x 40 x 2 96.3 cm^4 37.5 cm^3	Tubo acero 80 x 40 x 2 100.2 cm^4 38.5 cm^3



Referencia	10157	10158	10255	10256	10159	10257
Inercia sin refuerzo	38.37 cm^4 14.76 cm^3	46.80 cm^4 18 cm^3	52.98 cm^4 19.99 cm^3	56.18 cm^4 21.61 cm^3	63.74 cm^4 24.52 cm^3	66.80 cm^4 25.69 cm^3
Inercia con refuerzo	Tubo acero 100 x 40 x 4 118.4 cm^4 45.6 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4 142.5 cm^4 54.8 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4 147.7 cm^4 56.8 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4 151.9 cm^4 58.4 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4 40 x 40 x 4 201 cm^4 77.4 cm^3	Tubo acero 120 x 40 x 4 40 x 40 x 4 204 cm^4 78.5 cm^3

Fachadas ventiladas, respirantes y fotovoltaicas

Fachadas ventiladas, respirantes y fotovoltaicas

Actualmente se está extendiendo el uso de fachadas acristaladas para los revestimientos, con la finalidad de buscar una nueva forma de embellecer el edificio, dar uniformidad, sensación de libertad y aportar al mismo tiempo gran cantidad de luz natural. Pero este tipo de fachadas presenta algunos inconvenientes derivados de las pérdidas de energía y aislamiento. Las fachadas ventiladas, a diferencia de las convencionales, se basan en el alejamiento entre el parámetro externo y el interno, que proporciona grandes ventajas advenidas de la economía de energía ligadas al confort térmico.

Para reducir la cantidad de energía consumida debida a la climatización y aumentar el confort térmico del edificio es necesario estudiar y optimizar el diseño de cada fachada, utilizando las más novedosas herramientas (análisis de cálculo numérico) y los materiales adecuados.

El sistema de fachadas es muy novedoso y generalmente están formadas por dos muros cortina o un muro cortina en el exterior y otro tipo de cerramiento en el interior. La fachada ventilada proporciona protección y mejora el confort térmico, gracias a la **cámara de aire** que queda entre muros, diseñada especialmente para aumentar el aislamiento térmico y/o acústico.

El aire de la cámara ventila la fachada y reduce la cantidad de energía del interior. Se puede efectuar diferentes tipos de ventilación, utilizando diversos tipos de materiales en la fachada interior, manteniendo la fachada exterior uniforme.

La parte interior debe ser constituida por materiales aislantes y materiales absorbentes. Es conveniente también colocar cortinas en el interior de la cámara para reducir el máximo posible la cantidad de energía en la segunda fachada.

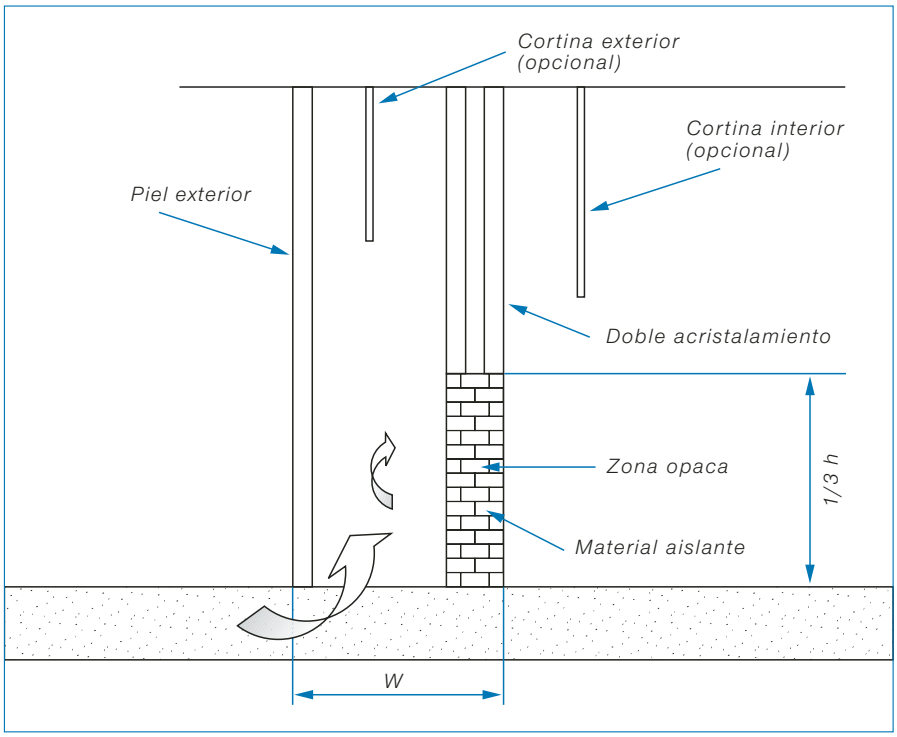


Figura 71

La ventilación de las fachadas se efectúa por convección natural, mixta o forzada. La convección natural se produce por “efecto chimenea” a causa del calentamiento del aire, evacuando la energía absorbida por los cristales. En consecuencia se reduce la componente de radiación indirecta del factor solar y disminuye la temperatura superficial del acristalamiento interior.

Cuando hablamos de ventilación forzada, se actúa sobre la velocidad de convección, controlando el flujo de aire que entra y, por tanto, la temperatura superficial, pudiendo incluso recuperar energía térmica por acumulación pasiva o con intercambiador de calor.

A menudo se instala dentro de la cámara de aire una **persiana** o **elementos de protección solar**, que permite variar sensiblemente el factor solar, la transmisión luminosa, la temperatura superficial y el coeficiente de transmisión térmica, sin tener que variar el vidrio exterior.

El tipo de acristalamiento para revestir la fachada se elige según los requerimientos que se exijan, pero es habitual utilizar cristales del tipo **semirreflectantes** monolíticos, o serigrafiados, para la piel exterior, pudiendo jugar con distintos tonos para aportar una óptima transmisión luminosa y reflejos de imágenes; y un **doble acristalamiento** en la parte interior, proporcionando al edificio aislamiento acústico y térmico.

7.1. ANALISIS DE LA FACHADA

Hay programas informáticos que calculan los flujos de energía, teniendo en cuenta tanto el flujo vertical como el horizontal.

Para analizar el flujo de energía de una fachada ventilada se necesita introducir en el programa de simulación una serie de datos o “inputs” que hay que tener en cuenta:

Posición del sol	
Información meteorológica	Temperatura ambiente Radiación solar Velocidad del viento Dirección del viento Humedad relativa
Geometría y propiedades termofísicas de los elementos de la fachada	
Datos del canal del aire	Tipo de convección (natural, mixta o forzada) Tipo de canal (abierto, cerrado) Temperatura del aire interior
Datos del canal del aire	Temperatura del aire en el interior de la fachada o edificio Temperatura de las paredes interiores Temperatura en cada zona de la fachada
Datos del interior	Temperatura del aire en el interior de la fachada o edificio Temperatura de las paredes interiores
Datos de salida	Temperatura en cada zona de la fachada Flujo de calor Max. Min. y valor medio de las temperaturas → Todos los valores pueden ser instantáneos o en función del tiempo

El flujo de calor y el balance de energía de la fachada se muestra en la figura siguiente:

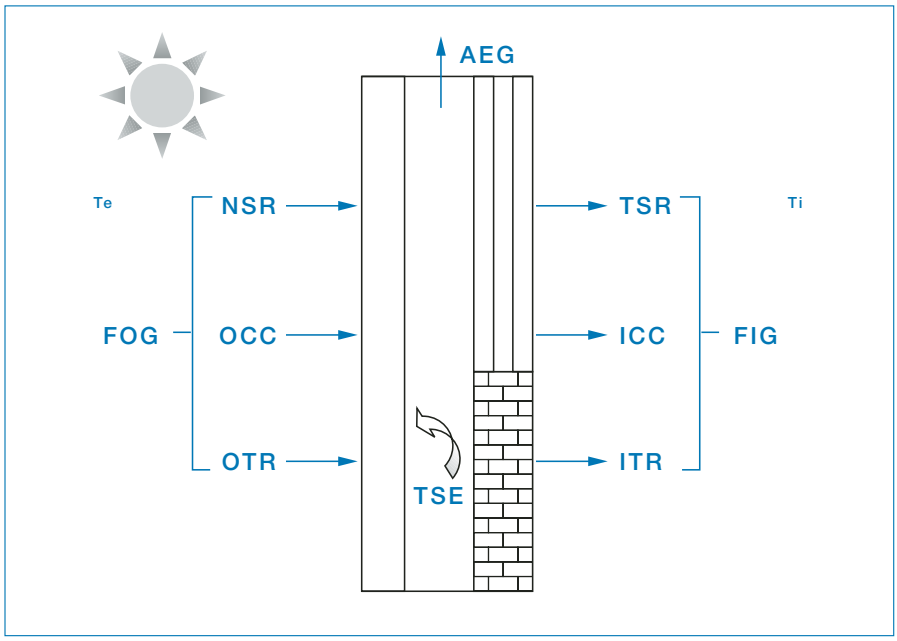


Figura 72

El flujo de calor exterior o ganancia exterior, **FOG** (Facade Outdoor Gains), está formado por el flujo de convección (**OCC**), de radiación (**OTR**) y la ganancia solar (**NSR**):

FOG = NSR + OCC + OTR

NSR representa exactamente la radiación solar incidente menos la porción reflejada por la fachada.

La ganancia interior, **FIG** (Facade Indoor Gains), está formada por la contribución de la radiación solar (**TSR**), radiación térmica (**ITR**) y la convección del calor transmitido (**ICC**):

FIG = TSR + ITR + ICC

La energía almacenada por todos los elementos de la fachada, **TSE**, la obtendremos haciendo el balance global mediante la expresión:

FOG = FIG + TSE + AEG

Siendo AEG la ganancia del aire del canal.

Cuando se trata de reducir la ganancia interior FIG, se suele hablar de la ganancia total o neta, llamada **PFIG**, y por lo tanto existirá una componente negativa para equilibrar el balance:

FIG = PFIG - NFIG

La energía que se tiene que compensar mediante los aparatos de aire acondicionado es PFIG.

Para comparar los diferentes modelos y estudios de las fachadas se utiliza el parámetro η_{ip}, que compara la ganancia interior respecto la radiación solar incidente (I), y se define con la expresión: $\eta_{ip} = \frac{PFIG}{I}$

→ Cuanto menor sea el parámetro η_{ip}, mejor será el diseño de la fachada.

7.2. TIPOLOGÍAS

Los casos más típicos y estudiados en condiciones estándar son los siguientes:

Casos con ventilación

1 Caso estándar (ver figura)

2 Caso estándar pero todas las fachadas acristaladas (sin zonas opacas)

3 Caso estándar con una cortina en el canal, tapando la mitad del área

4 Caso estándar con un 50% de zona opaca en la piel interior

5 Caso estándar con un 50% de zona opaca con paneles tipo TIM*

Casos sin ventilación

1 Caso estándar con el canal cerrado

2 Fachada convencional (sin canal de aire) formada por un doble acristalamiento, manteniendo como el caso estándar, un vidrio monolítico semirreflectante y un vidrio aislante en el interior.

3 Fachada convencional formada por una ventana y zona opaca. La ventana está formada por doble acristalamiento y la zona opaca es igual que en el caso estándar de la figura.

4 Fachada convencional con una zona opaca formada por paneles tipo TIM y una ventana. Igual que en el caso anterior pero la zona opaca se sustituye por paneles tipo TIM.

5 Fachada convencional, formada por una zona con panel tipo PCM y una ventana. Igual que el caso anterior pero se sustituye la zona opaca pero con un panel tipo PCM.

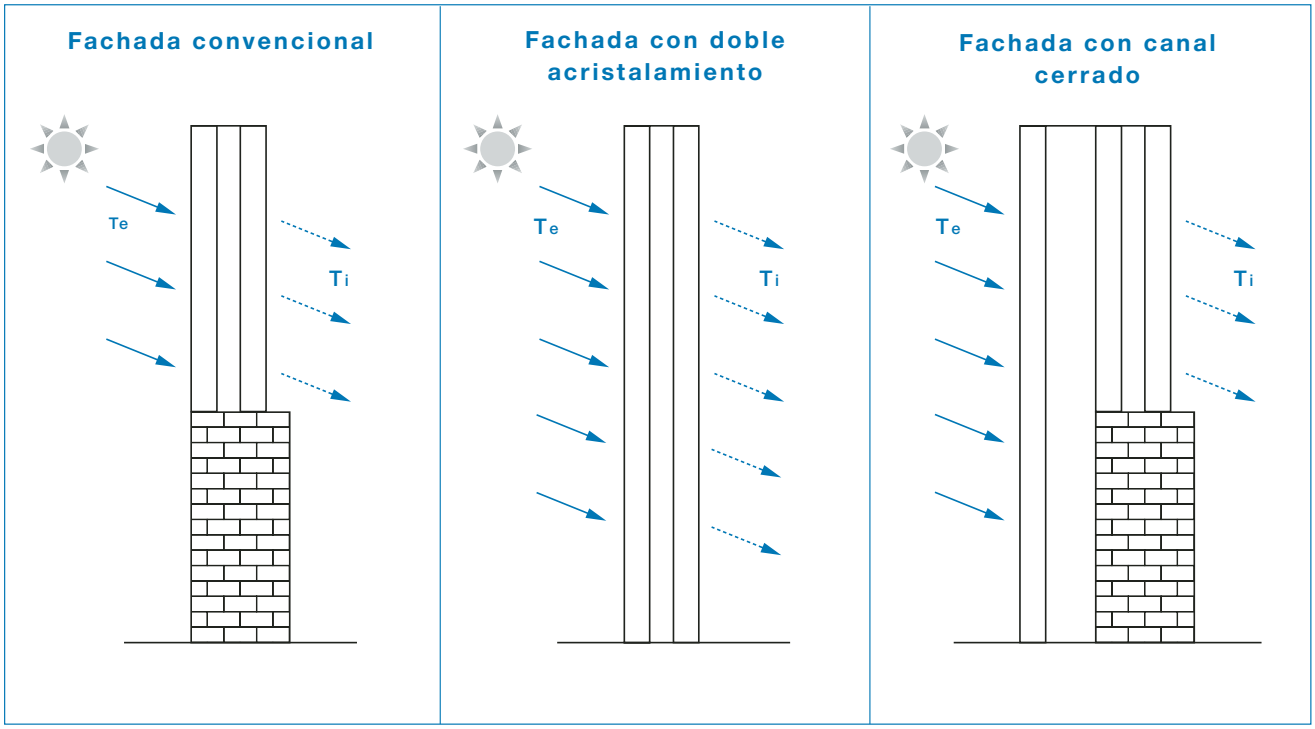


Figura 73

TIM (Transparent Isulation Materials): clase de panel formado por 0.04m de material, situado entre dos láminas de vidrio de 4mm, de características:

Factor de transmisión	π = 0.85
Absorbancia	α = 0.08
Emisividad	ε = 0.84
Conductividad térmica	κ = 0.1W/mK

PCM (Phase Change Materials): clase de panel formado por un material ensamblado entre dos láminas de acero pintadas de negro de características:

Densidad	σ = 7.900 kg/m^3
Calor específico	C_p = 477 J/KgK
Conductividad térmica	κ = 14.9 W/mK
Emisividad	ε = 0.9

El PCM tiene unos 0.05m de espesor y está formado por un material que tiene las características siguientes:

Densidad	σ = 608 kg/m^3
Calor específico	C_p = 1426 J/KgK
Conductividad térmica	κ = 0.22 W/mK
Calor latente	L = 0.9
Temperatura de fusión	T_m = 19.5º C

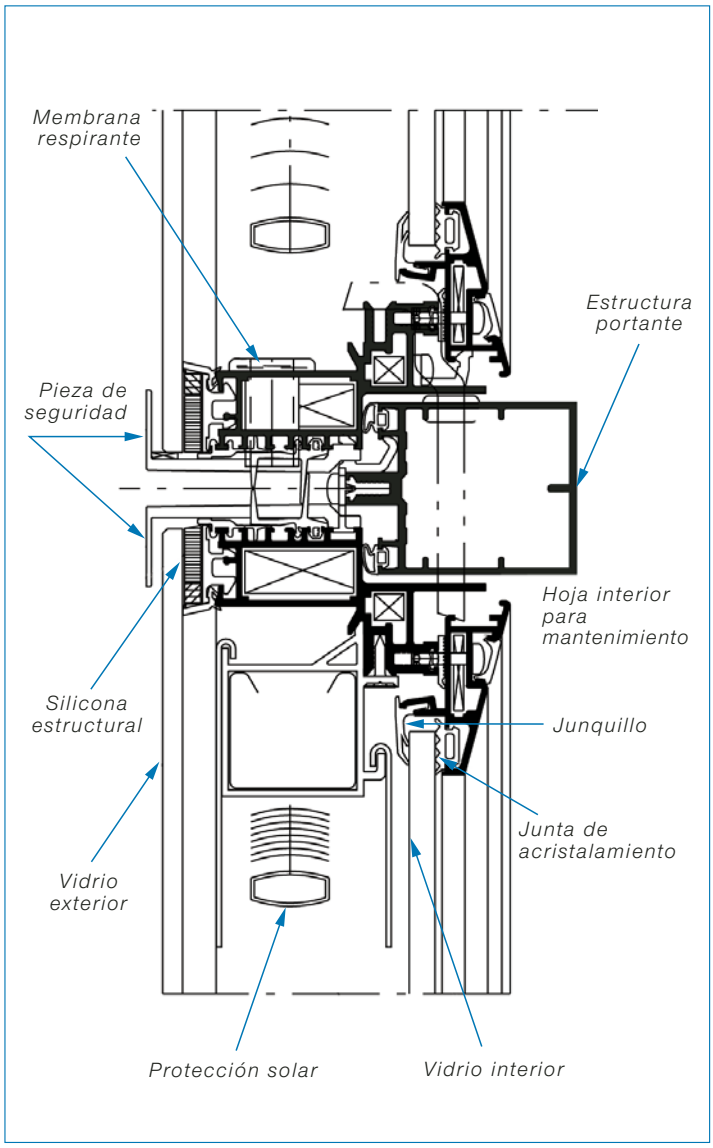


Figura 74

Este tipo de paneles se utilizan para acumular energía en el canal de forma pasiva.

Del estudio de los diferentes casos se concluye que, en primer lugar, la elección del tipo de vidrio es fundamental, pero puede perfeccionarse combinando zonas opacas, mediante canales ventilados o paneles tipo TIM o PCM.

7.3. FACHADAS RESPIRANTES Y FACHADAS VENTILADAS

A parte de las tipologías distinguidas según el método y material utilizado para su construcción, nos referimos a las fachadas ventiladas o respirantes en función del sistema de acondicionamiento de la cámara interior.

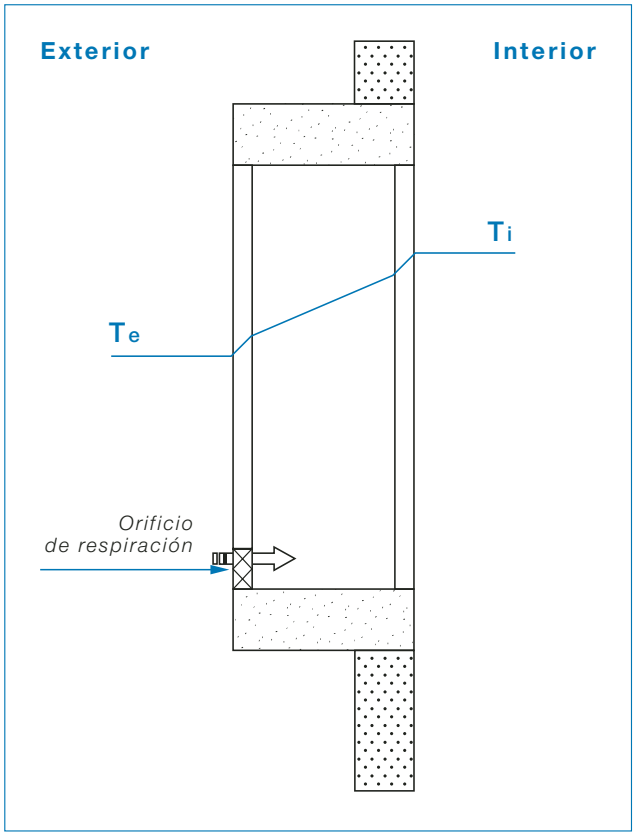


Figura 75

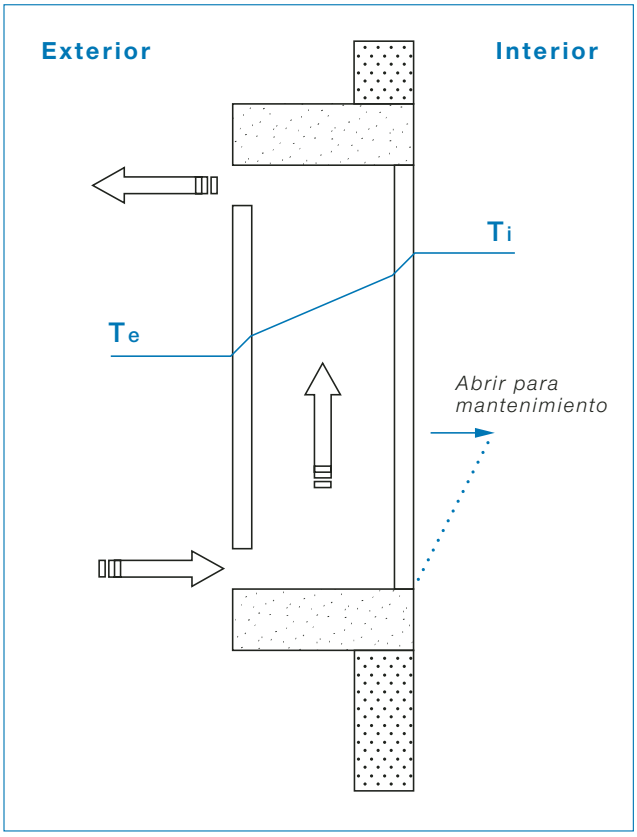


Figura 76

Se llaman **fachadas respirantes** aquellas que se caracterizan por estar constituidas por una cámara de dimensiones restringidas, de manera que sólo existe una membrana que iguala la presión exterior e interior de cámara y evitar así condensaciones. La principal ventaja es que no requieren mantenimiento en el interior de la cámara.

A diferencia, las **fachadas ventiladas** tienen una cámara de aire totalmente abierta al exterior, por donde circula el aire libremente, lo cual requiere mayor mantenimiento. Una de las ventajas de las ventiladas es que se consiguen mayores coeficientes térmicos en verano e invierno.

En resumen, se enuncia en la siguiente tabla sus características esenciales:

Fachadas respirantes	Fachadas ventiladas
Tecnología de fabricación elevada	Simples de fabricar
No tiene mantenimiento	Necesitan limpieza regular
Temperatura interior elevada	Temperaturas interiores inferiores
Buen aislamiento térmico y acústico	Buen aislamiento térmico y acústico
Protección mediante cortinas de protección solar	Protección mediante cortinas de protección solar pero sujetas a mantenimiento

7.4. FACHADAS FOTOVOLTAICAS

El concepto de desarrollo sostenible y la cultura medioambiental giran en torno de temas como la preocupación por la extinción de los recursos fósiles. Las energías renovables, además de ser limpias e inagotables, concuerdan con el ecosistema y procuran tal desarrollo sostenible.

La energía solar fotovoltaica es una de las principales tecnologías, aplicadas hoy en día, por su disponibilidad tanto en el ámbito personal como industrial.

La energía solar se puede aprovechar de dos formas distintas:

- **De forma pasiva:** según la orientación del edificio, los materiales utilizados, se aprovechan para aclimatar el edificio y proporcionar luz solar.
- **De forma activa:** la energía solar se aprovecha para la calefacción (captación de energía térmica) o bien se genera electricidad.

Actualmente el método más utilizado para producir energía eléctrica es el que proviene de los paneles fotovoltaicos. El interés que tienen hoy muchos arquitectos por la captación solar ha desarrollado nuevas tendencias y avanzadas tecnologías. El uso de paneles fotovoltaicos se está extendiendo y su coste es más razonable si se plantea su uso en una vivienda o edificio en la fase de proyecto.

Los sistemas fotovoltaicos son perfectamente integrables en una fachada ligera y cubiertas.

Principio de la generación de la energía fotovoltaica

Las células fotovoltaicas están formadas por materiales semiconductores (silicio) los cuales transforman la radiación solar que reciben en electricidad. Estas células se agrupan formando paneles o módulos fotovoltaicos, conectados entre sí de manera que crean un generador fotovoltaico. Normalmente se protegen con un vidrio y tienen una superficie entre unos 0.5 y 1m^2. Existen varios tipos de células:

- **Monocristalinas:** son costosas de fabricar pero se obtiene un buen rendimiento energético.
- **Policristalinas:** son menos costosas que las anteriores, por no ser puras, y en consecuencia su rendimiento es menor.
- **Amorfas:** son más económicas que las anteriores pero tienen una vida útil muy corta y el rendimiento no es muy alto.

Las fachadas que incorporan sistemas fotovoltaicos presentan grandes ventajas:

- Se pueden instalar en las ventanas, paneles individuales o en toda la fachada.
- Es una energía limpia, renovable, ecológica e inagotable.
- De fácil modulación, larga duración, es silenciosa.
- Requiere poco mantenimiento.
- Evita la gran dependencia energética externa.
- No tiene límites: puede instalarse en cualquier lugar.
- No hay pérdidas de transporte de energía, se obtiene en el mismo lugar de consumo.
- Las fachadas integradas sustituyen materiales de obra por lo que ahorra costes de construcción.
- Cuidan la estética del edificio y el control de la luz.
- El excedente de electricidad se remunera inyectándose a la red de la compañía eléctrica.

Características

La cantidad de energía que se produce depende:

- Del tipo de panel fotovoltaico y área integrada en la fachada
- De la orientación e inclinación de las células: es necesario prever las zonas de sombra que afecta a los paneles. Para optimizar la instalación se deben incorporar, o en mayor número, en la fachada sur y con una inclinación entre 5º y 10º menos que la latitud
- De la época del año
- Su peso es aproximadamente de unos 15 kg/m^2

La energía se genera durante todo el año. Aunque no haga sol, los paneles captan radiación solar pero con un rendimiento menor.

Es poco probable su avería. Para la seguridad del usuario la fachada integrada debe incorporar dispositivos tales como magnetotérmicos, diferenciales, puestas a tierra de los elementos metálicos, etc. en caso de producirse algún cortocircuito o descarga eléctrica.

Tipologías

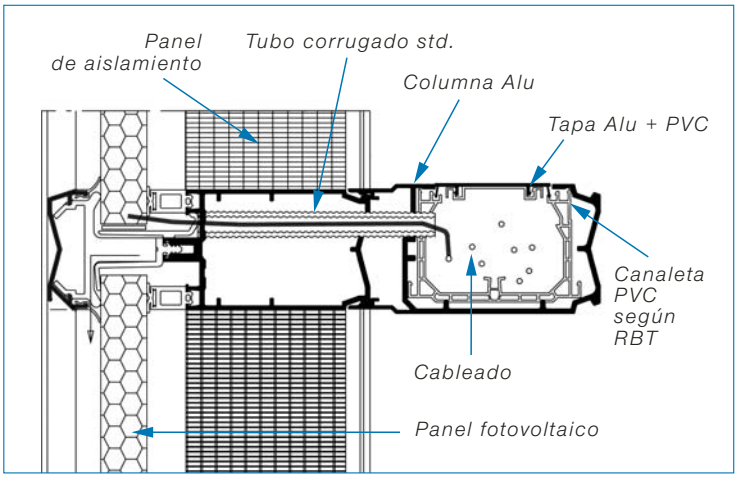


Figura 77

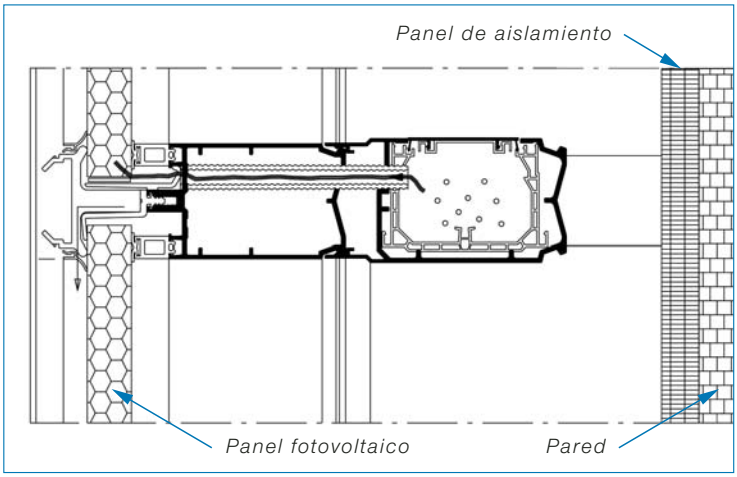


Figura 78

Normativas

Normativas

Normas de obligado cumplimiento

NBE-AE-88	"Acciones en la edificación"
NB-CT-79	"Condiciones térmicas de los edificios"
NBE-CA-82	"Condiciones acústicas en los edificios"
NBE-CPI-96	"Reglamento de seguridad con incendios en establecimientos industriales"

Se enuncian a continuación algunas de las normas para consulta, en referencia a las fachadas ligeras.

EN 12152: 2001	Fachadas ligeras. Permeabilidad al aire. Requisitos y clasificación
EN 12153: 2000	Fachadas ligeras. Permeabilidad al aire. Método de ensayo
EN 12154: 1999	Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Requisitos y clasificación
EN 12155: 1999	Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo de laboratorio bajo presión estática
EN 12179: 2001	Fachadas ligeras. Resistencia a la carga de viento. Método de ensayo
EN 12600: 2001	Vidrio para la edificación. Ensayo pendular. Método de ensayo al impacto para el vidrio plano.
prEN 13022	Vidrio para la edificación. Acristalamiento con sellante estructural. Parte 1º
ENV 13050: 2000	Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo de laboratorio bajo presión de aire dinámica y proyección de agua
EN 13051: 2001	Fachadas ligeras. Estanquidad al agua. Ensayo in situ
EN 13116: 2001	Fachadas ligeras. Resistencia a la carga de viento-Requisitos y clasificación
prEN 13119	Fachadas ligeras. Terminología
prEN 13501	Clasificación al fuego de productos de construcción y elementos de edificación
pr EN 13830	Fachadas ligeras. Norma de Producto
prEN 13947: 2000	Fachadas ligeras. Cálculo de la transmitancia térmica. Método simplificado
EN 14019: 2002	Fachadas ligeras. Resistencia al impacto. Requisitos y clasificación
ENV 1991-1-1: 20001	Eurocódigo 1: Acción sobre las estructuras. Acciones generales. Densidades, propio peso y cargas impuestas.
EN ISO 140 -3: 1995	Acústica. Medición de la atenuación acústica en edificios y de elementos del edificio. Parte 3: Mediciones en laboratorio de atenuación al ruido aéreo de elementos de edificación.
EN ISO 717 -1: 1996	Acústica. Clasificación de la atenuación acústica de edificios y elementos de edificación. Parte 1: atenuación al ruido aéreo en edificios y de elementos interiores del edificio.

Según la norma de producto EN 13830, los ensayos de resistencia dependen unos de otros. Estos ensayos que simulan el comportamiento de la fachada a la intemperie, deben llevarse a cabo de manera secuencial, con el orden siguiente:

1. Permeabilidad al aire. Clasificación
2. Estanquidad al agua bajo presión estática, para la clasificación.
3. Resistencia a la carga de viento, aptitud al servicio
4. Permeabilidad al aire, repetición
5. Estanquidad al agua, repetición
6. Resistencia a la carga de viento, incrementado a favor de la seguridad
7. Resistencia a la carga de viento, incrementado a favor de la seguridad

No puede realizarse un ensayo si no ha superado el anterior.

Como resultado de estos ensayos, las fachadas se clasifican según las tablas siguientes:

Permeabilidad al aire (A) basada en superficie total

Presion máxima Pmax (Pa)	Permeabilidad al aire m^3/m^2 h	Clase
150	1.5	A1
300	1.5	A2
450	1.5	A3
600	1.5	A4
>600	1.5	AE

E = excepcional

Estanquidad al agua

Máxima presión de ensayo Pmax (Pa)	Clase
150	R4
300	R5
450	R6
600	R7
>600	RExxx

E = excepcional

Como ensayo suplementario se puede realizar cuando se requiera un ensayo “in situ” para detectar los puntos de fuga de agua.

Resistencia a la carga de viento

No hay clasificación alguna debido a la gran variedad de sistemas estructurales. El resultado de un ensayo puede ser aplicado otra fachada idéntica a la ensayada.

Resistencia al impacto

Clasificación de impacto interno

Clase de ensayo	Fuerza de impacto
0	0
1	700 N/m
2	900 N/m

→ Ejemplo: fachada ligera de clase 2/3.

Clasificación de impacto externo

Clase de ensayo	Fuerza de impacto
0	0
1	700 N/m
2	900 N/m
3	800 N/m

Ensayo “in situ”, estanqueidad al agua

Este ensayo es aplicable a cualquier tipo de elemento relativo a fachadas ligeras. El ensayo consiste en rociar la fachada exterior de un edificio de manera constante y durante un tiempo determinado, de manera que puedan detectarse los posibles puntos de fugas de agua.

Para ello se necesita una barra de proyección de agua con boquillas dispuestas como máximo a unos 400 mm entre ellas y de manera que proyecten el chorro de agua en dirección perpendicular a la fachada. La barra debe distanciarse al menos unos 250mm de la cara exterior de la fachada. El chorro de agua debe progresar desde abajo hacia arriba del edificio, con un caudal constante durante 30 minutos, equivalente a 5l/min por metro de barra (precisión de 10%). Se necesita un dispositivo para mantener el caudal de agua constante con una presión de 2 a 3 bar, y un dispositivo para medir el caudal con una precisión del 10%. El agua debe ser limpia.

Durante el ensayo se deben señalar los puntos de fuga. Una vez terminado se ensaya de nuevo durante un período de 30 minutos. Si después de realizar el ensayo completo siguen habiendo fugas, se debe realizar el ensayo señalado en el anexo A de la norma EN 13051: 2001.

En otros casos si se requiere, se puede efectuar un ensayo más riguroso añadiendo una presión de aire, de acuerdo con la norma EN 12155.

Capítulo I. Generalidades.

1.1. Ámbito de aplicación de la Norma

La norma NBE-AE/88, se aplicará en el proyecto y en la obra de toda edificación, cualquiera que sea su clase y destino.

1.2. Aplicación de la norma en los proyectos

El arquitecto o en los casos previstos en la legislación el técnico autor del proyecto de una edificación, está obligado a conocer y a tener en cuenta la Norma, pero puede, bajo su personal responsabilidad, adoptar valores de acciones y reacciones diferentes de los marcados en ella.
En la Memoria del proyecto figurará un apartado con el título: "Acciones adoptadas en el cálculo", en el que detallará todos los valores que ha aplicado en el cálculo de cada uno de sus elementos resistentes y de su cimentación, reseñando explícitamente que se ajustan a lo prescrito en la Norma, o en su caso, justificando por qué se apartan.
Los Colegios Profesionales u otros organismos, para extender visado formal de un proyecto comprobarán qué en su Memoria figura el apartado antes indicado.
Los organismos que extiendan visado técnico de un proyecto comprobarán, además, que lo reseñado en dicho apartado se ajusta a la Norma.

1.3. Aplicación de la Norma en las obras

El arquitecto, o en los casos previstos en la legislación el técnico director de obra, está obligado, si no es autor del proyecto, a comprobar lo que figura en el apartado "Acciones adoptadas en el cálculo" de la Memoria del proyecto.
En caso de no estar conforme deberá redactar las precisas modificaciones de proyecto, y dar cuenta de ellas a los organismos que visaron formal o técnicamente el proyecto.
El director de obra dará conocimiento de los valores adoptados al aparejador o, en su caso, al técnico ayudante, y al constructor de la obra, y dará las órdenes precisas para que durante la obra no se rebasen estos valores.

1.4. Clasificación de las acciones

Las acciones que en general actúan en los edificios son las que se definen a continuación. En casos especiales puede ser preciso tener en cuenta acciones de otra clase.

1.4.1. Acción gravitatoria. Es la producida por el peso de los elementos constructivos, de los objetos que puedan actuar por razón de uso, y de la nieve en las cubiertas. En ciertos casos puede ir acompañada de impactos o vibraciones. De ella se trata en los Capítulos 2, 3 y 4.

1.4.2. Acción del viento. Es la producida por las presiones y succiones que el viento origina sobre las superficies. De ella se trata en el Capítulo 5.

1.4.3. Acción térmica. Es la producida por las deformaciones debidas a los cambios de temperatura. De ella se trata en el Capítulo 6.

1.4.4. Acción reológica. Es la producida por las deformaciones que experimentan los materiales en el transcurso del tiempo por retracción, fluencia bajo las cargas u otras cosas. De ella se trata en el Capítulo 6.

1.4.5. Acción sísmica. Es la producida por las aceleraciones de las sacudidas sísmicas. De ella se trata en la vigente Norma Sismorresistente.

1.4.6. Acción del terreno. Es la producida por el empuje activo o el empuje pasivo del terreno sobre las partes del edificio en contacto con él. Se desarrolla en los Capítulos 8 y 9.

1.5. Simultaneidad de las acciones*

En el cálculo de una estructura se consideran los casos de carga que se indican a continuación, detallando las acciones que se incluyen en cada uno de ellos.

CASO I.
Concargas. (Capítulo 2).
Sobrecargas de uso. (Capítulo 3, con las precisas hipótesis de alternancia según el artículo 3.8.).
Sobrecargas de nieve. (Capítulo 4).
Asiento de apoyo (si, de acuerdo con el Capítulo 8, deben considerarse).
Empujes del terreno. (Capítulo 9).

CASO II.
Todas las del caso I (con los valores que, combinados con los siguientes, produzcan los efectos más desfavorables).
Acciones del viento. (Capítulo 5).
Acciones térmicas y reológicas. (Capítulo 6).

Caso III.
(Cuando sea preciso según la Norma Sismorresistente). Concargas, sobrecargas de uso y de nieve y asientos de apoyo (con los valores que, combinados con los siguientes, produzcan los efectos más desfavorables).
Empujes del terreno, aumentados en el 25 por 100.

Acciones del viento, reducidas en el 50 por 100.
Acciones térmicas y reológicas, reducidas en el 50 por 100.
Acciones sísmicas (Norma Sismorresistente).

Las tensiones admisibles, y / o los coeficientes de seguridad, aplicables en cada uno de los tres casos serán los que indiquen en las Normas para el cálculo de estructuras de los diferentes materiales.

1.6. Notaciones

Las notaciones empleadas en la Norma se detallan en la Tabla 1.1.

*Para estructuras de acero laminado consúltese la NBE-MV 103-1972 "Cálculo de las estructuras de acero laminado en edificación".

* Para estructuras de hormigón armado consúltese la vigente EH "Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado".

*Para estructuras de hormigón pretensado consúltese la vigente EP "Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado".

Capítulo II. Acciones gravitatorias

2.1. Clasificación de las cargas

La carga producida por los pesos que gravitan sobre un elemento resistente, o una estructura, se descompone en concarga y sobrecarga.

2.1.1. Concarga. Es la carga cuya magnitud y posición es constante a lo largo del tiempo, salvo el caso de reforma del edifico. Se descompone en peso propio y carga permanente.

2.1.2. Peso propio. Es la carga debida al peso del elemento resistente. Constituye parte de la concarga.

2.1.3. Carga permanente. Es la carga debida a los pesos de todos los elementos constructivos, instalaciones fijas, etc., que soporta el elemento. Constituye parte de la concarga.

2.1.4. Sobrecarga. Es la carga cuya magnitud y/o posición puede ser variable a lo largo del tiempo. Puede ser: de uso o de nieve.

2.1.5. Sobrecarga de uso. Es la sobrecarga debida al peso de todos los objetos que puedan gravitar por el uso, incluso durante la ejecución.

2.1.6. Sobrecarga de nieve. Es la sobrecarga debida al peso de la nieve sobre las superficies de cubierta.

2.2. Determinaciones de pesos

La determinación del peso de un cuerpo homogéneo se hará, en general, multiplicando su volumen por su peso específico aparente.

El volumen se calculará geométricamente en función de sus dimensiones.

El peso específico aparente se determinará experimentalmente en los casos en que sea preciso. Para materiales de construcción pueden tomarse los valores consignados en la Tabla 2.1, para materiales almacenables los de la Tabla 2.2, y para líquidos los de la Tabla 2.3.

2.3. Determinación de la carga permanente

En el proyecto de cada elemento resistente se considerarán las cargas debidas a los pesos de todos los elementos constructivos que gravitan permanentemente sobre él: muros, pisos, pavimentos, guarnecidos, etc.; los tabiques, en los casos que se indican en el artículo 3.3; las instalaciones fijas; etc.

El peso de los elementos constructivos se calculará como se indica en el artículo 2.2, componiendo el de sus diversas partes cuando sean heterogéneas, y tomando el peso específico aparente que corresponda a las condiciones más desfavorables, por ejemplo, el del material húmedo en los elementos expuestos a la intemperie.

Para los casos más frecuentes de fábricas y macizos pueden utilizarse los pesos por unidad de volumen consignados en la Tabla 2.4, y para los de otros elementos constructivos, los pesos por unidad de superficie de la Tabla 2.5.

2.4. Determinación del peso propio

El peso propio de un elemento resistente, cuyas dimensiones van a determinarse en el cálculo, se estimará inicialmente, pudiendo para ello utilizarse tablas o fórmulas empíricas, o datos de estructuras construidas de características semejantes.

Con las dimensiones calculadas se determinará el

Tabla 1.1 Notaciones empleadas en la norma		
Símbolo	Dimensión	Descripción
a	LT^{-2}	Aceleración
a_g	LT^{-2}	Aceleración de la gravedad
b	L	Anchura
c	–	Coeficiente eólico
d	L	Canto de una sección
e	–	Base de los logaritmos neperianos
f	L	Profundidad del nivel freático
g	FL^{-2}	Concarga unitaria
h	L	Altura
k	–	Factor eólico de esbeltez
n	–	Índice de huecos de un terreno en %
p	FL^{-2}	Sobrecarga unitaria. Presión
P_H	FL^{-2}	Presión horizontal
P_N	FL^{-2}	Presión normal a una superficie
P_V	FL^{-2}	Presión vertical
q	FL^{-2}	Carga unitaria
t	L	Grueso
u	L	Perímetro de una sección
v	FL^{-2}	Velocidad del viento
w	LT^{-2}	Presión dinámica del viento
y	L	Profundidad de un empuje
z	L	Profundidad
z_o	L	Profundidad
A	L^2	Área de una sección
G	F	Concarga aislada
P	F	Sobrecarga aislada. Empuje
P_H	F	Empuje horizontal
P_V	F	Empuje vertical
Q	F	Carga aislada
α	–	Angulo de una cubierta. Angulo de incidencia del viento
β	–	Angulo de talud de un terreno
γ	FL^{-3}	Peso específico aparente
γ_a	FL^{-3}	Peso específico aparente del agua
γ'	FL^{-3}	Peso específico virtual de un terreno anegado
δ	–	Angulo de rozamiento entre terreno (o material) y muro
χ	FL^{-2}	Cohesión de un terreno
λ_H	–	Coeficiente de empuje horizontal
λ_V	–	Coeficiente de empuje vertical
φ	–	Angulo de rozamiento interno

peso propio real del elemento, y se rectificarán, si es preciso, los cálculos basados en la estimación.

2.5. Empujes de materias almacenadas

Los empujes de las materias almacenadas sobre las paredes de depósitos o silos se calcularán por los métodos que se indican en los artículos 9.3 y 9.6, que sirven tanto para terrenos como para materias almacenadas.

El peso específico aparente γ y el ángulo de rozamiento interno φ del material almacenado se determinarán experimentalmente cuando sea preciso, pudiendo utilizarse los valores de la Tabla 2.2.
El ángulo de rozamiento entre material y pared δ, se tomará en general con valor no superior a $\delta = \frac{2}{3}\varphi$, debiendo tenerse en cuenta que en el vaciado de depósitos o silos el rozamiento puede anularse.

Tabla 2.1 Peso específico de materiales de construcción	
Material	Peso específico aparente kg/m^3
A. Rocas	
Arenisca	2.600
Arenista porosa y caliza porosa	2.400
Basalto, diorita	3.000
Calizas compactas y mármoles	2.800
Granito, sienita, diabasa, pórfido	2.800
Gneis	3.000
Pizarra de tejados	2.800
B. Piedras artificiales	
Adobe	1.600
Amiantocemento	2.000
Baldosa cerámica	1.800
Baldosa de gres	1.900
Baldosa hidráulica	2.100
Hormigón	2.200
Ládrillo cerámico macizo	1.800
Ladrillo cerámico perforado	1.400
Ladrillo cerámico hueco	1.000
Ladrillo de escorias	1.400
Ladrillo silicocalcáreo	1.900
C. Maderas	
Maderas resinosas:	
Pino, pinabete, abeto	600
Pino tea, pino melis	800
Maderas frondosas:	
Castaño, roble, nogal	800
D. Metales	
Acero	7.850
Aluminio	2.700
Bronce	8 .500
Cobre	8.900
Estaño	7.400
Latón	8.500
Plomo	11.400
Zinc	7.200
E. Materiales diversos	
Alquitrán	1.200
Asfalto	1.300
Caucho en plancha	1.700
Linóleo en plancha	1.200
Papel	1.100
Plástico en plancha	2.100
Vidrio plano	2.600

Tabla 2.2 Carcterísticas de materiales almacenables		
Material	Peso específico aparente kg/m^3	Angulo de rozamiento interno
A. Materiales de construcción		
Arena	1.500	30°
Arena de pómez	700	35°
Cal en polvo	1.000	25°
Cal en terrón	1.000	45°
Cascote o polvo de ladrillo	1.300	35°
Cemento en sacos	1.600	–
Cemento en polvo	1.200	25°
Cenizas de coque	700	25°
Clinker de cemento	1.500	30°
Escoria de Altos Hornos (granulada)	1.100	25°
Escoria de Altos Hornos (troceada)	1.500	40°
Grava	1.700	40°
Yeso y escayola	1.250	25°
B. Combustibles		
Briquetas de lignito, amontonadas.	800	30°
Briquetas de lignito, apiladas	1.300	–
Carbón de leña en trozos	400	45°
Coque de hulla	500	45°
Hulla en bruto, con humedad de mina	1.000	45°
Hulla pulverizada	700	25°
Hulla en residuos de lavadero	1.200	0°
Hulla en otras formas	850	30°
Leña en astillas	200	45°
Leña troceada	400	45°
Lignito	700	35°
Serrín de madera asentado	250	45°
Serrín de madera suelto	150	45°
C. Productos agrícolas		
Avena	450	30°
Azúcar	750	35°
Cebada	650	25°
Centeno	800	35°
Guisantes	800	25°
Harina y salvado	500	45°
Heno prensado	170	–
Judías	750	30°
Maíz	750	25°
Malta triturada	400	45°
Patatas	750	30°
Remolacha azucarera desecada y cortada	300	40°
Remolacha, nabos o zanahorias	750	30°
Sémola	550	30°
Trigo	750	25°
D. Otras materias		
Abonos artificiales	1.200	40°
Carburo	900	30°
Estiércol apelmazado	1.800	45°
Estiércol suelto	1.200	45°
Harina de pescado	800	45°
Hielo	900	30°
Mineral de hierro	3.000	40°
Pirita	2.700	45°
Pirita tostada	1.400	45°
Sal común	1.200	40°

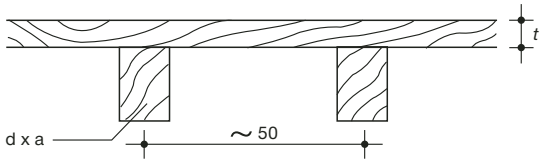
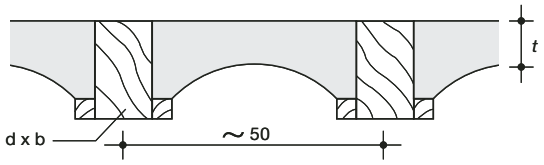
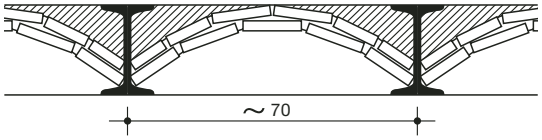
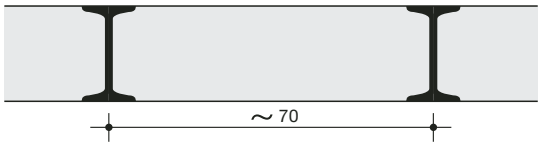
Tabla 2.3 Peso específico de líquidos	
Material	Peso específico kg/m3
Aceite de creosota	1.100
Aceite de linaza	940
Aceite de oliva	920
Aceite de ricino	970
Aceite mineral	930
Acetona	790
Acido clorhídrico al 40%	1.200
Acido nítrico al 40%	1.250
Acido sulfúrico al 50%	1.400
Agua	1. 000
Alcohol etílico	800
Anilina	1.040
Bencina	700
Benzol	900
Cerveza	1.030
Gasolina	750
leche	1.030
Petróleo	800
Sulfuro de carbono	1.290
Vino	1.000

Tabla 2.4 Peso de fábricas y macizos	
Elemento	Peso kg/m3
A. Sillería	
De basalto	3.000
De granito	2.800
De caliza compacta o mármol	2.800
De arenisca	2.600
De arenisca porosa o caliza porosa	2.400
B. Mampostería con mortero	
De arenisca	2.400
De basalto	2.700
De caliza compacta	2.600
De granito	2.600
C. Fábrica de ladrillo	
Cerámico macizo	1.800
Cerámico perforado	1.500
Cerámico hueco	1.200
Silicocalcáreo cerámico	2.000
D. Fábrica de bloques	
Bloque hueco de mortero (pesado)	1.600
Bloque hueco de mortero (ligero)	1.300
Bloque hueco de yeso	1.000
E. Hormigones	
Armado	2.500
En masa	2.300
De cascote de ladrillo	1.900
De escoria	1.600

Tabla 2.5 Peso elementos constructivos	
	Peso kg/m2
A. Tabiques (sin revestir)	
Tabique de rasilla (3 cm).	40
Tabique de ladrillo hueco (4,5 cm) .	60
Tabicón de ladrillo hueco (9 cm) .	100
Tabicón de ladrillo hueco (12 cm) .	140
B. Revestimientos (por cm de grueso)	
Enfoscado o revoco de cemento	20
Revoco de cal, estuco	16
Guarnecido de yeso	12
C. Pavimentos	
Baldosa hidráulica o cerámica:	
Grueso total, incluso relleno: 3 cm.	50
Grueso total, incluso relleno: 5 cm.	80
Grueso total, incluso relleno: 7 cm.	110
Tarima de 2 cm sobre rastrel recibido con yeso	30
Parquet sobre tarima de 2 cm y rastrel	40
Corcho aglomerado sobre tarima de 2 cm. con rastrel	40
Terrazo sobre mortero (5 cm de espesor total)	80
Linóleo o losetas de goma sobre capa de mortero de 2 cm.	50
D. Forjados de cubierta	
Enlistonado	5
Tablero de madera de 2,5 cm.	15
Tablero de rasilla (1 hoja)	40
Tablero de rasilla (2 hojas)	100
Tablero de rasilla (1 hoja), tendido de yeso.	50
E. Materiales de cobertura	
Una capa de cartón embreado	5
Dos capas de cartón embreado	15
Pizarra (1/2 vista)	20
Pizarra (1/3 vista)	30
Plancha ondulada de fibroasfalto	5
Plancha ondulada de fibrocemento	15
Plancha de plomo (1,5 mm)	18
Plancha de zinc (1 a 1,2 mm)	10
Teja curva ligera (1,6 kg por pieza)	40
Teja curva corriente (2,0 kg por pieza)	50
Teja curva pesada (2,4 kg por pieza)	60
Teja plana ligera (2,4 kg por pieza)	30
Teja plana corriente (3,0 kg por pieza)	40
Teja plana pesada (3,6 kg por pieza)	50

Tabla 2.5 (Continuación)

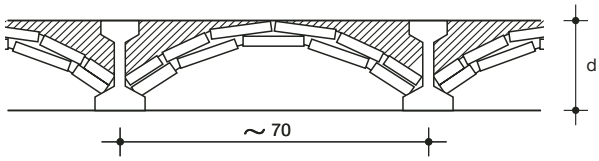
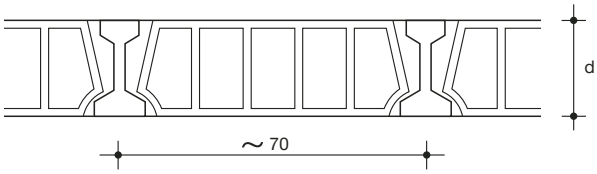
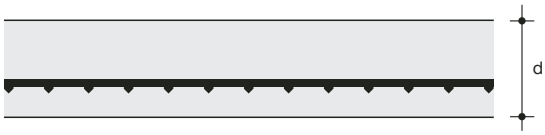
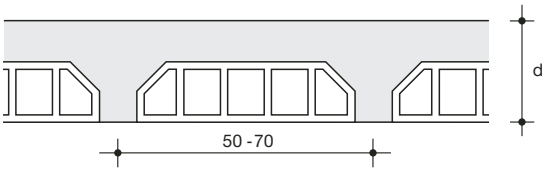
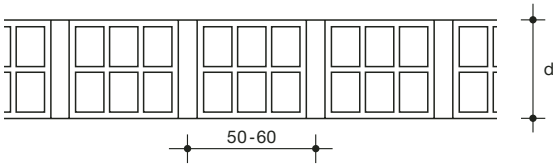
Peso de elementos constructivos

F. Pisos	Dimensiones		Peso kg/m^2
Viguetas de madera y entarimado	*t*	*d* x *b* (cm)	
	2,5 cm 3,0 cm 3,5 cm	16 x 10 20 x 12 24 x 14	40 55 70
Viguetas de madera y bovedillas de yeso	*t*	*d* x *b* (cm)	
	8 cm 10 cm 12 cm	16 x 10 20 x 12 24 x 14	100 130 160
Viguetas de madera y tablero de ladrillo	Tablero	*d* x *b* (cm)	
	Tablero de rasilla (3 cm)	16 x 10 20 x 12 24 x 14	60 70 80
	Tablero de hueco (4,5 cm)	16 x 10 20 x 12 24 x 14	80 90 100
	Tablero doble de rasilla (2 x 3 + 1 = 7 cm)	16 x 10 20 x 12 24 x 14	120 130 140
Viguetas metálicas y bovedillas de ladrillo	Bovedilla	PN (cm)	
	Bovedilla doble de rasilla (2 x 3 + 1 = 7 cm)	10 16 20 24	130 170 210 250
	Bovedilla triple de rasilla (3 x 3 + 2 = 11 cm)	16 20 24	200 240 280
Viguetas metálicas y mortero ligero	Mortero	PN (cm)	
	Densidad 1.500 Kg/m^3	10 16 20	160 260 330
	Densidad 1.800 Kg/m^3	10 16 20	190 310 390

Un tablero de rasilla tendido de yeso, como cielorraso, aumenta el peso en 50 kg/m^3

Tabla 2.5 (Continuación)

Peso de elementos constructivos

F. Pisos (continuación)	Dimensiones		Peso kg/m^2
Vigueta de hormigón y bovedillas de ladrillo	Bovedilla	*d* (cm)	
	Bovedilla doble de rasilla (2 x 3 + 1 = 7 cm)	16 20 24	180 220 280
Un tablero de rasilla tendido de yeso, como cielorraso, aumenta el peso en 50 kg/m^2	Bovedilla triple de rasilla (3 x 3 + 2 = 11 cm)	16 20 24	210 250 290
Viguetas de hormigón y bloques huecos	Bloque	*d* (cm)	
	Cerámico	16 20 24	100 130 160
	De mortero	16 20 24	120 150 180
Losa de hormigón armado	Canto *d* (cm)		
	8 10 12 15 20		190 240 290 360 480
Losa aligerada de hormigón armado	Bloque	Canto *d* (cm)	
	Cerámico: *t* = 3 cm	15 20 25	200 230 260
	Cerámico: *t* = 5 cm	15 20 25	240 270 300
	De mortero: *t* = 3 cm	15 20 25	220 250 280
	De mortero: *t* = 5 cm	15 20 25	260 290 320
Losa de cerámica armada	Canto *d* (cm)		
	12 15 20		150 180 240

Capítulo III. Sobrecargas de uso

3.1. Sobrecarga de uso

Sobrecarga de uso en un elemento resistente es el peso de todos los objetos que pueden gravitar sobre él por razón de su uso: personas, muebles, instalaciones amovibles, materias almacenadas, vehículos, etc.

3.2. Sobrecarga uniforme en pisos

Sobre un piso, la posición de los objetos cuyo peso constituye la sobrecarga de uso es variable e indeterminada en general. Por esta razón se sustituye su peso por una sobrecarga superficial uniforme, salvo en los casos especificados en los artículos 3.3, 3.4 y 3.5.

Para cada parte del edificio se elegirá un valor de sobrecarga de uso adecuado al destino que vaya a tener, sin que el valor elegido sea menor que el correspondiente a este uso en la Tabla 3.1.

La sobrecarga de uso de un local de almacén se calculará determinando el peso de las materias almacenables con la máxima altura prevista. Puede calcularse con los pesos específicos aparentes de la Tabla 2.2.

No se considerarán nunca incluidos en la sobrecarga de uso los pesos del pavimento del piso y del revestido del techo o de cualquier otro elemento que represente una carga permanente, como el peldañeado de escaleras, que se computarán expresamente en la carga permanente.

3.3. Sobrecarga de tabiquería

Aunque estrictamente hablando la tabiquería no constituye una sobrecarga, sin embargo, como en la vida de un edificio suele ser objeto de reformas, su peso se calculará asimilándolo a una sobrecarga superficial uniforme, que se adicionará a la sobrecarga de uso, siempre que se trate de

Tabla 3.1
Sobrecargas de uso

Uso del elemento	Sobrecarga kg/m^2
A. Azoteas	
Accesibles sólo para conservación	100
Accesibles sólo privadamente	150
Accesibles al público	Según su uso
B. Viviendas	
Habitaciones de viviendas	200
Escaleras y accesos públicos	300
Balcones volados	Según art. 3.5
C. Hoteles, hospitales, cárceles, etc.	
Zonas de dormitorio	200
Zonas públicas, escaleras, accesos	300
Locales de reunión y de espectáculo	500
Balcones volados	Según art. 3.5
D. Oficinas y comercios	
Locales privados	200
Oficinas públicas, tiendas	300
Galerias comerciales, escaleras y accesos	400
Locales de almacén	Según su uso
Balcones volados	Según art. 3.5
E. Edificios docentes	
Aulas, despachos y comedores	300
Escaleras y accesos	400
Balcones volados	Según art. 3.5
F. Iglesias, edificios de reunión y de espectáculos	
Locales con asientos fijos	300
Locales sin asientos, tribunas, escaleras	500
Balcones volados	Según art. 3.5
G. Calzadas y garajes	
Sólo automóviles de turismo	400
Camiones	1.000

tabiques ordinarios cuyo peso por metro cuadrado no sea superior a 120 kg/m^2 (de ladrillo hueco o de placas ligeras, con guarnecido en ambas caras, de grueso total no mayor de 7 cm.).

Cuando la sobrecarga de uso sea menor de 300 kg/m^2, la sobrecarga de tabiquería por metro cuadrado de piso que hay que adicionar no será inferior a 100 kg/m^2. Este valor corresponde a una distribución por m^2 de piso de 0,5 m. de tabique de 2,50 m. de altura y peso de 80 kg/m^2.

Cuando la sobrecarga de uso sea de 300 ó de 400 kg/m^2, se podrá tomar como sobrecarga adicional de tabiquería la mitad del peso de ésta. Cuando la sobrecarga de uso sea mayor de 400 kg/m^2, no se precisa adicionar el peso de la tabiquería.

Cuando se trate de tabicones de peso superior a 120 kg/m^2, no se asimilará su peso a una carga superficial uniforme, siendo preciso considerar la correspondiente carga lineal.

3.4. Sobrecargas aisladas

Todo elemento resistente: vigueta, cabio, correa, etcétera, debe calcularse para resistir las dos sobrecargas siguientes, actuando no simultáneamente: a), una sobrecarga aislada de 100 kg. en la posición más desfavorable; b), la parte correspondiente de la sobrecarga superficial de uso según los artículos 3.2 y 3.3.

Todo elemento resistente de calzadas y garajes debe calcularse para resistir las dos sobrecargas siguientes actuando no simultáneamente: a), las sobrecargas aisladas originadas por las ruedas de los vehículos en las posiciones más desfavorables; b), la parte correspondiente de la sobrecarga superficial de uso, según Tabla 3.1 G.

3.5. Sobrecarga de balcones volados

Los balcones volados de toda clase de edificios se calcularán con una sobrecarga superficial, actuando en toda su área, igual a la de las habitaciones con que comunican, más una sobrecarga lineal, actuando en sus bordes frontales, de 200 kg/m.

3.6. Sobrecargas horizontales

Los antepechos de terrazas, balcones, escaleras, etcétera, se calcularán para resistir una sobrecarga lineal horizontal, actuando en su borde superior, del valor siguiente:
Viviendas y edificaciones de uso privado 50 kg/m.
Locales de uso público 100 kg/m.
Se considerará toda otra sobrecarga horizontal que pueda producirse por el uso.

Tabla 3.2

Reducción de sobrecargas

Número de pisos que actúan sobre el elemento	Reducción en la suma de sobrecargas %
1,2,3	0
4	10
5	20
6 o más	30

La cubierta se considera como un piso.

3.7. Reducción de sobrecargas

En los edificios de varios pisos, incluidos en los apartados B y C de la Tabla 3.1, se podrá considerar para el cálculo de todo elemento resistente: jácena, pilar, muro, cimiento, etc., que reciba la carga de varias plantas, la reducción en la suma de las sobrecargas de los elementos cuya carga recibe, que se indica en la Tabla 3.2.

3.8. Hipótesis de aplicación de sobrecargas

Cada elemento de una estructura se calculará con las solicitaciones más desfavorables, que, en muchos casos, especialmente en estructuras hiperestáticas, aparecen al actuar la sobrecarga completa sólo en determinadas partes de la estructura, estando las demás descargadas.

3.9. Acciones dinámicas

El elemento que directamente soporta una sobrecarga que actúa con impacto se calculará con la sobrecarga multiplicada por un coeficiente de impacto. En el cálculo de los elementos que indirectamente soportan la sobrecarga, el coeficiente de impacto se reduce o anula.

Las sobrecargas A a F de la Tabla 3.1 llevan ya incluido el efecto del impacto, salvo el caso en que se prevean causas extraordinarias.

En las calzadas con tráfico el coeficiente de impacto será de 1,4 para los vehículos.

La sobrecarga de máquinas que produzcan vibraciones se calculará teniendo en cuenta la influencia de éstas en la estructura.

Capítulo IV. Sobrecargas de nieve

4.1. Sobrecarga de nieve

Sobrecarga de nieve en una superficie cubierta es el peso de la nieve que, en las condiciones climatológicas más desfavorables, puede acumularse sobre ella.

4.2. Peso específico aparenete de la nieve

El peso específico aparente de la nieve acumulada es muy variable según las circunstancias, pudiendo servir de orientación los siguientes valores:

Nieve recién caída	120 kg/m^3.
Nieve prensada o empapada	200 kg/m^3.
Nieve mezclada con granizo	400 kg/m^3.

4.3. Sobrecarga sobre superficie horizontal

La sobrecarga de nieve sobre una superficie horizontal se supone uniformemente repartida, y su valor en cada localidad puede fijarse con los datos estadísticos locales cuando existan con garantía suficiente. Cuando no existan datos estadísticos, el valor de la sobrecarga, en función de la altitud topográfica de la localidad, será el dado por la Tabla 4.1.
Aún para las localidades en que no nieva se debe adoptar una sobrecarga de cubierta no menor de 40 kg/m^2.
En la Tabla 4.2. figura la altitud topográfica de las capitales de provincia españolas.

4.4. Sobrecarga sobre superficie inclinada

La sobrecarga de nieve sobre una superficie de cubierta que forma el ángulo α con el plano horizontal, que no ofrezca impedimento al deslizamiento de la nieve, tendrá por metro cuadrado de proyección horizontal el valor siguiente.

$\alpha \leq 60°$ $p \cos \alpha$
$\alpha > 60°$ cero

siendo p el valor de la sobrecarga sobre superficie horizontal.

Cuando la superficie de cubierta tenga resaltos u otros obstáculos que impidan el deslizamiento natural de la nieve, se tomará, cualquiera que sea el ángulo α, sobrecarga por metro cuadrado de proyección horizontal de valor p.

Tabla 3.1

Sobrecargas de nieve sobre superficie horizontal

Altitud topográfica *h* m	Sobrecarga de nieve kg/m^2
0 a 200	40
201 a 400	50
401 a 600	60
601 a 800	80
800 a 1.000	100
1.001 a 1.200	120
> 1.200	*h*: 10

4.5. Acumulaciones de nieve

En las limahoyas y otras zonas de la cubierta en donde pueda acumularse normalmente la nieve por deslizamiento en los faldones confluyentes, o por efecto del viento, se calculará la sobrecarga debida a las acumulaciones previsibles. El peso específico de la nieve figura en el artículo 4.2.

4.6. Diferencias de sobrecargas

Se considerará la posibilidad de que la sobrecarga de nieve gravite con valor distinto sobre zonas parciales de la cubierta, a causa de desigualdades en la velocidad de fusión, arrastres de viento u otras causas.

En general, la diferencia de sobrecarga que se considere entre distintas partes de la cubierta tendrá valor no superior a 30 kg/m^2.

Tabla 4.2

Altitud topográfica de las capitales de provincia

Capitales	Altitud m
Albacete	690
Alicante	M
Almería	M
Avila	1.130
Badajoz	180
Barcelona	M
Bilbao	M
Burgos	860
Cáceres	440
Cádiz	M
Castellón	M
Ciudad Real	640
Córdoba	100
Coruña	M
Cuenca	1.010
Gerona	70
Granada	690
Guadalajara	680
Huelva	M
Huesca	470
Jaén	570
León	820
Lérida	150
Logroño	380
Lugo	470
Madrid	660
Málaga	M
Murcia	40
Orense	130
Oviedo	230
Palencia	740
Pamplona	450
Palma de Mallorca	M
Palmas (Las)	M
Pontevedra	M
Salamanca	780
San Sebastián	M
Santa Cruz de Tenerife	M
Santander	M
Segovia	1.000
Sevilla	10
Soria	1.090
Tarragona	M
Teruel	950
Toledo	550
Valencia	M
Valladolid	690
Vitoria	520
Zamora	650
Zaragoza	210

La altitud topográfica de una población es variable. En la Tabla se da la que corresponde a un punto importame de la capital, que se tomará como base para la sobrecarga de nieve.
Las capitales maritimas se marcan con M.

Capítulo V. Acciones del viento

5.1. Dirección del viento

Se admite que el viento, en general, actúa horizontalmente y en cualquier dirección. Se considera en cada caso la dirección o direcciones que produzcan las acciones más desfavorables.

Las estructuras se estudiarán ordinariamente bajo la actuación del viento en dirección a sus ejes principales y en ambos sentidos. En casos especiales, por ejemplo, estructuras reticuladas abiertas, construcciones con caras dentadas, o con estructuras oblicua a las fachadas, se estudiará además su acción en las direcciones sesgadas que resulten más desfavorables.

En los casos especiales que se señalan, y en otros que lo requieran, se considerará que la dirección del viento forma un ángulo de ± 10° con la horizontal.

5.2. Presión dinámica del viento

El viento de velocidad v (m/s) produce una presión dinámica de *w* (kg/m^2) en los puntos donde su velocidad se anula de valor:

$$w = \frac{v^2}{16}$$

La presión dinámica que se considerará en el cálculo de un edificio, función de la altura de su coronación y de su situación topográfica se da en la Tabla 5.1.

Se considera situación topográfica expuesta la de las costas, las crestas topográficas, los valles estrechos, los bordes de mesetas, etc.

En casos especiales de situación topográfica muy expuesta, por ejemplo: en alta montaña, en desfiladeros, en acantilados, etc., pueden requerirse valores mayores, que se determinarán mediante estudio especial.

Tabla 5.1

Presión dinámica del viento

Altura de coronación del edificio sobre el terreno en m, cuando la situación topográfica es		Velocidad del viento *v*		Presión dinámica *w*
Normal	Expuesta	m/s	km/h	kg/m^2
De 0 a 10	–	28	102	50
De 11 a 30	–	34	125	75
De 31 a 100	De 0 a 30	40	144	100
Mayor de 100	De 31 a 100	45	161	125
–	Mayor de 100	49	176	150

5.3. Sobrecarga del viento sobre un elemento superficial

El viento produce sobre cada elemento superficial de una construcción, tanto orientado a barlovento como a sotavento, una sobrecarga unitaria *p* (kg/m^2) en la dirección de su normal positiva (presión) o negativa (succión), de valor dado por la expresión:

$$p = cw$$

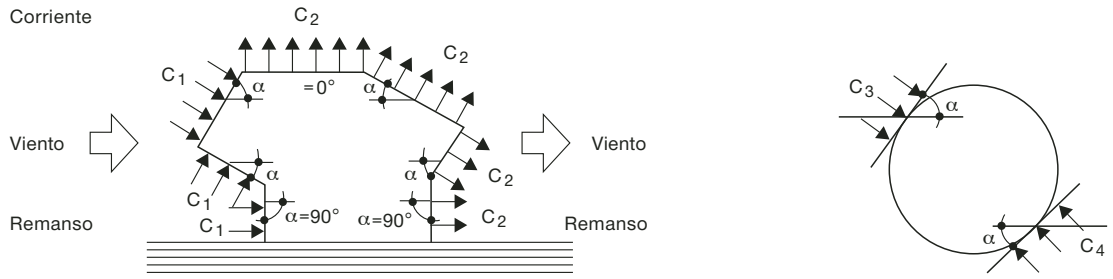
siendo *w* la presión dinámica del viento y *c* el coeficiente eólico, positivo para presión, o negativo para succión, que depende de la configuración de la construcción, de la posición del elemento y del ángulo α de incidencia del viento en la superficie. (Véase la figura de la Tabla 5.2).

5.4. Sobrecarga local de viento en construcciones cerradas

En una construcción cerrada, para obtener la

Tabla 5.2

Coeficiente eólico de sobrecarga en una construcción cerrada



Situación Angulo de incidencia del viento α	Coeficiente eólico en:					
	Superficies planas		Superficies curvas rugosas		Superficies curvas muy lisas	
	A barlovento C_1	A sotavento C_2	A barlovento C_3	A sotavento C_4	A barlovento C_3	A sotavento C_4
En remanso						
90° – 0°	+0,8	–0,4	+0,8	–0,4	+0,8	–0,4
En corriente						
90°	+0,8	–0,4	+0,8	–0,4	+0,8	–0,4
80°	+0,8	–0,4	+0,8	–0,4	+0,8	–0,4
70°	+0,8	–0,4	+0,8	–0,4	+0,4	–0,4
60°	+0,8	–0,4	+0,4	–0,4	0	–0,4
50°	+0,6	–0,4	0	–0,4	–0,4	–0,4
40°	+0,4	–0,4	–0,4	–0,4	–0,8	–0,4
30°	+0,2	–0,4	–0,8	–0,4	–1,2	–0,4
20°	0	–0,4	–0,8	–0,4	–1,6	–2,0
10°	–0,2	–0,4	–0,8	–0,4	–2,0	–2,0
0°	–0,4	–0,4	–0,4	–0,4	–2,0	–2,0

Valores intermedios pueden interpolarse línealmente.

sobrecarga local en cada elemento de su superficie exterior se tomará el coeficiente eólico de la Tabla 5.2.

En las superficies a resguardo, o sea, situadas dentro de la proyección, en dirección del viento, de otro elemento, como por ejemplo, en las cubiertas múltiples a diente de sierra, el coeficiente eólico se puede reducir en el 25 %.

En una construcción que tenga huecos (puertas o ventanas) actúa además sobre cada elemento una sobrecarga local en su superficie interior, que puede ser presión y puede ser succión, cualquiera que sea la dirección del viento.

Se calculará con los siguientes coeficientes eólicos:

Presión interior c = + 0,4
Succión interior c = – 0,2

En una construcción que tenga en una cara un hueco, o conjunto de huecos, cuya área practicable sea en total mayor que el tercio del área de la cara, sin producirse corriente de viento a través de la construcción, la sobrecarga interior se calculará con los siguientes coeficientes eólicos:

Hueco a barlovento: Presión inter.: c = + 0,8
Succión inter.: c = – 0,2
Hueco a sotavento: Presión inter.: c = + 0,4
Succión inter.: c = – 0,4

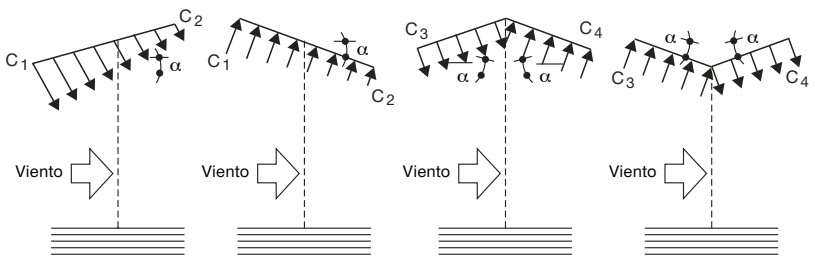
La sobrecarga exterior se combina con la interior. El coeficiente eólico total es la suma del de la sobrecarga exterior más el de la interior cambiado de signo. El cálculo se realizará con la combinación o combinaciones que produzcan efectos más desfavorables.

Tabla 5.3

Coeficiente eólico de sobrecarga total en una construcción

Clase de construcción	Coeficiente eólico c
Construcciones prismáticas	
De planta rectangular o combinación de rectángulos	1,2
De planta octogonal o análoga	1,0
Construcciones cilíndricas	
De superficie rugosa o nervada	0,8
De superficie muy lisa	0,6
Construcciones esféricas	
Esferas o semiesferas	0,4
Casquetes esféricos de relación altura: diámetro ≤ 1:4	0,2

Tabla 5.4
Coeficiente eólico en planos y diedros exentos



	Coeficiente eólico en:					
	Planos exentos Se calcularán los efectos más desfavorables con α ± 10°		**Diedros exentos** Se calculará cada elemento en los casos más desfavorables			
			Caso I		Caso II	
Angulo de incidencia del viento α	En el borde a barlovento C_1	En el borde a sotavento C_2	En el plano a barlovento C_3	En el plano a sotavento C_4	En el plano a barlovento C_3	En el plano a sotavento C_4
90° a 60°	1,2	1,2	1,2	0	0,8	0,4
50°	1,4	1,0	1,2	0	0,6	0,6
40°	1,6	0,8	1,2	0	0,4	0,8
30°	1,6	0,8	1,2	0	0,4	0,8
20°	1,2	0,4	1,0	0	0,2	0,8
10°	0,8	0	0,8	0	0	0,8
0°	0	0	0	0	0	0

Valores intermedios pueden interpolarse línealmente.

5.5. Sobrecarga total de viento sobre las construcciones

La sobrecarga total del viento sobre una construcción es la resultante de las sobrecargas locales sobre el total de su superficie.

En los casos ordinarios puede calcularse directamente esta sobrecarga total admitiendo una presión uniforme sobre el área proyección de la construcción en un plano normal al viento, con el valor del coeficiente eólico dado en la Tabla 5.3.

Se considerará incluso el área de los elementos eventuales: carteles, instalaciones, etc., que puedan existir. En las banderas sueltas se computará el 25 por 100 del área de la tela.

5.6. Sobrecarga de viento en construcciones abiertas

Se denomina construcción abierta la que tiene corriente de viento a través de ella.

La sobrecarga local de viento sobre sus elementos se calcula, en general, como en el artículo 5.4. Un elemento a resguardo de otro, o sea, situado dentro de su proyección en la dirección del viento, no recibe sobrecarga si la separación entre ambos es igual o menor que la mínima dimensión de elemento que resguarda. Si la separación es mayor, sin sobrepasar cinco veces la mínima dimensión, recibe sobrecarga reducida en el 25 por 100. Para separaciones superiores se considerará la sobrecarga total.

La sobrecarga total de viento se calculará como en el artículo 5.5, tomando el área de la proyección de la parte maciza de la construcción.
En este tipo de construcciones es muy importante tener en cuenta el área de todas las instalaciones solidarias que puedan existir.
En los planos y diedros exentos, la sobrecarga total, suma de la de sus dos caras, se calculará con los coeficientes eólicos dados en la Tabla 5.4.

5.7. Influencia de la esbeltez

La acción del viento es mayor en los edificios cuya esbeltez es grande. En función de la relación entre los valores medios de la altura *h* y de la anchura *b* de la construcción en el plano normal al viento, los coeficientes eólicos de los artículos 5.4, 5.5 y 5.6 se multiplicarán por el factor eólico de esbeltez *k* dado por la Tabla 5.5.
En las estructuras reticuladas abiertas se aplicará el factor eólico de esbeltez *k* que corresponda a la esbeltez media de sus barras, si éste es mayor que el general de la estructura.

Tabla 5.5
Factor eólico de esbeltez

Esbeltez: $\frac{h}{b}$ si $h>b$; $\frac{b}{h}$ si $b>h$	1 a 5	10	60 o mayor
Factor eólico de esbletez *K*	1	1,25	1,50

Valores intermedios pueden interpolarse línealmente.

Bibliografía

Bibliografía

Ministerio de Fomento. Norma Básica de la Edificación NBE, AE-88. Acciones en la Edificación. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, 1996.

MOPU. NTE. Fachadas. Particiones. 3ª edición. Centro de Publicaciones MOPU. Madrid, 1989.

AENOR. Eurocódigo 1. Bases de Proyecto y Acciones en Estructuras. Parte 2-4: Acciones en Estructuras. Acciones del viento. AENOR Madrid, mayo 1998.

AENOR. Eurocódigo 9. Proyecto de Estructuras de Aluminio. Parte 1-1: Reglas Generales. Reglas Generales y Reglas para Edificación. AENOR Madrid, Febrero 2000.

AENOR. Ventanas, persianas y sus accesorios. 2ª versión revisada y actualizada. Construcción, tomo 1. Recopilación de normas UNE. 2ª edición. Madrid, 1994.

AENOR. Acústica en la edificación. Madrid, 2002.

Vicente Llorca i Campas, Josep Olivé i Xirinachs. Cerramientos de aluminio. Texto para formación profesional. ASEFAVE (Asociación Española de fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas), Madrid. Primera edición, Mayo 1994.

Juan Company Salvador. Carpintería de Aluminio. Fundación Escuela de la Edificación, Madrid, 2000.

CITAV. Manual del vidrio. CITAV, Centro de Información Técnica de Aplicaciones del Vidrio. Madrid, 1996.

Cristalglass. Manual de Apoyo Técnico Isolar. Oficina de Información Técnica ISOLAR.

Intemac. Cuaderno Intemac nº 32- 4º Trimestre. Instituto Técnico de materiales y Construcciones, Madrid, 1998.

Ariño-Duglass. Catálogo de productos. Ariño-Duglass, Zaragoza, España.

Revista Tectónica, nº 10. Vidrio (I). ATC Ediciones, S.L , Madrid.

Revista Tectónica, nº 14. Acústica. ATC Ediciones, S.L Madrid.

Saint Gobain Glass. Memento. Saint Gobain Glass. Paris. Edición 2000.

Hydro
Building
Systems

Edición 15 de Mayo 2003.

ZONA INDUSTRIAL

SECTOR AUTOPISTA

CALLE DIESEL, 1

PARETS DEL VALLÈS

08150 • BARCELONA

TEL. 935 737 777

FAX 935 622 250

e-mail:technal@technal.es

http://www.technal.es

TECHNAL®