

---

# **CERRAMIENTOS LIGEROS EN LA ARQUITECTURA CONTEMPORÁNEA. USO DEL VIDRIO ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL MURO CORTINA**

Valencia, a 15 de febrero de 2019

---

AUTOR:

MANUEL LÓPEZ CANTO

TUTOR ACADÉMICO:

DR. D. LUIS MANUEL PALMERO IGLESIAS



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE VALENCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
INGENIERÍA DE  
EDIFICACIÓN

---

P  
O

ETS de Ingeniería de Edificación  
Universidad Politécnica de Valencia

## Resumen

Un cerramiento ligero es una simple barrera estanca con suficiente rigidez para ser estable y una mínima capacidad de aislamiento térmico, y es la solución por la que han optado muchas culturas tradicionales. Su versión más sencilla puede ser un tejido o un enramado. El aislamiento acústico será característicamente bajo, dada la falta de masa, y es una limitación al aligeramiento excesivo.

La revolución del vidrio perdura desde hace más de cien años; primero los invernaderos y palacios de cristal del siglo XIX, después el movimiento moderno – cuyos ideales giraban alrededor del nuevo material – y ahora, cuando se están reconsiderando los problemas derivados de su uso intensivo, renace con mayor ímpetu la “arquitectura del vidrio”.

El vidrio es hoy un material selectivo al espectro de la radiación del sol, y otros problemas como su fragilidad, resistencia al fuego, seguridad y aislamiento están resueltos.

Sencillos mecanismos de control nos permiten lograr un balance energético y de control anual muy positivos. La superficie de vidrio llega a constituir un sistema de respuesta variable, como nuestra piel, y con ella están naciendo tipos enteramente nuevos de edificios.

## Abstract

A light enclosure is a simple watertight barrier with enough rigidity to be stable and with a minimal thermal insulation capacity, and it is the solution that many traditional cultures have chosen. Its simplest version can be a tissue or a bunch of branches. The acoustic insulation will be typically low, due to the lack of mass, and it is a limitation to excessive lightweighting.

Glass revolution lasts for more than a hundred years; first the greenhouses and the nineteenth century glass palaces, after the modern movement - whose ideals revolved around the new material - and now, when problems arising from its intensive use are being considered, the "glass architecture" revives with greater impetus.

Glass is nowadays a selective material to sun radiation spectrum, and other problems such as fragility, fire resistance, security and insulation are solved.

Simple control mechanisms allow us to achieve an energetic and annual control balance very positives. Glass surface even becomes a system of variable response, like our skin, and with it are being created entirely new types of buildings

## **Agradecimientos**

A Bea,



# Índice

## CAPÍTULO 1.

### 1.- Introducción.

### 2.- Los Cerramientos Ligeros en la Arquitectura Contemporánea.

2.1.- Principales características del nuevo muro.

2.2.- La realidad de la situación.

2.3.- Elementos de las fachadas ligeras.

2.4.- La estructura auxiliar.

2.5.- Las fachadas de paneles ligeros.

2.5.1.- Tipología funcional de las fachadas ligeras.

2.5.1.1.- Tipos de junta.

2.5.1.2.- Fachada Cerrada Pesada.

2.5.1.3.- Fachada Cerrada Ligera.

2.5.1.4.- Principio funcional de la Fachada Ventilada.

2.5.2.- Tecnología de los materiales.

2.5.2.1.- Materiales.

2.5.2.2.- Métodos de conformación de los materiales

2.5.3.- Acabados.

2.5.4.- Organización constructiva.

2.5.4.1.- Subestructura.

a) Organización de la subestructura con perfiles.

b) Organización de la subestructura con bandejas.

2.5.4.2.- Anclajes y fijaciones.

2.5.4.3.- Montaje.

a) Acopios.

b) Condiciones de replanteo de estructura.

c) Sellado de juntas.

d) Apertura de ventanas.

e) Puesta a tierra.

### 2.5.5.- Comportamiento.

2.5.5.1.- Estanqueidad.

2.5.5.2.- Comportamiento higrotérmico.

a) Conductividad térmica.

b) Calentamiento superficial.

c) Aislamiento térmico.

- Panel simple.

- Panel sandwich aislante.

d) Condensación.

2.5.5.3.- Dilatación térmica.

2.5.5.4.- Aislamiento acústico.

2.5.5.5.- Comportamiento mecánico.

a) Acción del viento.

b) Resistencia.

c) Deformación.

2.5.5.6.- Comportamiento frente al fuego.

2.5.5.7.- Durabilidad.

## 3. Uso del Vidrio.

3.1.- Hacia una arquitectura de vidrio.

3.2.- El nuevo lenguaje del vidrio: 1914 – 1932

3.3.- Características físicas del vidrio. Breve descripción.

3.4.- El vidrio soplado.

3.5.- Vidrio laminado y vidrio templado.

3.6.- Vidrio tintado (años cincuenta).

3.7.- La servidumbre de la transparencia.

3.8.- La radiación solar y el efecto invernadero.

3.9.- La falta de aislamiento térmico.

3.10.- El aislamiento acústico.

3.11.- Los aspectos visuales del vidrio.

3.12.- La resistencia mecánica.

3.13.- El procedimiento de flotado.

- 3.14.- Soluciones técnicas para vidrio.
  - 3.14.1.- Revestimientos duros.
  - 3.14.2.- Revestimientos blandos.
- 3.15.- Vidrios y acristalamientos de uso específico.
  - 3.15.1.- Vidrios de seguridad.
  - 3.15.2.- Vidrios de control solar.
  - 3.15.3.- Vidrios aislantes.
  - 3.15.4.- Vidrios de comportamiento óptico modificado.
  - 3.15.5.- Vidrios resistentes al fuego.
- 3.16.- Control climático integrado.
- 3.17.- El vidrio y el medio ambiente.
  - 3.17.1.- El vidrio y la sostenibilidad medioambiental.
  - 3.17.2.- El uso del vidrio y la conservación de la energía.
- 3.18.- Normativa. Código Técnico de la Edificación (CTE)
  - 3.18.1.- Condiciones Térmicas.
  - 3.18.2.- Condiciones Acústicas.
  - 3.18.3.- Condiciones de Seguridad.
  - 3.18.4.- Condiciones de Fuego.

#### **4. Estudio y Análisis del Muro Cortina.**

- 4.1.- Definición y conceptos.
- 4.2.- Comportamiento estructural.
- 4.3.- Comportamiento frente al agua.
- 4.4.- Comportamiento térmico.
- 4.5.- Comportamiento frente al fuego.
- 4.6.- Ventilación.
- 4.7.- Aislamiento acústico.
- 4.8.- Sistemas de instalaciones.
- 4.9.- Mantenimiento y limpieza.
- 4.10.- Montaje.

4.11.- Solución del canto del forjado.

4.12.- Gomas y siliconas.

4.13.- Botones.

4.14.- Suspensión y tensado.

4.15.- Integración fotovoltaica.

4.15.1.- Integración fotovoltaica en muros cortina tradicionales.

4.15.2.- Integración fotovoltaica en muros cortina modulares.

## **CAPÍTULO 2.**

**Conclusiones.**

## **CAPÍTULO 3.**

**Bibliografía y recursos de red.**

## **CAPÍTULO 4.**

**Índice de figuras y palabras clave.**

# Capítulo 1.

## 1.- Introducción.

La casa ya no es una cueva, un refugio, una mineralización pasiva e inmóvil en sus partes, sino un mecanismo, un artefacto, “una máquina para vivir”, según la conocida expresión de Le Corbusier.

La causa y origen de la nueva arquitectura viene referida por la consecuencia lógica de los ideales en las nuevas tendencias arquitectónicas y por la continuidad de la construcción.

Debe buscarse en las ingenierías, entendidas como categorías científicas, los nuevos conceptos inmediatos en el tiempo.

Dichas categorías podríamos resumirlas haciendo la siguiente enumeración:

Primero: Mitificación de la razón geométrica y abandono del campo incierto del “más o menos”, por el horizonte de la exactitud.

El edificio, se convierte en agregado difícilmente trabado de elementos diferenciados e individualizados. La construcción desemboca en montaje y la junta pasa a ser la protagonista en el diseño constructivo y el problema a resolver. Es lo que se ha denominado construcción multicapa.

*(fefofederico.blogspot.com)*

Segundo: Neutralidad y anonimato. Objetividad.

El edificio debe ser la fría e impersonal expresión de un proceso no contaminado por la subjetividad. La forma es resultado; deja de ser autónoma; se emancipa de los instrumentos disciplinares históricos de su control: la composición, el dibujo, la simetría, etc.

Tercero: La autonomía y emancipación de lo natural.

Prevalecerá lo artificial frente a lo natural y el edificio deberá expresar el sometimiento de las leyes impuestas por la naturaleza a los logros de la ciencia positiva y la tecnología.

Se desafía a la gravedad, a los agentes atmosféricos – radiación, temperatura, agua, etc. – prolifera el uso de materiales artificiales con propiedades insospechadas diseñados, para edificios concretos; lo masivo se verá sustituido por lo liviano y lo activo por lo pasivo.

*(fefofederico.blogspot.com)*

## 2.- Los Cerramientos Ligeros en la Arquitectura Contemporánea.

Su evolución desde las primeras décadas del siglo XX estará determinada más por los ideales de la modernidad que por razones de índole funcional o utilitario, pues, al fin y al cabo, como dijo alguien los grandes hechos son las ideas. Componente utópica e idealista del movimiento moderno.



En estos años, los arquitectos buscan un cerramiento de concepción “ideal”, es decir, acorde con las tendencias constructivas que en aquel momento empezaba a tomar forma, sin perder la visión de la tradición arquitectónica.

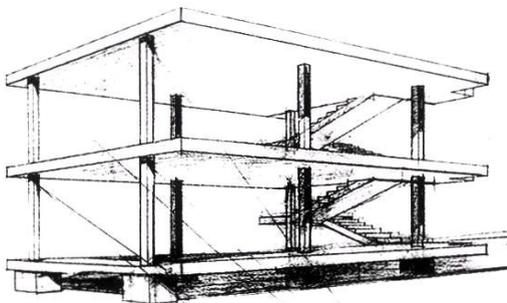
*Fig. 1 Maison de Verre, París, 1929  
(Fuente: [www.archdaily.com](http://www.archdaily.com))*

No se acepta una solución de compromiso con la tradición constructiva heredada.

La arquitectura moderna se vive como ruptura, no es el momento ulterior de la evolución arquitectónica previa. Se está asistiendo al advenimiento de una nueva era, o mejor, se está construyendo una arquitectura para una nueva era, la era de la máquina.

Se buscará un nuevo cerramiento que, no teniendo carácter estructural, asuma la configuración del esqueleto planteada por Le Corbusier – con la nitidez y precisión de un teorema – cuando diseña la estructura de las casas Dom-ino.

Se trata de un cerramiento de poco peso, autoportante, que garantiza las exigencias de cualquier cerramiento, es decir, principalmente, aislamiento y estanqueidad.



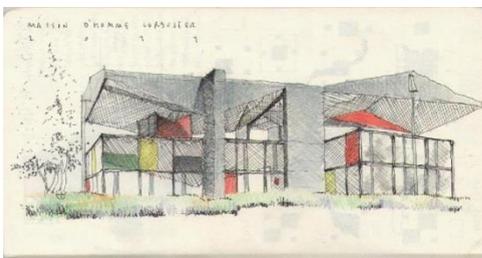
*Fig. 2 Casa Dom-ino (1914-1915)*  
(Fuente: [www.arqhys.com](http://www.arqhys.com))

La búsqueda no fue fácil y estuvo jalonada por innumerables fracasos y tentativas infructuosas que hicieron patente la mitificación de la tecnología y la escasa preparación técnica – pese a sus proclamas – de los pioneros del Movimiento Moderno. Tales tentativas pusieron de manifiesto, al mismo tiempo, la gran intuición y perspicacia que detentaban al señalar certeramente los objetivos de la nueva práctica constructiva.

Únicamente, cuando se consigue fabricar vidrio estratificado con ciertas garantías (juntas estancas al aire y una climatización eficaz en los edificios) se ha llegado a constatar la realidad del edificio de piel y huesos.



El propio Le Corbusier desecha la idea de un cerramiento todo de vidrio y comienza a hablar de la “fenêtre en longer”, es decir, un cerramiento en el que conviven paños ciegos y traslúcidos, aportando una mayor inercia térmica el cierre.



Reaparece el tema de la composición de muro frente al hueco y la estructuración del elemento constructivo.

Fig. 3 Casa del hombre, Zurich, (1964-1965)  
(Fuente: [www.paperblog.com](http://www.paperblog.com))

## 2.1.- Principales características del nuevo muro.

Poco espesor, poco peso y multiplicidad de capas especializadas, separadas por una delgada cámara de aire, serán los parámetros que dirijan las experiencias de algunos arquitectos.

Ciertamente, existían por entonces tradiciones constructivas que podían marcar las pautas para la realización de los cerramientos según los objetivos recientemente formulados de la nueva construcción multicapa.

*Bernstein, J.P. Champetier, F. Pfeiffer. “Construcción. Nuevas técnicas en la obra de fábrica. El muro de dos hojas en la arquitectura de hoy”. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 1968*

La construcción en madera, de amplia tradición en el mundo anglosajón y nórdico, o los tabiques pluviales hubieran podido ser referentes oportunos hacia los cuales dirigir la investigación.



*Fig. 4 Aluminaire House, de Kocher y Frey. Año 1931, Long Island.  
(Fuente: es.wikiarquitectura.com)*

Pero no obstante prevaleció, de hecho, aquel componente ideal y abstracto – plástico – al que se hacía referencia, y la nueva arquitectura pronto emprendió otros derroteros más vinculados al problema de estilo, orden, composición, etc., inevitables, por otro lado, en el entendimiento histórico de la arquitectura como disciplina, y tan solo se llevaron a cabo unas pocas experiencias que apuntaran en aquella dirección.

Señalaremos, a modo de ejemplo significativo, la Aluminaire House de Kocher y Frey (1931).

De ella escriben los arquitectos, Iñaki Ávalos y Juan Herreros: “ allí la descomposición básica del muro se realiza conforme a un esqueleto mixto de perfil (metálico) y montante de madera sobre el que se fijan a ambos lados dos tableros aislantes de fibras. Éstos cierran una cámara de aire con acabado interior textil de fibra de vidrio y acabado exterior compuesto de hoja impermeabilizante de papel embreado y lámina exterior reflectante de aluminio, rigidizada por un acabado corrugado”

Le Corbusier ensaya este tipo de cerramiento ligero en el proyecto de las casas Loucheur (1929).

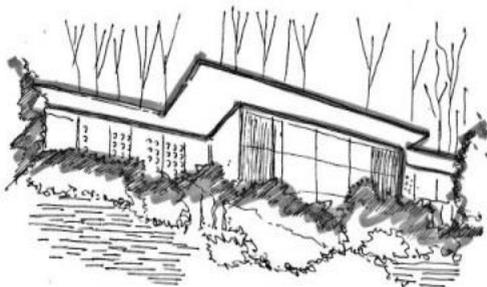
Fue Jean Prouvé el que con sus realizaciones para la Maison du Peuple de Clichy (1938), la Maison de l'Abbe Pierre (1956), el club de aviación Roland Garros (1935) y su propia casa en Nancy (1954), sentó las bases, definió los problemas e hizo progresar definitivamente la tecnología de las fachadas ligeras metálicas multicapa, sin traicionar, además, los ideales de la arquitectura moderna.



*Fig.5 Maison du Peuple de Clichy (1938).  
(Fuente: proyectos4etsa.wordpress.com)*



*Fig. 6 Maison de l'Abbe Pierre (1956)  
(Fuente:proyectos4etsa.wordpress.com)*



*Fig. 7 Casa de Jean Prouvé (1954), en Nancy. Francia. Con la construcción de su casa, Prouvé logra transferir la tecnología de la fabricación industrial a la arquitectura, sin que ésta pierda sus cualidades estéticas. (Fuente: [www.urbipedia.org](http://www.urbipedia.org))*

No haré alusión a las técnicas de prefabricación de grandes paneles de hormigón, que tan de moda estuvieron durante la década de los sesenta, pese a contar entre sus realizaciones con edificios de notable interés arquitectónico y constructivo; supusieron – dada su masividad, rigidez espacial y vuelta a un sistema constructivo indiferenciado a base de muros de carga – un cierto retroceso en la evolución lógica iniciada, y muy desarrollada ya por personajes como Prouvé, del elemento constructivo al que me estoy refiriendo en este artículo.

## 2.2.- La realidad de la situación.

Pasando del mundo de las ideas a lo concreto, la carencia de un verdadero sistema de fachada industrializado que permita resolver los requerimientos del cerramiento, conjuntamente con los principios ideales de ligereza, industrialización, especialización y modernidad que buscaban los pioneros del nuevo espíritu, se presenta como la característica más común en el panorama actual de la arquitectura.

La industria ha concentrado sus manufacturas en acabados ligeros de fachada a la carta, necesitados de un trasdosado complementario. Este planteamiento, realizado en aras de una flexibilidad mayor del producto y, por tanto, de una mejor penetración en el mercado, permite que sea el trasdosado de fachada – con muy pocas limitaciones técnicas – el que resuelva el problema del aislamiento, tanto acústico como térmico, que el producto manufacturado no realiza en la generalidad de los casos. Esta indeterminación del sistema, aunque concede un cierto grado de libertad, produce, en no pocos casos, una incoherencia con los principios y técnicas del acabado ligero, obligando a una reflexión más atenta para comprender el sistema, detectar sus carencias y plantear las soluciones adecuadas en el trasdós.

Una dificultad del sistema, teniendo en cuenta el aspecto económico, se traduce en un aumento del coste ya que, los acabados de las fachadas ligeras, tienen que resolver su indefinición acoplando el trasdós arbitrario con tolerancias constructivas diferentes a los métodos productivos resolviendo los encuentros entre juntas húmedas y secas.

El análisis y comprensión de los principios de esta fachada, por parte del proyectista, es el único camino para determinar un sistema de cierre vertical coherente, ligero y especializado, aunando diversos materiales manufacturados y resolviendo la parcialidad de algunos productos de fachadas existentes en el mercado.

### 2.3.- Elementos de las fachadas ligeras.

De todos los elementos es el panel el definidor del aspecto formal, de su tensión, ligereza y orden. Es en estos paneles donde se concentran los esfuerzos de la industria para producir una diversidad de materiales, acabados y dimensiones que permitan responder adecuadamente a los proyectos del arquitecto.

Es la unión, estructura y subestructura auxiliar la que es capaz de transmitir esfuerzos de viento, térmicos y de peso propio, concentrando la contraposición del proceso industrial y artesano de la propia construcción, diferenciando sus respectivas tolerancias.



Al mismo tiempo, la unión entre los paneles y la subestructura auxiliar mantiene la dificultad del problema, acentuando la transformación geométrica, es decir, pasa de lo superficial a lo puntual.



*Fig. 8 Casa Stenberg, Valle de San Fernando (1935). Vivienda unifamiliar de lujo construida con acero y paneles de aluminio. Richard Neutra. (arquitecturamashistoria.blogspot.com)*

*(Bernstein, J.P. Champetier, F. Pfeiffer. "Construcción. Nuevas técnicas en la obra de fábrica. El muro de dos hojas en la arquitectura de hoy". Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 1968)*

#### 2.4.- La subestructura auxiliar.

De los conceptos de especialización, de la propia concepción ligera del acabado y, como consecuencia, de la solución multicapa, así como de la diferenciación entre estructura y cierre, característica del Movimiento Moderno, se impone la necesidad de transmitir los esfuerzos del cerramiento a la estructura porticada resistente. La solución: la estructura auxiliar ligera. Materiales: aluminio, acero inoxidable o galvanizado, e incluso entramado de madera.

Esta capa no siempre existe, siendo sustituida con frecuencia por una hoja masiva que transmite las cargas y funciona como trasdosado, eliminando el carácter de ligereza, que queda reducido al acabado. En estos casos el anclaje concentra toda la complejidad del sistema.

#### 2.5.- Las fachadas de paneles ligeros.

La adecuación de los sistemas de cerramiento ligero para la construcción actual de edificios de basa en dos aspectos fundamentales: por una parte, la diferenciación de la estructura como esqueleto y de la fachada como cerramiento no portante; por otra, la posibilidad de prefabricar en taller componentes o elementos (normalmente paneles de tamaño mediano o grande) que luego se montarán en obra gracias a aparatos de elevación cada vez más efectivos y a técnicas de montaje cada vez más rápidas, ventajas ambas que permiten abordar la construcción de grandes superficies de fachada en tiempos muy reducidos y con calidades muy homogéneas.

La fachadas ligeras se caracterizan por la búsqueda de soluciones de poco peso, materiales ligeros en forma de chapas y tableros de poco espesor (entre 0'5 mm y 20 mm) y paneles aislantes (con espesores entre 30 y 150 mm).

Al mismo tiempo, la construcción por adición de capas especializadas, técnicas de montaje en seco con uniones atornilladas o clipadas, despieces de fachada con retícula de juntas que pueden cerrarse por burletes de goma o quedar abiertas y ventiladas, además del montado de las piezas de fachada en soluciones “flotantes” que aligeran todavía más el aspecto final, constituyen el conjunto de operaciones que dan como resultado la deseada ligereza de la fachada.

Los elementos constructivos que forman parte de una construcción ligera son los paneles y las juntas de acabado exterior, la subestructura o el muro que lo soportan mediante anclajes de fijación y el trasdosado de acabado interior (pesado o ligero); en ellos se intercalan cámaras de aire y capas de aislamiento térmico y acústico en distintas posiciones. El análisis y la comprensión de cómo funciona una fachada construida por agregación de capas independientes de materiales diversos, son fundamentales para saber construir dotando al conjunto de una coherencia interna que trascienda las bondades de cada una de las partes que lo componen. Si el *todo* no es algo más que la suma de las partes y éstas no se integran en el *todo* según una estrategia de comportamiento del conjunto, el resultado “chirriará” como un engranaje mal ajustado y dará lugar a la aparición de daños, visibles o encubiertos.

En la habitual definición constructiva de los proyectos, el material de fachada (su color, textura, formato) y su despiece son una de las primeras decisiones del arquitecto, mientras que la composición del resto de las capas de la fachada se suele decidir a posteriori y de manera no siempre coherente con esa elección de partida. Esa secuencia se adapta muy bien a la lógica de los cerramientos ligeros, porque en ellos la elección del material de acabado y su despiece apenas condiciona la definición constructiva del resto de los componentes. En esa definición se manifiestan dos grandes tendencias opuestas, según se trasdese por el interior con un muro pesado o con un cerramiento ligero.

En el primer caso, cuando se combina un cerramiento exterior ligero con un muro interior grueso (como en la solución moderna de “fachada ventilada”), la contradicción surge del doble carácter de sus hojas; una hoja exterior ligera de capas o paneles prefabricados, que se construye con sistemas atornillados de montaje rápido, y una hoja interior pesada y poco tecnificada, ejecutada con técnicas más lentas de albañilería *in situ*, que asume la responsabilidad de garantizar la estanqueidad al agua y al aire (y, en su caso, el aislamiento térmico, con capas adicionales de material aislante). La contradicción arquitectónica se produce cuando se comparan las imágenes del edificio terminado, dotadas del aura tecnológica de los paneles metálicos, con las imágenes previas de la obra puramente artesanal, a base de fábrica de ladrillo, “chorreada” con aislantes proyectados *in situ*, cuya única razón de ser es la de su bajo coste (y menor calidad) respecto a los aislamientos prefabricados, de calidad garantizada.

En ese contexto, los catálogos técnicos de paneles ligeros suelen ignorar el sistema completo de fachada en el que se incorporan sus productos y se concentran únicamente en las prestaciones de la capa exterior (el panel), en la que también centran casi toda su atención los propios arquitectos, interesado sobre todo en la estética del acabado final. El resto de los componentes de la fachada se resolverá – con mayor o menor fortuna – con un conjunto de técnicas inconexas, que ignoran la coherencia del sistema constructivo con la definición arquitectónica.

### 2.5.1.- Tipología funcional de las fachadas ligeras

En general, la construcción de fachadas de paneles ligeros va asociada a las juntas vistas al exterior y al diseño de “*aparejo*” o forma de disponer los paneles en fachada, que se concreta en el despiece de la retícula de juntas.

La existencia de juntas es el aspecto formal más significativo de este sistema constructivo, que condiciona desde el origen la imagen arquitectónica; el diseño debe integrar y dotar de significado al despiece de fachada, que a veces se convierte en un orden gigante de “macrosillares” planos, a base de paneles de gran longitud, dispuestos con el orden de un aparejo a soga. Las decisiones de proyecto se centran en la elección de la dirección (panel horizontal o vertical), del color, textura y formato del panel (piezas grandes o pequeñas), de su despiece (en cuadrícula o contrapeado) y de la integración de los huecos de ventana. El tamaño de los paneles decide la distancia entre juntas, por lo que el diseño de la fachada ha de alcanzar un sutil equilibrio entre la reducción del número de juntas y el consiguiente aumento de su anchura, necesario para resolver la dilatación de los paneles de gran longitud.

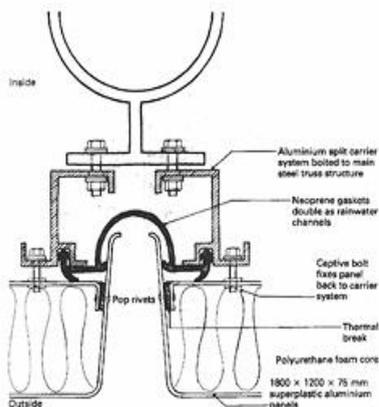
No hay fachadas ligeras sin despiece de juntas, salvo alguna excepción como la del sistema *Aquapanel Cement Board* de Knauf, que aplica al caso de las fachadas la misma técnica de rejuntado de los sistemas de tabiquería interior ligera, para resolver el acabado con un revestimiento continuo.

#### 2.5.1.1.- Tipos de junta

En una fachada construida con paneles ligeros de material impermeable, la estanqueidad depende fundamentalmente del diseño y buena ejecución de las juntas, a través de las cuales el agua puede encontrar una vía de entrada hacia el interior del cerramiento o del propio edificio.

El concepto y funcionamiento de la junta entre paneles ligeros define y decide el funcionamiento del conjunto de la fachada; ello nos obliga a plantear en primer lugar qué tipos de junta se utilizan en estas fachadas, como paso previo para establecer una tipología funcional de las fachadas de paneles ligeros.

En el edificio del *Sainsbury Center for Visual Arts* de Norman Foster, la junta entre paneles se resolvía con un perfil continuo de goma de sección en U, *clipado* a una subestructura de perfiles de aluminio, con la doble función de servir como cierre de juntas y como cuadrícula de canalones de cubierta y fachada (la envolvente es continua, con paneles curvos de transición entre la cubierta y la fachada).



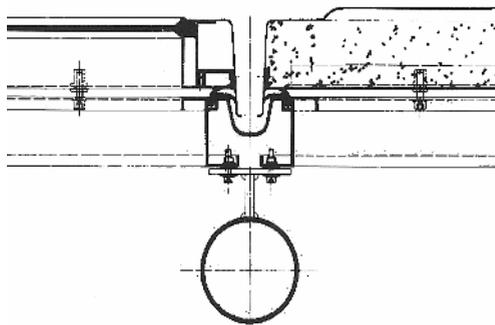
Estos perfiles de neopreno se prefabricaron formando tramos de la cuadrícula y se empalmaron en obra en puntos intermedios de la cubierta mediante uniones vulcanizadas con equipos portátiles. El resultado final era un sistema de paneles intercambiables, tanto en fachada como en cubierta.

Fig. 9 Detalle de junta entre paneles. *Sainsbury Center*. Norman Foster. (Fuente:[www.tectonica-online.com](http://www.tectonica-online.com))

La elección de juntas solapadas a “media madera” (recortando el borde del panel a mitad de su espesor para que al solapar dos paneles queden totalmente enrasados) tiene como resultado natural la aparición de una línea de junta desplazada en las dos caras del panel.

Las juntas han evolucionado desde los planteamientos iniciales, que diferenciaban la junta vertical y la junta horizontal, como en los paneles de hormigón; para la junta horizontal se elegía una geometría de solape (a “media madera”) del panel superior sobre el inferior, para impedir la entrada de agua impulsada por el viento, imponiéndole un recorrido ascendente con forma de “Z” hasta llegar al lado interior de la junta, donde se realiza el sellado.

Para la junta vertical se elegían normalmente las juntas a tope, cerradas con perfiles de aluminio vistos o burletes de neopreno rehundidos al plano de fachada.



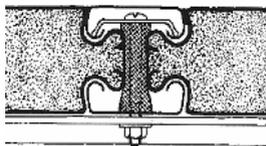
*Fig. 10 Detalle junta entre panel-claraboya y panel-opaco. Sainsbury Center. Norman Foster. (Fuente:www.tectonica-online.com)*

Quedaría por analizar cómo se resuelve el punto de cruce de juntas verticales y horizontales, qué sellado tiene prioridad de paso o si existen piezas en “cruce” que prefabriquen el cruce.

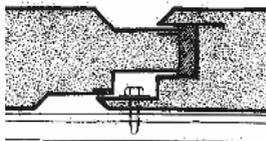
La evolución del diseño de las juntas ha sido en el sentido de las juntas machiembradas que, a diferencia de las juntas a tope, no interrumpen en una sola línea de corte la continuidad de los materiales del panel (chapa y aislante); se trata de evitar que la junta se convierta en el punto más débil del cerramiento: ausencia de aislamiento térmico, estanqueidad confiada sólo a la eficacia del sellado, puente acústico a través de los huecos de la junta y movimientos asociados a la dilatación de los materiales y a los esfuerzos dinámicos producidos por el viento.

La primera diferenciación que se puede hacer entre acabados de juntas es la que distingue las *juntas cerradas* (o selladas) y las *juntas abiertas* (no selladas). Las primeras responden al concepto de piel exterior impermeable y estanca, y las segundas son consecuencia lógica del concepto de cámara ventilada, con juntas abiertas, no estancas, permeables.

La junta más elemental (junta simple) se resuelve con paneles de bordes rectos, sin plegado de bordes: en ello, la junta abierta se consigue simplemente dejando una pequeña separación entre los paneles; la junta cerrada consiste en sellar ese mismo espacio de la junta sin recurrir a ningún tipo de solape o machiembrado entre paneles.



La junta solapada o machiembrada (*junta doble*) tiene como objetivo poner obstáculos contra la entrada de agua, no se concibe dejarla abierta, sin sellar. No obstante, como esta geometría de junta da lugar a un doble tope – uno interior y otro exterior – se podrá elegir entre sellar por ambos lados o sólo por el tope interior; esta opción da lugar a la *junta doble cerrada* y la *junta doble ventilada*.



En este tipo de junta hay un gradiente de presiones decrecientes desde el exterior (donde el viento produce la presión máxima) a la cámara intermedia y desde ésta al interior.

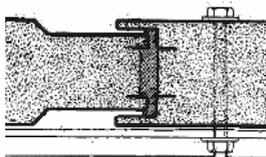


Fig. 11 Diversos tipos de junta doble cerrada, típicos de los paneles sándwich aislantes.

(Fuente: vidriosestructurales.blogspot.com)

### 2.5.1.2.- Fachada Cerrada Pesada.

En esta solución, ampliamente utilizada en las fachadas de paneles en España, subsiste la tradición constructiva de la obra convencional, a la que se dota de una imagen de modernidad mediante el simple recurso de adosar por el exterior de un muro de fábrica un conjunto de paneles que le confieren una imagen más tecnológica.

Se trata, pues, de construir en primer lugar un muro interior pesado (de hormigón o de fábrica) que sirve de soporte al resto de las capas, situadas hacia el exterior. El muro se levanta a ras de forjado, apoyado en todo su espesor, por su propia técnica constructiva; el muro asegura las funciones de resistencia contra el viento, cerramiento contra el aire, aislamiento acústico por masa y soporte de acabados exteriores e interiores; además, puede aprovecharse en todo o en parte como muro de carga.

A partir de este elemento desnudo, lo que sí ha cambiado es el orden de las capas y la secuencia de ejecución, que ahora procede de dentro afuera en el siguiente orden: aislamiento térmico (si no va incorporado a los paneles), colocación de anclajes y, en su caso, de subestructuras y, finalmente, colocación de los paneles exteriores, normalmente separados por una cámara que queda cerrada en esta tipología de fachada.

Independientemente de que se adopte o no la solución de fachada ventilada, hay que destacar como uno de los aspectos más favorables de la solución descrita que el aislante y la cámara pasan por delante del canto de los forjados y del frente de los pilares y con ello, desaparecen por completo los puentes térmicos a través de estos elementos estructurales, así como los problemas de condensación resultante.

### 2.5.1.3.- Fachada Cerrada Ligera.

La segunda opción es la de construir todo el espesor de fachada como cerramiento ligero, sustituyendo el muro de pesado trasdós por su versión ligera; una pared interior de placas prefabricadas (cartón-yeso o madera) fijadas sobre una subestructura de perfiles y listones. Pero este sistema de fachada totalmente ligera puede ocasionar deficiencias de funcionamiento, sobre todo cuando el arquitecto no está tan familiarizado con sus “secretos” como lo está con los de la obra tradicional. Hay que analizar con mayor detalle en este caso cómo se resuelve cada uno de los requisitos funcionales de una fachada:

La *resistencia a viento* se confía a la subestructura de la piel exterior, que debe diseñarse para resistir la carga de viento y transmitirla a la estructura del edificio: mediante montantes de forjado a forjado, mediante travesaños de pilar a pilar o mediante una subestructura doble construida a base da ambos; también se deba controlar la deformación de los perfiles de este subestructura para que no sea incompatible con la rigidez del material de fachada o con el sistema de anclajes.

Es obvio recalcar que no se debe confiar sin más a la perfilería de la pared ligera interior la función de resistir a viento, anclando sobre ella el sistema de paneles exteriores; y si ha de ser así, el concepto cambia: se trataría entonces de diseñar la subestructura exterior para resistir el peso de los paneles y la acción del viento y analizar después si puede utilizarse también como soporte constructivo de la pared de trasdós interior. La respuesta general es que no conviene mezclar ni poner en contacto las dos hojas ligeras, porque así se evitarán todo tipo de puentes térmicos, acústicos y de humedad. Además, paneles exteriores e interiores tienen distinta rigidez y sollicitaciones de magnitud bien distinta, por lo que es extraño plantear una subestructura común, que unificaría luces y distancias entre apoyos.

El *aislamiento acústico* es un punto débil característico de las fachadas muy ligeras, ya que no ofrecen la masa suficiente para aislar del ruido exterior, con el problema añadido de que los paneles metálicos muy delgados pueden entrar en resonancia; para dotar a la fachada del necesario aislamiento acústico se hace preciso recurrir al principio de amortiguación por efecto “masa – resorte – masa” mediante el empleo de *sándwiches* de fibra de vidrio o lana de roca como “resorte” entre tableros dobles o triples de cartón yeso o madera “masa”.

#### 2.5.1.4.- Principio funcional de la Fachada Ventilada.



Se trata de un sistema constructivo que permite la fijación de un revestimiento (no estanco) independiente de la hoja de cerramiento.

La separación del revestimiento respecto al cerramiento permite alojar una capa aislante y admite la libre circulación de aire por su cámara.

Fig. 12 Esquema de Fachada Ventilada.  
(Fuente: [www.tectonica-online.com](http://www.tectonica-online.com))

Por otro lado, el revestimiento ofrece una protección frente a la incidencia directa del sol sobre el resto de capas amortiguando los cambios bruscos de temperatura.

([www.sistemamasa.com](http://www.sistemamasa.com))

## 2.5.2.- Tecnología de los materiales.

El material característico de los cerramientos ligeros siempre ha sido la chapa metálica (laminable en espesores delgados), también la placas de amianto cemento, no tan extendida por la ausencia de colores vivos, por la falta de plegabilidad y por la ausencia de sistemas de fijación oculta. Los paneles metálicos se fabrican a partir de chapas de acero galvanizado o de aluminio laminado anodizado, habitualmente pintadas o lacadas al horno en ambos casos. En ocasiones se utilizan chapas metálicas vistas (acero inoxidable, aluminio anodizado, cobre y cinc, en su color natural o con pátina previa), lo que ha dado pie a que algunos fabricantes imiten estos acabados con pinturas, anodizados de color o pulimentos especiales sobre chapa de aluminio.

### 2.5.2.1.- Materiales.

a) Acero galvanizado: La calidad del acero empleado en la fabricación de paneles, es S235 y S275, siendo ésta cifra el valor mínimo del límite elástico expresado en N/mm, seguida de otras letras y números que corresponden al grado de soldabilidad y otras aptitudes.

El galvanizado es un recubrimiento del acero con una capa protectora de cinc. Admite las siguientes modalidades:

- Galvanizado en frío: Pintado con pinturas ricas en cinc. Estas pinturas se emplean en la reparación de daños, perforaciones o cortes de piezas galvanizadas mediante otros sistemas.
- Metalizado con cinc: Proyección de cinc semi-fundido sin aleación.
- Cincado electrolítico: Recubrimiento mediante electrólisis de cinc en disolución acuosa.

- Galvanizado en caliente: Se realiza por inmersión en un baño de cinc fundido a 450°C, con formación de capas sucesivas de aleación acero-cinc y una última capa sólo de cinc, hasta un espesor total de 50 a 200; es el que mayor garantía ofrece, por su resistencia a la abrasión, rayadura y golpes.

b) Acero inoxidable: Tiene una amplia gama de texturas y aspectos: decapado (acabado mate), *skim-pasado* (acabado brillante), acabado espejo, esmerilado, satinado y pulido. Las tonalidades pueden ir desde el mate grisáceo al plata brillante y pulido; dependiendo del grado de lijado y pulido se pueden conseguir acabados más o menos mates que evitan el exceso de reflejos y brillos, tan molesto en algunas fachadas.

El tamaño máximo de fabricación de la chapa de acero inoxidable es de hasta 1'52 m de ancho. Los espesores habituales son de 0'8 a 1'5 mm en muros cortina y revestimientos de fachada, 0'7 mm en carpintería y 0'4-0'5 mm en paneles de fachada de cubierta.

c) Aluminio: La chapa de aluminio que se emplea en los paneles de fachada puede ser una aleación de:

- Aluminio-magnesio (se fabrica en chapas y planchas y es adecuado para anodizado y pinturas de PVDF).
- Aluminio-manganeso (productos laminados para cubiertas y fachadas).
- Aluminio-magnesio-sílice (perfiles extruidos).

Se trata de un material mucho más ligero que el acero; su densidad es de  $2.700 \text{ Kg/m}^3$  ( $2'7 \text{ Kg/m}^2$  por mm de espesor), frente a los  $7.800 \text{ Kg/m}^3$  ( $7'8 \text{ Kg/m}^2$  por mm de espesor) del acero.

Aunque este material no se suele soldar, es soldable con soldadura de arco en atmósfera de argón o helio, con abundante producción de gases.

d) Aluminio anodizado: el acabado natural del aluminio tras el proceso de laminación, sin ningún tratamiento posterior, se denomina *Mill finish*.

El anodizado es un proceso de oxidación anódica para producir por electrólisis una capa superficial de óxido de aluminio (alúmina) que, a diferencia del óxido de hierro, protege de la corrosión del resto del espesor del material; esta oxidación artificial de 25 a  $30 \mu$  de espesor, mejora sustancialmente la que se produce de forma natural, que sólo llega a espesores entre  $0'01$  y  $0'2 \mu$ . La protección anódica es transparente y muy dura pero porosa por lo que requiere un tratamiento de sellado para cerrar las vías de ataque de agentes agresivos y evitar depósitos de suciedad en los poros.

El anodizado admite coloración por electrólisis mediante óxidos metálicos, que se fijan en los poros de la capa de óxido (antes de sellarla) y resisten bien la intemperie.

e) Cinc: La densidad de este material es de  $7.200 \text{ Kg/m}^3$ , lo cual equivale a una densidad superficial de  $7'2 \text{ Kg/m}^2$  por mm de espesor, es decir, algo menor que el acero.

El coeficiente de dilatación ( $2'2 \text{ mm/m} \cdot 100^\circ\text{C}$ ) es muy próximo al del aluminio.

En la exposición a la intemperie, el cinc se cubre de una capa protectora relativamente compacta e insoluble, que puede ser de hidrogenocarbonato de cinc (en contacto con el  $\text{CO}_2$  del aire) o de oxocloruro de cinc (en ambiente marino).

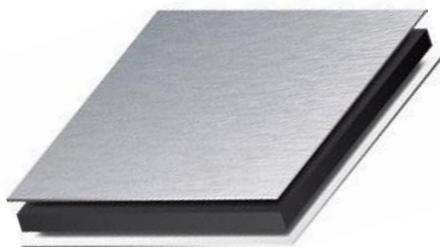
El cinc se monta sobre soporte de madera maciza de pino (también *picea*, pino silvestre y álamo). Es incompatible con otras muchas maderas.

f) Placas composite: Los productos *composite* responden a la idea de fabricar placas compactas formadas por capas de diferentes materiales adheridas entre sí para conseguir un conjunto rígido; para conseguir rigidez y planeidad es imprescindible que exista transmisión de esfuerzos rasantes de las chapas al núcleo, por lo que el empleo de adhesivos es imprescindible. En la construcción de paneles metálicos, la solución habitual es la de pegar dos chapas metálicas finas a un núcleo de material ligero – aislante o no – mediante procesos de laminación continua o en prensas independientes.

En la actualidad se usan, básicamente, tres tipos de placas composite:

- Placas laminadas de aluminio con alma de polietileno.
- Placas laminadas de aluminio con trillaje tipo colmena de abeja.
- Paneles *sándwich* de chapa metálica y alma de espuma de poliuretano.

Las placas *composite* no aislantes se fabrican encolando a presión entre dos chapas metálicas de acero o aluminio una chapa o núcleo de otro material: el núcleo no tiene misión aislante sino de rigidización de las capas superficiales.



Los materiales del núcleo pueden ser una capa de polietileno (“Alucobond”) o un trillaje de aluminio con celdillas de panal de abeja (Formacore o Luxalon).

Fig. 13 Placa composite con alma de polietileno.  
(Fuente: [www.tectonica-online.com](http://www.tectonica-online.com))

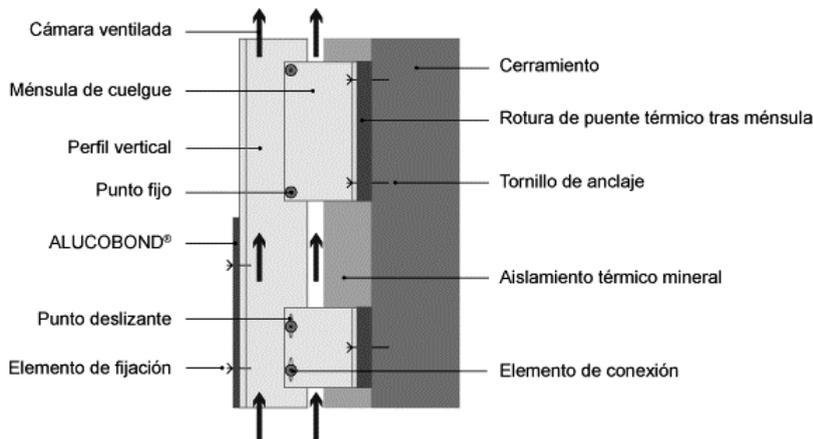


Fig. 14 Esquema de montaje placa composite de Alucobond (Fuente: [www.tectónica.com](http://www.tectónica.com))

En general, este tipo de placa se monta en soluciones de fachada ventilada, por delante de una subestructura de perfiles, o en soluciones de muro cortina reemplazando al vidrio en los paños opacos, fijados por los cuatro lados con perfiles de neopreno y tapajuntas metálicos.

El panel estructural constituido por dos láminas de aleación de aluminio (ext. de 1 mm e int. de 0'5 ó 1 mm) y un núcleo de aluminio en forma de nido de abeja, le confiere una gran rigidez en relación a su peso.

El espesor total puede ser de 6, 10, 15, 20 y 25 mm, con pesos entre 4'9 y 7'8 Kg/m<sup>3</sup>. Su aplicación más habitual es el panelado de grandes dimensiones, tanto en posición vertical como horizontal. Los acabados pueden ser en lacado especial de poliéster o de PVDF.



Fig. 15. Panel composite con trillaje tipo "colmena de abeja" (Fuente: [www.tectónica.com](http://www.tectónica.com))

Algunos ejemplos en los que podemos observar las terminaciones en los edificios pueden ser los siguientes:



Fig. 16 Renoma Building. Wroclaw. Polonia (Fuente: [www.skyscrapercity.com](http://www.skyscrapercity.com))



Fig. 17 Museo Reina Doña Sofía. Madrid (Fuente: [www.museoreinasofia.es](http://www.museoreinasofia.es))

g) Materiales no metálicos: La prohibición del amianto por razones de salud y medioambientales ha forzado la investigación tecnológica para encontrar nuevos materiales que cubrieran el hueco dejado por este material en el mercado, mejorando al mismo tiempo su gama de colores y el acabado final de la fachada. Esa búsqueda de ha orientado en dos direcciones: la sustitución del amianto por otra fibra como la celulosa que se pueda aglomerar con productos de base cementosa, o aglomerantes de formulación química basada en las resinas compactas, gracias a las cuales se consiguen productos planos de espesores cada vez más próximos a las chapas metálicas.

Estos materiales utilizan en muchos casos la cualidad de las fibras orgánicas o minerales para “armarlos”, es decir, para dotarles de rigidez y resistencia a flexión: las placas de cemento reforzado con fibra de celulosa (*Naturvex, Aquapanel*), el poliéster reforzado con fibra de vidrio y las placas de resina termoendurecible reforzada con fibra de celulosa (*Trespa, Prodema*)

Algunos ejemplos de estos materiales pueden ser:

- GRP Poliéster reforzado con fibra de vidrio.
- Paneles de resina reforzada con fibra de celulosa.
- Placas de fibrocemento.

#### 2.5.2.2.- Métodos de conformación de materiales.

Por otra parte, los diferentes métodos que se utilizan para conformar estos materiales son:

- a) Laminación plana.
- b) Laminación multicapa.
- c) Plegado.
- d) Perfilado.
- e) Estampación
- f) Curvado de paneles.

### 2.5.3.- Acabados.

La climatología y condiciones ambientales del emplazamiento de la obra son factores esenciales a tener en cuenta a la hora de elegir el tipo de revestimiento de los paneles.

Es elemental exigir que la pintura laca de acabado:

- Sea compatible con el material de base.
- No se agrieten con las dilataciones y acortamientos de origen térmico.
- Protejan eficazmente el metal contra oxidación.
- No se despeguen ni se desprendan por pérdida de adherencia.
- No pierdan color o se vuelvan rígidos por causa de su exposición al sol.

Cada fabricante suele suministrar tablas de recomendaciones sobre elección de acabados, en función del tipo y agresividad del ambiente. El sello de calidad ECCA (*European Coil Coating Association*) garantiza la calidad de los acabados de protección de las chapas metálicas para superficies de fachada e interiores.

Clasificación de los acabados:

- a) Acabados metálicos: *Aluzinc*
- b) Acabado vitrificado.
- c) Pinturas y lacados: *Versacor, Hairplus, Hairexcel, Kynar, Plastisol, Duranar.*
- d) Películas plásticas.
- e) Color.

## 2.5.4.- Organización constructiva.

### 2.5.4.1.- Subestructura.

La subestructura o estructura auxiliar de montaje se construye con perfiles conformados en frío de acero galvanizado o inoxidable, o con perfiles extruidos de aluminio; en los países europeos con mayor tradición maderera se emplean también rastreles de madera con protección antihumedad. Realiza el papel de elemento intermedio entre los paneles de la hoja exterior y la estructura portante del edificio, a la que transmite cargas gravitatorias y de viento, bien de manera directa mediante anclajes a forjados o pilares, o bien de manera indirecta mediante un muro grueso de soporte apoyado sobre bordes de forjado. El propio muro puede hacer de subestructura, reduciendo la presencia de aquélla a los anclajes de fijación entre panel y soporte.

#### a) Organización de la subestructura con perfiles:

El diseño de la subestructura a base de paneles horizontales o verticales decide la dirección de los perfiles que forman la subestructura de la pared ligera: estos perfiles (los verticales *montantes* y los horizontales *travesaños*) se colocan perpendicularmente a la longitud de los paneles; los anclajes se sitúan en el punto de intersección entre los perfiles y bordes de paneles.

El segundo aspecto, que decide la dimensión de los perfiles, es la forma de transmitir a la estructura las acciones de viento, bien a través de los bordes de los forjados (por medio de montantes que flectan de forjado a forjado), bien a través de las líneas verticales de pilares (por medio de travesaños que flectan de pilar a pilar), bien a través de un muro grueso interior de suelo a techo.

En tercer lugar, la inercia del panel decide directamente la distancia entre los perfiles de la subestructura (en términos generales, unos 2 m para chapas normales y entre 3 y 4 m para paneles *sándwich* aislantes, según tengan 2 ó 3 apoyos).



La cuarta decisión es la de organizar la subestructura con una sola familia de perfiles o con dos familias entrecruzadas; por supuesto, la opción de doble perfilería encarece el montaje (no tanto el consumo de material) y debe basarse en un criterio bien fundado.



La subestructura de dos órdenes de perfiles puede interesar también cuando se reduce el número de anclajes a borde de forjado o a frente de pilares, separando entre sí los perfiles más de lo que admite la inercia de los paneles.

*Fig. 18 Dos ejemplos de proyección de aislante sobre subestructura.  
(Fuente: aislaconpoliuretano.com)*

Si se decide la subestructura en dos órdenes, se dispone un primer orden de perfiles a la distancia que piden los paneles y se fijan sobre un segundo orden de perfiles, con mayor luz de flexión y mayor separación entre ellos (y por tanto con mayor sección/inercia); a este segundo orden se confiará la misión de alinear y aplomar el plano de fachada.

## b) Organización de la subestructura con bandejas.

Una alternativa a la subestructura con perfiles es la de bandejas metálicas de chapas plegadas, con sección básica en U, terminadas en aletas vueltas hacia dentro o hacia fuera. La sección en bandeja desarrolla la inercia necesaria a flexión gracias a su geometría. La superposición de placas nervadas sobre bandejas perpendiculares define un efecto de celosía que proporciona rigidez adicional al conjunto.

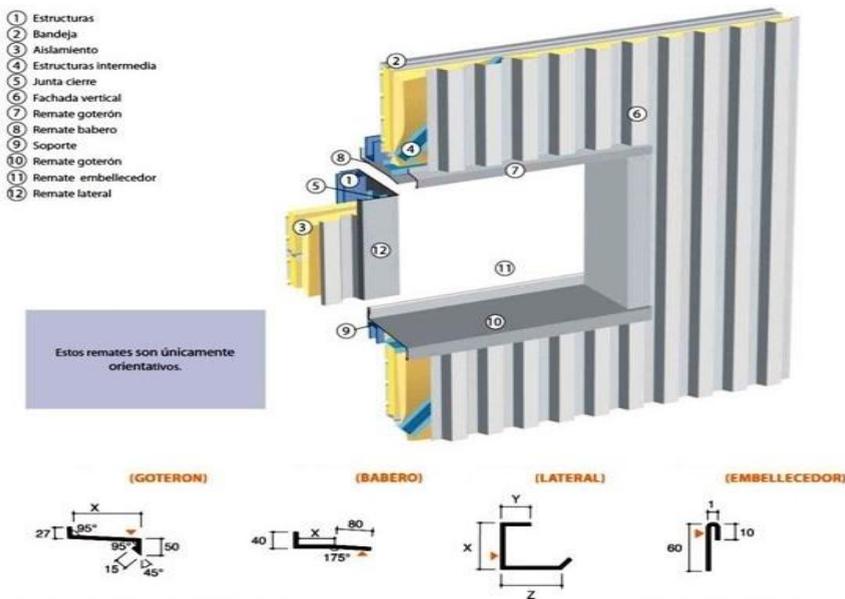


Fig. 19 Subestructura con bandejas metálicas (Fuente:www.linagar.com)

El conjunto de bandejas yuxtapuestas forma una pared metálica interior efectiva como barrera de vapor y como cierre cuasi estanco frente al aire y al agua.

### 2.5.4.2.- Anclajes y Fijaciones.

Los paneles se pueden fijar a soportes de muro o subestructuras de perfiles mediante remaches, tornillos auto-roscantes, perfiles de anclaje y ganchos, que pueden ir vistos frontalmente u ocultos en las aletas laterales o bordes plegados de los paneles, con o sin tapajuntas.

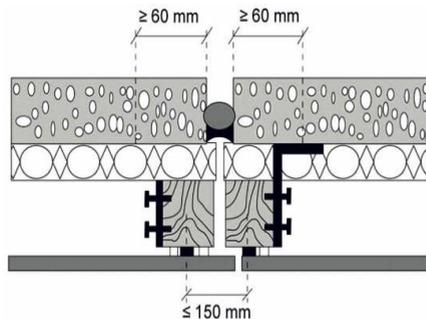
La intención de *anclar* está relacionada con la resistencia a tracción frente a la succión del viento, mientras que la presión directa no siempre necesitaría de anclajes para llegar a la subestructura.

Los anclajes también desempeñan la función de recoger el peso del panel en su parte inferior (anclaje de apoyo) y una vez apoyado, evitar el vuelco hacia el exterior (anclaje de retención).

En el caso de los paneles simples de chapa de aluminio hay que tener en cuenta que la dilatación superficial es muy superior a la del acero; el anclaje de los paneles debe hacerse compatible con la rigidez de la subestructura.

Fig 20 Detalle sección anclajes en paneles.

(Fuente: [www.plataformaarquitectura.com](http://www.plataformaarquitectura.com))



En las fachadas de paneles ligeros, los anclajes no siempre permiten el montaje y desmontaje de paneles independientes, ya que muchas de las juntas son machiembradas, de hecho, el sistema habitual de anclaje oculto en este tipo de fachadas consiste en fijar sólo uno de los dos paneles por una lengüeta de borde y utilizar esta para aprisionar una ranura de borde del panel contiguo.

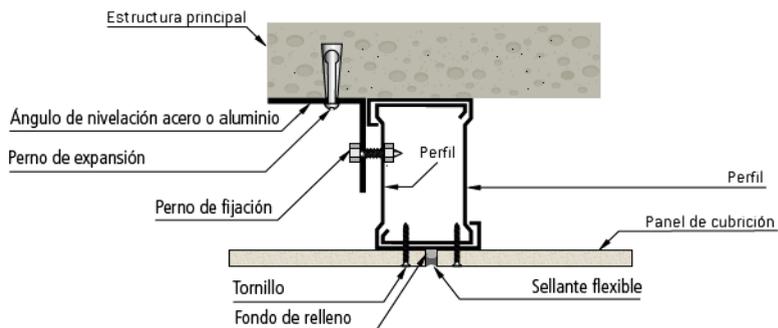
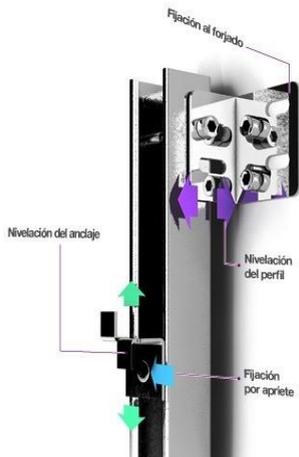


Fig. 21 Esquema de montaje de panel ligero (Fuente: [www.tectónica.com](http://www.tectónica.com))

En las fachadas de placas nervadas, los anclajes primarios anclan directamente cada placa al perfil de la subestructura; los anclajes secundarios fijan la zona de solape entre dos placas, con el fin de apretar mejor la junta frente a viento y agua y además, asegurar la continuidad frente a cargas, sobre todo en el caso de succión de viento.



Por todo ello, un anclaje resulta ser una pieza robusta, a la que no hay que añadir mecanismos de regulación tan sofisticados como en los anclajes directos de aplacado de piedra porque todo el replanteo de alineación, aplomado y nivelación ya debe venir dado con la propia subestructura.

No hay que olvidar la importante dilatación que experimentan los paneles metálicos con el calor, por lo que resulta imprescindible que los anclajes permitan la libre dilatación.

Fig. 22 Detalle con nivelaciones de anclaje y perfil. (Fuente: [www.tectonica-online.com](http://www.tectonica-online.com))

En cuanto a las fijaciones con adhesivo, existen algunos fabricantes (*Sika*) que comercializan sistemas para fijación de paneles ligeros de fachada con distintos materiales (tableros de madera y melamina, chapas metálicas, plásticos, fibrocementos, etc.) con las siguientes limitaciones:

- Espesor: hasta 20 mm
- Densidad: hasta 2000 Kg/m<sup>3</sup>
- Superficie: menor de 3 m<sup>2</sup>
- Longitud: menor de 2'5 m

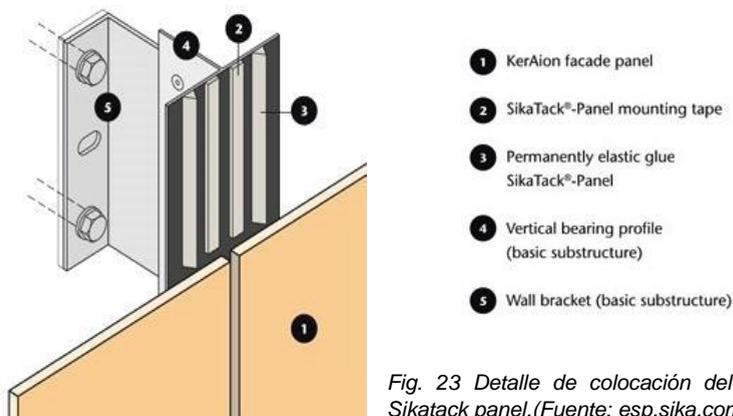


Fig. 23 Detalle de colocación del sistema Sikatack panel. (Fuente: esp.sika.com)

Está basado en un adhesivo mono componente de poliuretano que polimeriza con la humedad del aire. El montaje se realiza sobre rastreles de aluminio, acero galvanizado o madera. Es fundamental la aplicación de productos previos de limpieza de las superficies de pegado e imprimación. Después se coloca una cinta adhesiva a doble cara que permite fijar instantáneamente los paneles, manteniéndolos en posición hasta que el adhesivo fragua.

### 2.5.4.3.- Montaje.

La mayor parte de los fabricantes ofrecen catálogos de montaje de sus productos a sistemas de subestructura (montada por ellos o por otros) y describen las condiciones en que deben realizarse los procesos de transporte, almacenamiento y elevación. No es habitual que planteen en sus dibujos la composición completa de la fachada.

#### a) Acopios.

Cuando se apila en paquetes, la chapa de acero es sensible a la humedad de condensación, que puede llevar a la formación de “óxido blanco” (hidrocarbonato de cinc).

Éste óxido no es perjudicial para la chapa. Se puede evitar protegiendo el material apilado de la lluvia y ventilándolo bien (los plásticos deben quedar separados del material con tacos separadores).

#### b) Condiciones de replanteo de estructura.

Se indican a continuación valores normalmente utilizados en la comprobación del replanteo de los elementos de la estructura del edificio, sobre los que se anclará la perfilería de soporte de las fachadas de paneles ligeros.

- Aplomado: El desplome en toda la altura será menor de  $H/1000$  y menor de 15 mm
- Alineación: El avance o retroceso respecto a la línea teórica de fachada será menor de 8 mm o de  $L/1000 \times 4/3$ , siendo L la distancia entre pilares en mm
- Nivelación: Se admiten desniveles máximos de  $1/1000$ , es decir, de 1mm por m de fachada, con un desnivel máximo de 50 mm

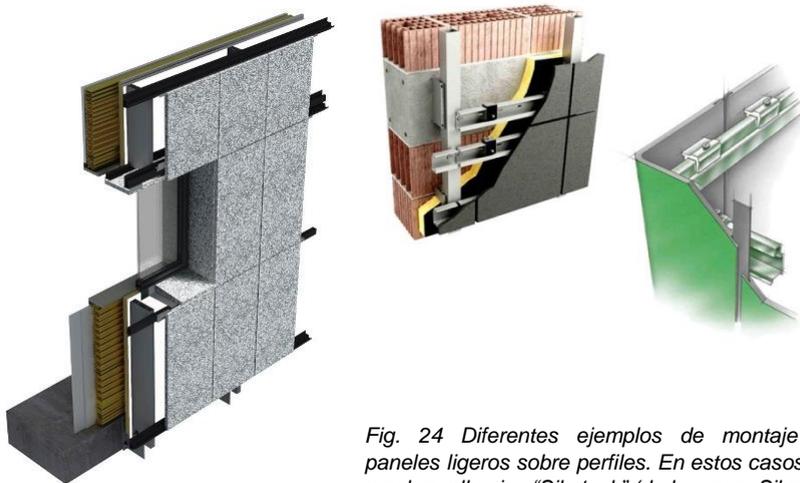


Fig. 24 Diferentes ejemplos de montaje de paneles ligeros sobre perfiles. En estos casos, se emplea adhesivo "Sikatak" (de la marca Sika).  
(Fuente: esp.sika.com)

### c) Sellado de juntas.

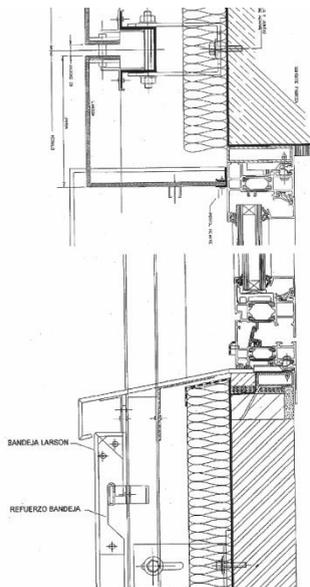
El sellado de estanqueidad de las juntas se resuelve con dos tipos de materiales (sellantes *in situ* frente a perfiles de goma) y dos técnicas de aplicación: sellado en obra (una vez montados los paneles) y sellado previo (el panel incorpora de fábrica los sellados y en obra se ponen en contacto con los bordes de los paneles vecinos).

- Los materiales de sellado *in situ* (mástics de base asfáltica y siliconas) se aplican con pistola a lo largo de la junta; el material endurece en contacto con el aire y se adhiere por ambos lados de los bordes de la junta.  
El material sellante debe cumplir con las condiciones habituales: adherencia, compatibilidad con el material del panel, elasticidad y durabilidad.

- Los perfiles de goma para juntas suelen ser de neopreno, caucho butilo o EPDM (Etileno Propileno Aluminio Dieno Monómero); tiene alma hueca y contorno de aletas múltiples, para presionar sobre los bordes de la junta al insertarlos a presión desde el exterior.

Se debe estudiar con detalle la geometría y anchura del perfil en relación con el recorrido de la junta, de modo que no se suelte en invierno, cuando la junta alcanza su máxima apertura, ni se aplaste en verano, cuando la junta se cierra al máximo.

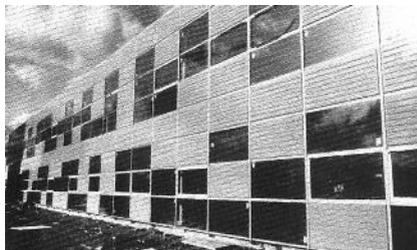
#### d) Apertura de ventanas.



La apertura de ventanas de pequeño o mediano tamaño en fachadas de paneles puede resolverse incorporando la ventana a un panel especial (lo cual multiplicará el número de paneles distintos) o creando el hueco como un panel "ausente", es decir, diseñando el despiece de los paneles para que rodeen el hueco que se quiere crear (aunque esto también puede dar lugar a paneles especiales por forma o por dimensión).

*Fig. 25 Panel especial de bandeja "Larson" para jambas de ventanas (Sección longitudinal y transversal). (Fuente: [www.alumisan.com](http://www.alumisan.com))*

Para abrir ventanas en fachadas de placas nervadas, da mejores resultados resolverlas en bandas horizontales o verticales (panel “ausente”) antes que con huecos recortados en las placas.



*Fig. 26 Paneles de ventanas modulares*  
(Fuente: [www.archiexpo.es](http://www.archiexpo.es))

El realizarlo de esta manera se justifica por el mejor ajuste a la escala general de la envolvente, reduciendo el número de juntas a resolver en el contorno de los huecos. La junta recta entre panel y ventana se resuelve normalmente con chapas perfiladas en Z.

#### e) Puesta a tierra.

Se aconseja conectar a la red de puesta a tierra los perfiles de subestructura de las fachadas de paneles metálicos, de modo que a través de las fijaciones queden también conectados a tierra los propios paneles.

### 2.5.5.- Comportamiento.

#### 2.5.5.1.- Estanqueidad.

Las prestaciones de un sistema de cerramiento y también la estanqueidad dependen, sobre todo, del sistema de juntas empleado.

### 2.5.5.2.- Comportamiento higrotérmico.

#### a) Conductividad térmica.

El coeficiente de conductividad térmica disminuye al aumentar la densidad el aislante hasta un valor límite, por encima del cual vuelve a aumentar, perdiendo eficacia aislante.

En la siguiente tabla, se recogen los valores del coeficiente de conductividad térmica de los materiales empleados en la fabricación de paneles:

COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS MATERIALES DE PANELES LIGEROS			
Material de superficie	W/m°C	Material de núcleo	W/m°C
Acero	60	Espuma de poliuretano (Tipo I a IV)	0'023 (0'023 – 0'040)
Aluminio	200	Espuma de poli-isocianurato	0'026
Cobre	385	Fibra de vidrio (Tipo I a VI)	0'033 (0'044 – 0'036)
Fibrocemento	0'4	Lana de roca	0'038 (0'042 – 0'038)
<i>Naturvex</i>	0'4 – 0'53	Madera bakelizada	0'300
		Poliestireno expandido	0'037
		Poliestireno extruido	0'033 – 0'028
		Polietileno (panel composite)	0'290
		Polietileno reticulado	0'038
		Resina con fibra de celulosa	0'300

Fig. 27 Cuadro de conductividades térmicas

Este valor no se puede considerar aislado, ya que el calentamiento superficial por radiación solar que depende del color del acabado tiene una importancia enorme en el comportamiento térmico de los paneles metálicos.

### b) Calentamiento superficial.

El empleo de chapas metálicas como material de acabado de fachadas suscita interrogantes sobre la temperatura que pueda alcanzar el metal en condiciones de verano en España (con niveles muy altos de soleamiento) y sus consecuencias en la dilatación lineal de los paneles.

Éste fenómeno del calentamiento excesivo de la superficie exterior de los paneles hace también aconsejable la solución alternativa de interponer una cámara de aire ventilada entre la chapa exterior y el aislante térmico, solución perfectamente posible con placas nervadas, paneles simples y, sobre todo, con paneles de bandeja.

Los fabricantes de paneles suelen dar el dato del intervalo de temperaturas para el que garantizan el comportamiento del panel; por ejemplo, de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+80^{\circ}\text{C}$  (*Alucore*) y de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+80^{\circ}\text{C}$  (*Alucobond*).

### c) Aislamiento térmico.

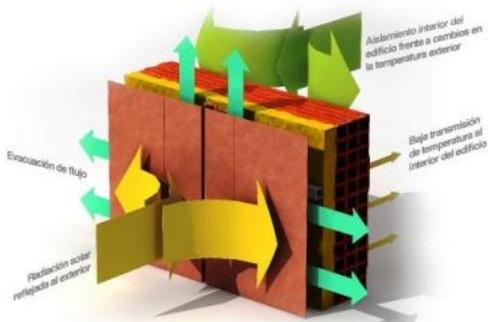
- Paneles simples: Los valores del coeficiente de transmisión térmica  $U$  (antes  $K$ ) de los paneles simples de fachada (sin aislamiento térmico) son muy elevados, como ya era previsible a la vista de la alta conductividad de éstos materiales:

- Acero:  $U = 5'8 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- Aluminio:  $U = 5'9 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- Fibrocemento:  $U = 5'13 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- Paneles composite:  $U = 5'15 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$

- Paneles sándwich aislantes: El valor del coeficiente de conductividad térmica  $U$  de los paneles *sándwich* aislantes depende, obviamente, del tipo de aislante y del espesor empleado; en términos generales oscila entre  $0'27$  y  $0'68$   $W/m^{\circ}C$  (valor intermedio  $0'47$ ) en espesores entre 8 y 3 cm de aislamiento térmico.

Sin embargo, la inercia térmica de estos paneles es mínima: no tiene capacidad de acumulación de calor debido a su ligereza, por lo que enfrían y se calientan rápidamente en contacto con aire frío o caliente. No obstante, si se usan éstos paneles como hoja exterior de una fachada trasdosada con hoja interior pesada, el resultado será un cerramiento con gran inercia térmica, porque toda la masa del muro quedaría en contacto con ambiente interior calefactado y protegida por una posición del aislante muy cercana al plano exterior. En este caso, el cerramiento tendría una respuesta lenta a los cambios de temperatura diarios y estacionales. Lo mismo cabe decir respecto a las fachadas ventiladas, gracias a la posición muy exterior del aislante térmico.

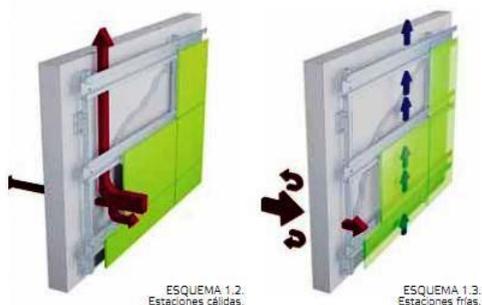
#### d) Condensación.



Un revestimiento exterior de chapa metálica con juntas selladas puede producir condensación, ya que el material corta el paso del vapor de agua y la chapa está colocada por el lado frío del aislante.

Fig. 28 Condensación en fachada  
(Fuente: [www.construmatica.com](http://www.construmatica.com))

En los paneles simples de fachada, en los que el aislamiento no va adherido desde fábrica, puede producirse un efecto de condensación en el dorso del panel.



Si el clima es frío y el aislamiento térmico que se coloca en obra no es poro cerrado o quedan juntas abiertas en su despiece, que no impiden el paso del vapor de agua se aconseja colocar en obra aislantes con barrera de vapor incorporada.

Fig. 29 Esquemas de comportamiento en estación fría y estación cálida.  
(Fuente: [www.construmatica.com](http://www.construmatica.com))

Los paneles *sándwich* aislantes no presentan este problema gracias a la chapa metálica del lado interior del panel, que también funciona como corte de vapor pero está colocada del lado caliente del aislante y, por tanto, su temperatura estará próxima a la del ambiente interior.

La colocación del panel *sándwich* en el lado exterior del cerramiento aleja en gran medida el riesgo de condensación en el conjunto de la fachada. Las chapas metálicas impiden la difusión del vapor de agua hacia el exterior.

Fig. 30 Esquema de montaje de paneles en la fachada ventilada.  
(Fuente: [www.construmatica.com](http://www.construmatica.com))



### 2.5.5.3.- Dilatación térmica.

Las chapas metálicas de fachada llegan a estar expuestas a variaciones diarias de temperatura del orden de 50°C en colores claros y hasta 70°C en los oscuros.

En la tabla siguiente, se indican los coeficientes de dilatación de los materiales más empleados en la construcción de paneles de fachadas ligeras.

COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA		$\Delta 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	mm/m para $\Delta t=100^{\circ}\text{C}$
<b>Madera</b>	Madera bakelizada	3	0'3
<b>Cemento</b>	Fibrocemento	8	0'8 – 1
	Natruvex	10	1
<b>Metales</b>	Acero dulce	12'1	1'21
	Acero inoxidable	16'3 – 17'3	1'63 – 1'73
	Aluminio	23'5	2'35
	Cinc	36	1'6 – 2'2
	Cobre	16'9	1'69
<b>Composite</b>	Aluminio – Polietileno – Aluminio	24	2'4
	Resina con fibra de celulosa	24	2'4
<b>Plásticos</b>	GRP Poliéster reforzado	18 – 25	1'8 – 2'5
	Policarbonato	65	6'5
	Poliestireno expandido	50 – 70	5 – 7
	Polietileno	110 – 200	11 – 20
	Poliuretano (espuma rígida)	20 – 70	2 – 7
	PVDF	120	12
	PVC rígido	42 – 72	4'1 – 7'2

Fig. 31 Cuadro de coeficientes de dilatación térmica

### 2.5.5.4.- Aislamiento acústico.

El nivel de atenuación acústica de los cerramientos ligeros es uno de sus puntos débiles, ya que precinden de la masa como mecanismo eficaz para reducir la transmisión de ruidos a través del cerramiento. El nivel de aislamiento (reducción o atenuación acústica) de los paneles ligeros simples de fachada no es muy alto: suele estar en torno a 28 dB a 1000 Hz y solo se puede mejorar incorporando materiales más densos o aislamiento acústico específico, como un trasdosado de lana mineral o fibra de vidrio, con el que es posible alcanzar un valor de 36 dB.

Algunas referencias de los materiales empleados en la fabricación de paneles son:

- Acero (1'6 mm):  $R_w = 28 \text{ dB}$
- Aluminio (1'6 mm):  $R_w = 18 \text{ dB}$
- Fibrocemento (6 mm):  $R_w = 25 \text{ dB}$
- Fibrocemento (9 mm):  $R_w = 30 \text{ dB}$
- Placas composite (4 mm):  $R_w = 25 \text{ dB}$

La estrategia para aumentar el aislamiento acústico de los cerramientos ligeros de fachada pasa por una de las dos soluciones siguientes:

- Trasdosar la hoja exterior ligera con un muro interior grueso, que aporte la masa suficiente para conseguir el aislamiento acústico necesario. Puede bastar con un muro de pie de ladrillo perforado o de 19 cm de bloque de hormigón.
- Trasdosar la hoja exterior ligera con un tabique interior ligero de paneles *sándwich* con núcleo de lana mineral entre placas de cartón-yeso o madera. La solución se basa en el principio de amortiguación por "masa-resorte-masa".

Todo ello se construye con trasdosados interiores ligeros (tableros de cartón, yeso, celulosa, madera, etc.) y capas de aislamiento acústico específico, a partir de lana mineral (fibra de vidrio o lana de roca).

En la fabricación de los propios paneles se puede mejorar el aislamiento acústico – sobre todo en el caso de requerir un mayor índice de atenuación acústica a bajas frecuencias – incorporando capas de lana mineral de alta densidad y tableros de fibrocemento o de fibra de madera de alta densidad (DM).

Cuestión aparte del aislamiento acústico es el ruido que puedan producir los propios paneles de una fachada metálica por vibraciones bajo viento o por dilatación térmica, que se manifiestan en los puntos de anclaje. En ambos casos, el mayor riesgo lo ofrecen las fijaciones de los paneles de bandeja, que deben ir provistas de arandelas o clips de plástico para evitar la holgura entre metales; en el caso de los anclajes atornillados, el ruido producido por dilatación también se podrá reducir utilizando algún tipo de “patín” de polietileno o PVC que permita a los paneles de gran longitud deslizar respecto a los anclajes en su propio plano.

#### 2.5.5.5.- Comportamiento mecánico.

Desde el punto de vista de la inercia resistente, se pueden distinguir los paneles simples – en los que el material aislante y el acabado interior no colaboran en la resistencia a flexión del panel exterior – y los paneles compuestos, donde sí se produce esa colaboración gracias a la adherencia entre las distintas capas, que asegura la resistencia a esfuerzo rasante.

Como en este caso se consigue una sección compuesta en la que las dos chapas metálicas colaboran en tracción o compresión a resistir los esfuerzos de flexión, se consigue una sección con mucha más inercia, siempre que se mantenga, como se ha dicho, la adherencia entre metal y aislante frente a esfuerzos rasantes.

- a) Acción de viento: La succión ocasionada por el viento puede comprometer mucho más que la presión directa la estabilidad de los paneles y sus anclajes.

No sólo hay succión en la fachada a sotavento sino también en las fachadas laterales en las zonas próximas a las esquinas. Los sistemas de fijación desmontables (como clips y pinzas de cuelgue) no siempre garantizan que el panel no empiece a vibrar por cambios rápidos de presión a succión, que se traducirán en molestos ruidos metálicos entre el panel y su montaje.

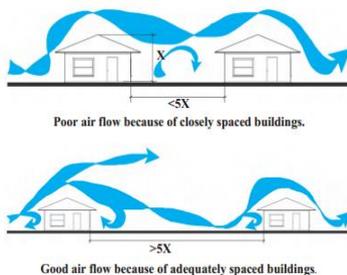
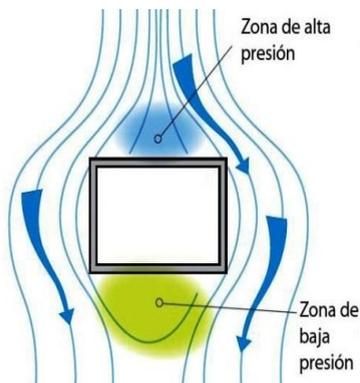


Fig. 32 Efectos de la presión generada por el viento.  
(Fuente: [www.gramaconsultores.wordpress.com](http://www.gramaconsultores.wordpress.com))

- b) Resistencia: La resistencia a impacto tiene relevancia en el comportamiento del cerramiento ligero a nivel de la calle, por lo que se recomienda consultar siempre las tablas de cada fabricante sobre sus valores de servicio.
- c) Deformación: Dado que la deformación de flecha prevalece casi siempre sobre la resistencia, el valor que se elija para aquella afecta mucho al diseño y al comportamiento final de los paneles. Éstos se pueden calcular para flechas máximas de  $L/100$  ó  $L/200$ .

### 2.5.5.6.- Comportamiento frente al fuego.

La fachada de un edificio no debe cumplir un alto nivel de exigencia en su resistencia al fuego, salvo en aquéllas bandas - normalmente un metro de anchura - que de acuerdo con la norma de incendios deben ofrecer un grado de resistencia a fuego RF equiparable al que se exige a paredes o forjados de separación entre sectores de incendio. En el caso de las fachadas, esa resistencia resulta exigible a lo largo de las líneas de medianería con edificios colindantes y a lo largo de forjados de separación entre sectores de incendio superpuestos en vertical.

La estrategia normal para resolver este grado mayor de exigencia sin variar el aspecto de la fachada en esas bandas suele ser la de trasdosar las placas o paneles exteriores con capas que ofrezcan dicha resistencia a fuego, tales como aislantes específicos (tipo *Promatec* de Uralita) o trasdosados interiores de fábrica. Cuando se disponen cámaras de aire ventiladas entre los paneles exteriores y la hoja de trasdós interior, hay que prever en el proyecto – diseñar la sección constructiva – que el incendio no se pueda propagar de un sector a otro a través de la cámara; ello no sucederá si la hoja interior tiene resistencia RF, pero las llamas y el humo pueden acceder al interior de la cámara a través de la embocadura de los huecos – dinteles, jambas y alféizares – por ello, la solución que se adopte para la hoja interior debe extenderse también a la embocadura de los huecos. Otra solución puede ser compartimentar las cámaras de aire de la fachada a lo largo de dichas bandas.

### 2.5.5.7.- Durabilidad.

El principal problema es el de la corrosión en los paneles metálicos o el de las variaciones de aspecto de los paneles de GRC (mortero reforzado con fibra de vidrio). Algunos técnicos valoran la diferencia entre chapa de aluminio y chapa de acero, en la que ésta última queda expuesta a oxidación en el espesor de las chapas cortadas (donde el material queda sin protección).

### 3.- Uso del Vidrio.

“La mayoría de nosotros vivimos en habitaciones cerradas. Ese es el ambiente en el que se desarrolla nuestra cultura. Nuestra cultura es el producto de nuestra arquitectura. Si queremos elevar el nivel de nuestra cultura hasta su cuota más alta, estamos obligados, para bien o para mal, a cambiar nuestra arquitectura. Y esto será solamente posible si ponemos fin al carácter cerrado de los espacios en que vivimos. Pero esto sólo lo podremos hacer por medio de la introducción de la arquitectura de cristal, que dejará entrar en nuestras viviendas la luz del sol y la luz de la luna y de las estrellas, no por un par de ventanas solamente, sino, simultáneamente, por el mayor número posible de paredes completamente acristaladas.

El nuevo ambiente que creemos cambiará completamente la humanidad.”

*(P. Scheerbart. Arquitectura de cristal, 1914)*

Si estilísticamente podríamos definir la arquitectura moderna con los términos “objetividad”, “abstracción” y “autenticidad”, constructivamente y en cuanto a los materiales, la tendríamos que definir por el hormigón armado, el acero y el vidrio.

Es difícil explicar el atractivo del vidrio, parece operar sobre el espíritu humano casi como una obsesión. Si obedeciese a un único motivo, tendríamos que decir que éste es la transparencia, o dicho de otro modo, su relación con la luz. Y es que la arquitectura es luz. Como decía L. Kahn: “Silence, light. Desire to be”. Silencio, vacío, sombra; luz transparencia, espíritu; ser, consistencia, interioridad.

Piénsese en la reverberación de la luz en las catedrales góticas de occidente.

En la foto contigua podemos observar una buena muestra de esa interioridad y quietud de la que hablaba L. Kahn.

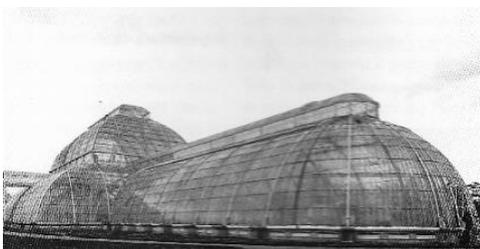


*Fig. 33 Vista interior de la Sainte-Chapelle en París (1243 – 1248). En su persecución de la luz como símbolo divino, los constructores de las catedrales góticas se convirtieron en artífices de una auténtica arquitectura de cristal.*

*(Fuente: [blog.nicolinepatricia.com](http://blog.nicolinepatricia.com))*

Pero al vidrio no sólo se le han asignado metáforas relacionadas con lo sublime y espiritual; en el siglo XIX pasó a expresar el optimismo tecnológico que subyacía en el espíritu de la arquitectura racionalista: Lo que Paxton construyó no sólo fue la demostración de un interior nuevo, sino también un nuevo símbolo de los nuevos tiempos.

Desde la lógica y la razón, surgió una belleza como antes no había sido conocida.



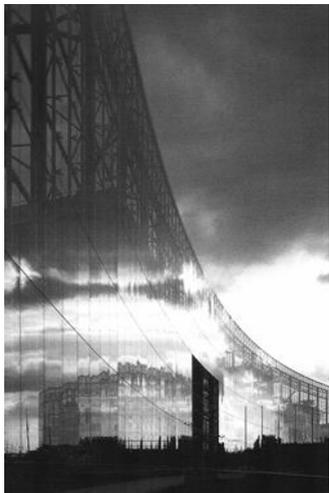
*Fig. 34 The Palm House, Royal Botanical Gardens, Kew (D. Burton y R. Turner, 1844 – 1848).*

*(Fuente: [www.culture24.org.uk](http://www.culture24.org.uk))*

En el siglo XX se convirtió además en el material idóneo para simbolizar la transparencia de las instituciones democráticas. También fue el material utilizado para manifestar el interés de la “tardo-modernidad” por el fragmento, el *collage*, la superposición y el evento.

### 3.1.- Hacia una arquitectura de vidrio.

Es comúnmente aceptado que la arquitectura moderna se formula en la década de 1920. Y si “la tarea histórica de la arquitectura ha sido dar forma a los sistemas constructivos”, como escribía Rafael Mondeo, podemos decir que la arquitectura de vidrio también se determina formalmente en esa década. Es cierto que a comienzos del siglo XX existía ya una larga tradición de grandes y pequeños edificios construidos totalmente en vidrio y en acero con una técnica exquisita, y que fueron levantados durante la segunda mitad del siglo precedente.

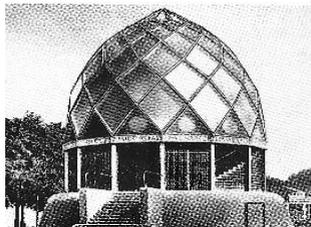


Eran las novedosas galerías urbanas cubiertas y los grandes invernaderos, construidos según los principios de Loudon: “No había vigas o nervaduras para fortalecer la cubierta excepto los bastidores habituales de hierro forjado. Esto causa preocupación, ya que el armazón de hierro se montó antes de colocar el cristal. Y el viento más ligero lo movió desde la base hasta la coronación...tan pronto como se puso el cristal, se comprobó que era suficientemente resistente”.

*Fig. 35 Neven DuMont Haus (HPP Hentrich-Petschnigg Partner, 1998). Colonia. (Fuente: [www.bilderbuch-koeln.de](http://www.bilderbuch-koeln.de))*

En estos edificios el vidrio se utiliza, no para cerrar un hueco, que es como se venía utilizando hasta ese momento, sino que la idea misma de hueco es superada y el vidrio pasa a ocupar la totalidad del muro y la cubierta: “...elaborar una piel independiente de cristal. No más pared ni ventana. El muro es en sí mismo una ventana. En esta nueva disposición, el muro exterior no se hace visible mucho tiempo.

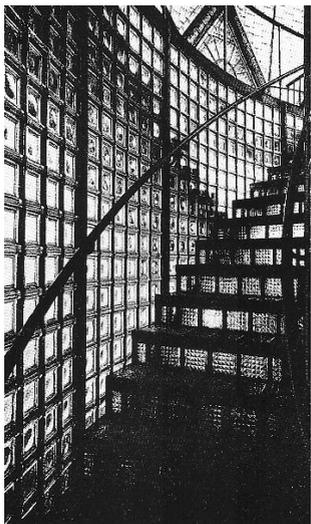
De esta forma, aparece la cualidad absolutamente única del cristal comparado con otros materiales: está y no está. Es el gran misterio de la ventana, delicada y fuerte a la vez”.



Tomemos como referencia los invernaderos, de los cuales, tanto tenemos que aprender y que han sido símbolo de ésta nueva forma de entender la arquitectura.

*Fig. 36 Cúpula del Pabellón de cristal, Bruno Taut, 1914 (Fuente: unahistori3.blogspot.com)*

La composición arquitectónica empezó desde entonces a tratar con brillos, reflejos y transparencia, en lugar de huecos, macizos, ejes y simetrías.



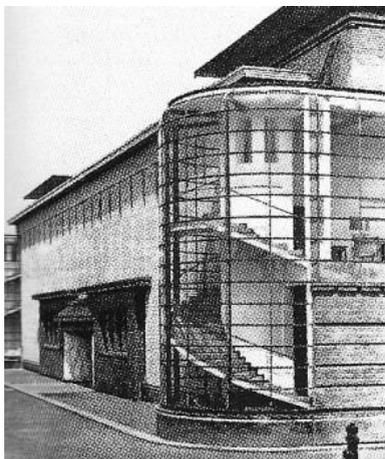
La construcción se hizo abstracta y se reinventó en un juego de sensaciones primarias no contaminadas todavía por la cultura.

Podemos citar, a modo de ejemplo, la estación de ferrocarril de St. Pancras en Londres (1865-1867), Le Palais des Machines de París (1898) o la milanesa Galería Vittorio Emmanuele (1865-1867).

*Fig. 37 El Pabellón de Cristal (Bruno Taut, 1914), con sus muros, suelos, cubierta e incluso escaleras de cristal, materializa el ideal utópico de Scheerbart. (Fuente: unahistoria3.blogspot.com)*

### 3.2.- El nuevo lenguaje del vidrio: 1914 – 1932

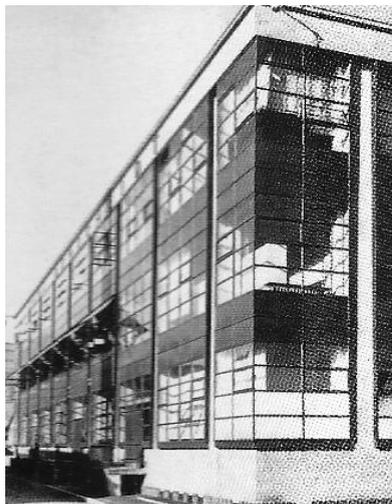
Los hitos que determinaron radicalmente la forma de la nueva arquitectura de vidrio en los veinte primeros años del siglo fueron, a nivel teórico, la publicación del libro de Scheerbart y, como realizaciones, los mencionados pabellones de Taut y Gropius en la Werkbund de Colonia, la fábrica Fagus en Alfeld-an-der-Leiner (1911/12) y la Bauhaus de Dessau (1925/26), ambos edificios de Gropius.



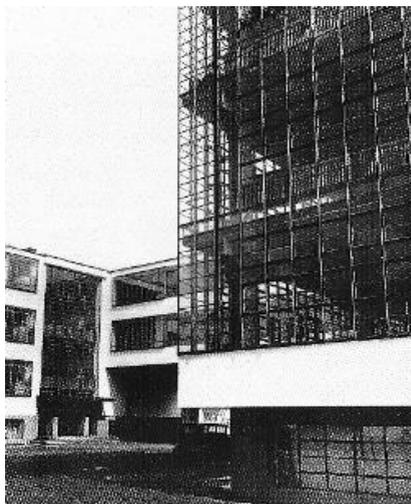
El pabellón de Taut era una construcción de planta circular construida enteramente en vidrio, salvo pequeños elementos constructivos revestidos de cerámica vidriada: la cubierta era una cúpula facetada poligonal de láminas de vidrio y muros y suelos eran de vidrio moldeado. Hacía realidad, por tanto, el ideal utópico de Scheerbart propuesto en su libro, publicado ese mismo año.

*Fig. 38 Fábrica Fagus en Alfeld-an-der-Leine (1911/12)  
(Fuente: [www.etsav.upc.edu](http://www.etsav.upc.edu))*

La fábrica Fagus y el pabellón del Werkbund en Colonia, de Gropius, con los muros de vidrio pasando limpiamente por delante de los forjados, las carpinterías sin apenas espesor, los vidrios curvados y las esquinas acristaladas – que en la arquitectura tradicional eran sólidas, resistentes y agudas – supusieron un impacto visual y tecnológico tan grande que, sin lugar a dudas, pueden ser considerados como los pioneros de la arquitectura moderna.



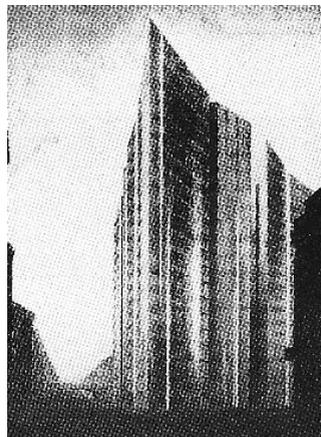
*Fig. 39 Edificio de oficinas para la exposición de la Werkbund. Colonia (1914)*

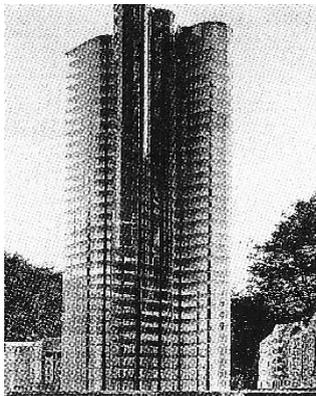


*Fig. 40 Edificio de Bauhaus. (1925 – 26)  
(Fuente: www.redalyc.org)*

Fueron el rascacielos en la Friedrichstrasse de 1919 y el rascacielos de fachada alabeada de 1920-1921. Dos proyectos que anticipan la nueva arquitectura del siglo XX y que se formalizan dentro de un contexto historicista con absoluta independencia de él. El propósito de Mies, era hacer patente la estructura de ambos edificios, lo cual genera unos problemas de reflejos que en ambos casos soluciona descomponiendo la fachada en múltiples facetas.

*Fig. 41 Rascacielos en la Friedrichstrasse (1919)  
(Fuente: es.wikiarquitectura.com)*



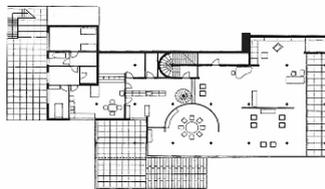
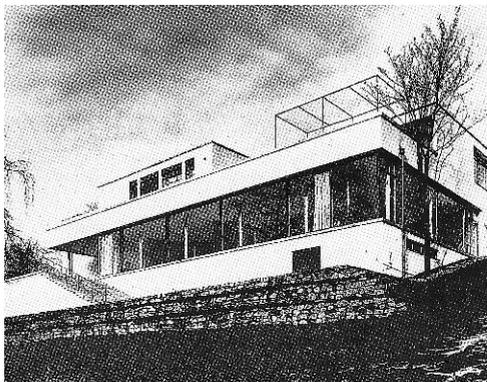


Los dibujos y las maquetas de Mies muestran unas fachadas neutras, brillantes y muy abstractas. Estaban desprovistas de los elementos arquitectónicos y decorativos de la arquitectura historicista y enteramente construidas con láminas de vidrio sin enmarcar.

*Fig. 42 Maqueta del rascacielos de cristal (1920-21)  
(Fuente: unahistoria3.blogspot.com)*

Dos propuestas más de Mies, construidas ambas, completaron la formulación de la arquitectura de vidrio en esta década. La casa Tugendhat en Brno (1928-30) y el Pabellón Alemán en Barcelona (1929)

Son dos edificios pequeños, no construidos enteramente en vidrio, pero en los que este material juega un papel arquitectónico esencial.

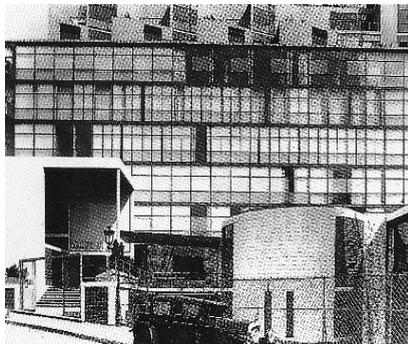


*Fig. 43 Muros enteramente de vidrio de la Casa Tugendhat en Brno (Mies van der Rohe, 1928 – 30)*

*(Fuente: unahistoria3.blogspot.com)*

Más adelante, propondría sus célebres “*brise soleil*” como elemento fundamental constructivo, imprescindible para eliminar los problemas de soleamiento de los muros de vidrio.

Fig. 44 El fracaso técnico del “mur neutralisant” que Le Corbusier incorporó a la Cité de Refuge en París (1930 – 1933), señaló los problemas del nuevo material. (Fuente: [www.redalyc.org](http://www.redalyc.org))



Le Corbusier con su fracasado intento de construir su mur neutralisant para la Cité de Refuge en París (1930-1933) – un colchón de aire entre láminas de vidrio sobre el que se proyectaba aire caliente o frío, según la estación – puso de manifiesto las dificultades técnicas con las que se encontraría el reciente elemento constructivo.

De hecho, años más tarde, con ocasión del proyecto para la sede de las Naciones Unidas en Nueva York, escribiría: “mi más firme creencia, senador, es que es insensato construir en Nueva York, donde el clima es terrible en verano, grandes superficies acristaladas que no estén equipadas con *brise soleil*. Sostengo que es peligroso, seriamente peligroso”.

Las otras experiencias constructivas que contribuyeron, de manera determinante, a formar la estética de la arquitectura de vidrio fueron: la Maison de Verre en París (1931) de P. Chaureau, la fábrica Van Nelle en Rotterdam (1927 – 1929) de Brikman, Van der Vlugt y Stam, y la Boots Pharmaceutical Factory (1930 – 1932) de O. Williams.

La obra de Chareau es una vivienda para un médico, con una pequeña consulta, construida en un patio de manzana de París.

En el fondo de la propuesta quizá se encuentre el mito, propuesto por Scherbart, de la vivienda construida enteramente en cristal, pero el edificio contiene otros registros no menos interesantes para la arquitectura moderna que había de venir.

Se hace referencia a la relación vidrio – acero y a la movilidad de los elementos constructivos. Las fábricas Van Nelle y Boots, dos edificios vinculados a un uso industrial, suponen una gran madurez en el uso del vidrio como cerramiento y el hormigón armado como estructura.



En poco más de una década se formalizado un nuevo lenguaje arquitectónico en el que el vidrio tenía un papel protagonista.

*Fig. 45 Fábrica Van Nelle. Rotterdam. (1927 – 1929)  
(Fuente: [www.artehistoria.com](http://www.artehistoria.com))*

El proceso industrial del vidrio flotado permite la fabricación de láminas de vidrio de grandes dimensiones.

No se desarrolla hasta 1957 y comercialmente no es efectivo hasta el año 1959.

*Fig. 46 Boots Pharmaceutical Factory (O. Williams, 1930 - 1932). La fachada de cristal expresa, una actitud social diferente. (Fuente: [www.gracesguide.co.uk](http://www.gracesguide.co.uk))*



### 3.3.- Características físicas del vidrio. Breve descripción.

Si a principio de los años treinta estaban puestas las bases formales, plásticas y estilísticas de la arquitectura de vidrio, técnicamente seguía fabricándose casi como en el siglo pasado. Bien es verdad que tampoco se había investigado demasiado acerca de la permeabilidad del vidrio a las radiaciones solares, la radicación de los cuerpos a bajas temperaturas, la transmisividad térmica, etc.

Su comportamiento es anómalo o poco frecuente ya que, alcanzado su punto de fusión y al ser enfriado lentamente, no solidifica formando cristales.

La energía relativa contenida para cada tramo del espectro es: 3% UV, 53% VIS y 44% IR.

Una lámina de vidrio puede reflejar, radiar o absorber las radiaciones solares.

En un vidrio flotado claro, la reflexión no supera el 10% y depende, siempre, del ángulo de incidencia de los rayos sobre la superficie. El vidrio es casi transparente a las radiaciones VIS e IR y casi opaco a la radiación UV. También es opaco a las radiaciones de longitud de onda superior a los 5.000 nm, que son absorbidas en su totalidad y que son las que emiten los cuerpos calientes.

### 3.4.- El vidrio soplado.

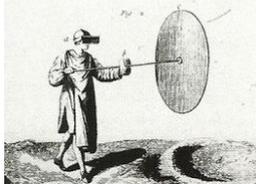
El vidrio se conoce desde hace unos 4.000 años. Se conservan recipientes egipcios, modelados en vidrio, anteriores al 1500 a.C.

En Oriente Medio, mediante el procedimiento conocido como “corona de vidrio” se fabricaban pequeñas piezas de vidrio plano antes del año 600.



Este sistema, conocido en el ámbito de la Europa septentrional como “corona normanda”, se trataba en

hacer rotar una burbuja de vidrio soplado hasta lograr un disco de vidrio de pocos milímetros de espesor.



Este vidrio no tenía demasiada calidad pues su espesor no era uniforme y el cuerpo de la corona aparecía surcado por uno círculos concéntricos producidos por la rotación.

*Fig. 47 Procedimiento de fabricación del vidrio conocido como “corona de vidrio”  
(Fuente: [www.vilssa.com](http://www.vilssa.com))*

Otro procedimiento con el que se lograron fabricar cristales de mayor tamaño, utilizando también técnicas de soplado y giratorias, es el conocido como el método del cilindro de vidrio soplado, perfectamente descrito por un monje alemán a mediados del siglo XII y utilizado desde antes del año 1000. Consistía en obtener una burbuja de vidrio de un tamaño razonablemente grande que se volteaba hasta conseguir una vasija alargada; se eliminaban los extremos quedando un cilindro perfecto. Ésta se cortaba longitudinalmente, después de recalentarlo, siguiendo una generatriz, y se extendía sobre una superficie plana.

*([legadonazari.blogspot.com](http://legadonazari.blogspot.com))*

Los vidrios obtenidos eran de mayor tamaño que los conseguidos fabricando discos por rotación, pero su superficie era menos brillante y sus caras más irregulares. Hacia 1830 el tamaño del cilindro no superaba 180 cm de largo y los 50 cm de diámetro y no se podían obtener vidrios de más de 1'5 m<sup>2</sup> de superficie.

Alrededor de 1670 se desarrolló en Francia un método revolucionario con el que se logró fabricar láminas mayores (75 cm x 24'5 cm), razonablemente gruesas – quizá excesivamente pesadas – con las superficies muy planas, aunque un poco menos brillantes que las de los vidrios obtenidos por rotación.

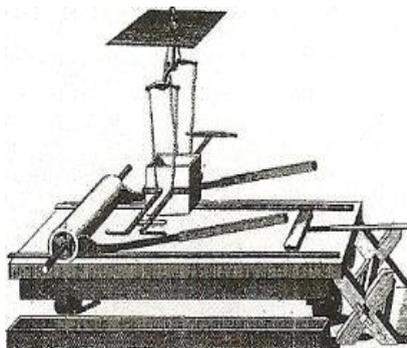


Fig. 48 Método revolucionario de fabricación  
(Fuente: [www.vilssa.com](http://www.vilssa.com))

El proceso seguido consistía en fundir vidrio, verterlo sobre un molde y aplastarlo con un rodillo metálico. Luego se recalentaba de nuevo en un horno, se enfriaba durante veinticuatro horas y posteriormente se pulía con una rueda giratoria a la que se habían adherido pequeñas piezas de vidrio, utilizando como abrasivo arena de cuarzo de granos progresivamente más finos.

Durante el siglo XIX se perfeccionaron sobre todo las técnicas de pulido, al mecanizarse este proceso.

El comienzo del siglo XX supone la mecanización del proceso de fabricación de cilindros de cristal, ideado por J. Lubber en 1896, con el que podían obtener cilindros de unos 9 m de largo y 60 cm de diámetro.

### 3.5.- Vidrio laminado y vidrio templado.

En 1904 Fourcault y en 1905 Colburn patentaron el proceso de fabricación de vidrio laminado por rodillos metálicos. Era un proceso continuo que solo se veía interrumpido por la necesidad, demasiado frecuente al principio, de limpiar las adherencias cristalinas sobre los rodillos que dañaban la superficie de la lámina. El tamaño del vidrio dejó de ser un problema en cuanto a su longitud – venía limitado por problemas de manipulación, transporte y montaje – y en cuanto a su anchura se alcanzaron los 230 cm. Por otro lado se limitó en gran medida el peso – problema de las grandes láminas moldeadas – al poder reducir el espesor. La Ford Motor Company, con su sistema de producción en serie, contribuyó decisivamente al proceso ininterrumpido de alimentación, laminado y pulido del vidrio, al perfeccionar los sistemas existentes para la fabricación de los cristales de sus automóviles. Más adelante se adaptó este sistema a la producción de vidrios de mayores dimensiones.



*Fig. 49 Museo del vidrio en Kingswinford, Reino Unido (Design Antenna 1994)  
(Fuente: teoriadeconstruccion.net)*

La lámina de vidrio así obtenida tiene una resistencia de tres a cinco veces mayor que una de las mismas características sin templar y, si se rompe, lo hace en trozos de cristal redondeados y de pequeñas dimensiones. En contrapartida el vidrio templado no se puede cortar, pulir ni perforar.

El vidrio laminado por rodillos y el templado, fueron los que hicieron posible la nueva arquitectura de vidrio planteada ya en la década de los veinte.

### 3.6.- Vidrio tintado (años cincuenta).

La década de los cincuenta se caracterizó por el auge de los grandes edificios que con sus fachadas de vidrio tintado poblaron el *downtown* de todas las ciudades americanas y de las europeas más activas comercialmente. Era un momento de fuerte expansión económica y de gran optimismo, comercial y tecnológico.



Los protagonistas de este periodo son, indiscutiblemente, SOM y Mies van der Rohe, cuyas realizaciones se convertirían en arquetipos: la Lever House en Nueva York (1950 – 1952) de SOM, con vidrios tintados en verde y carpintería metálica de acero inoxidable; y el Seagram en Nueva York (1956 – 1958) de Mies, con vidrios tintados en bronce y toda la carpintería metálica exterior en bronce también para acentuar la unidad cromática del prisma.

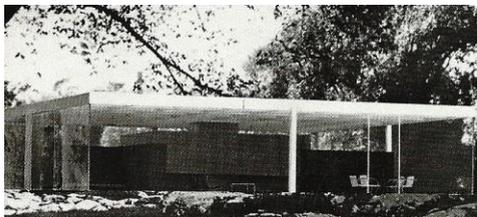
Fig. 50 Lever House (SOM 1950 – 1952)  
(Fuente: [www.som.com](http://www.som.com))

El tintado de los vidrios es muy fácil de realizar. Supone la adición de óxidos metálicos a la composición del vidrio corriente que, sustancialmente, es:  $\text{SiO}_2$  (71-75%),  $\text{CaO}$  (10-15%),  $\text{NaO}_2$  (12-16%) y aluminio, óxido de hierro y óxido magnésico (3%).

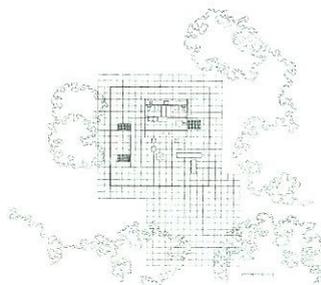
Para caracterizar por completo la arquitectura de vidrio de ésta década, no se pueden dejar de mencionar la casa Farnsworth (1946 – 1951) y el prototipo de casa 50x50 (1950 – 1951) de Mies van der Rohe, que ponen de manifiesto que los grandes paños de vidrio no son propios y exclusivos de los grandes edificios que albergan las instituciones mercantiles.



*Fig. 51 Seagram (Mies van der Rohe, (1956 - 58)  
(Fuente: [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl))*



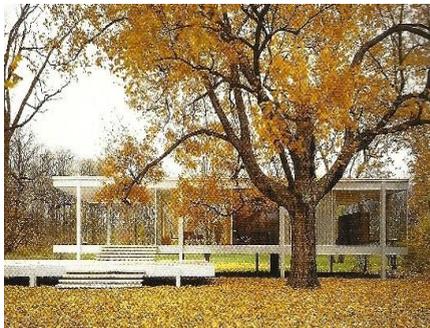
*Fig. 52 Maqueta/planta del proyecto de Casa 50x50  
(Fuente: [cavicaplace.com](http://cavicaplace.com))*



Con la casa Resor, de 1938, Mies van der Rohe ya había comenzado la experimentación sobre espacios acristalados que concretaría de manera determinante en la Casa Farnsworth, donde se crea un nuevo espacio basado planos horizontales sustentados por unos ligeros pilares metálicos, utilizando como cerramiento perimetral exclusivamente el vidrio.

Estas experiencias continuaron con el proyecto, nunca realizado, de modelo de viviendas 50x50 donde la sensación inmaterial se acentuaba mediante el recurso estructural de sustentar la planta cuadrada con cuatro pilares exteriores situados en el centro de cada una de las fachadas, dejando libres las esquinas.

El proyecto definía lo que sería el prototipo ideal de la vivienda americana, en la que el vidrio es el elemento esencial que enfatiza valores como la abstracción y la flexibilidad funcional.



*Fig. 53 La Casa Farnsworth*  
(Fuente: [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl))

### 3.7.- La servidumbre de la transparencia.

Estas primeras arquitecturas de vidrio evidencian los problemas técnicos y arquitectónicos de este material, tanto en pequeñas viviendas como en grandes edificios de oficinas. La radiación solar con entrada masiva de luz y calor y la falta de aislamiento térmico y acústico, serán los sempiternos contratiempos técnicos y compositivos que nos acompañarán en esta arquitectura.

### 3.8.- La radiación solar y el efecto invernadero.

Hemos visto, en las cajas de Mies, que la cualidad más significativa del vidrio es su transparencia. La estructura amorfa permite el paso de la luz y la energía sin dispersarlas.



Pero ya adelantábamos en el breve apartado que se ha dedicado a explicar las características técnicas del vidrio, el problema del efecto invernadero, como podemos deducir de la fotografía contigua.

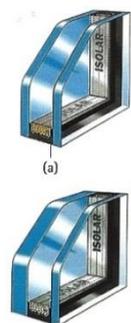
*Fig. 54 Atrio de la Fundación Ford en Nueva York (Roche y Dinkeloo, 1967). El efecto invernadero puede usarse también como un método eficaz de ahorro energético. (Fuente: catalogo.artium.org)*

### 3.9.- La falta de aislamiento térmico.

Viviendas como la casa Farnsworth pusieron de manifiesto la falta de aislamiento térmico del vidrio ( $1'16 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$ ), con fuertes pérdidas de calor, sensación de “pared fría” y condensaciones. Las pérdidas de calor se producen por tres procesos diferentes: conducción, radiación y convección. Los intentos de paliar este problema fueron planteados por Le Corbusier con “*le mur neutralisant*”, precursor de algunas soluciones actuales.

### 3.10.- El aislamiento acústico.

La contaminación acústica de las ciudades afecta cada vez más a las personas, tanto en sus lugares de trabajo como en la vivienda. Edificios como el Leve o el Seagram en el centro de Nueva York sufren este problema. Los acristalamientos de paneles finos de vidrio, pese a su densidad, no son el mejor sistema para obtener niveles de confort acústico aceptables. Además, la consubstancial oposición entre aislamiento acústico y térmico también se presenta en los acristalamientos.



Mientras las cámaras de aire de hasta 20 mm mejoran el comportamiento térmico, empeoran el acústico que necesitan espesores mucho mayores (100 mm), con problemas de convección. La manera de mejorar ambos pasa por utilizar vidrios laminares de distintos espesores, incluso inclinaciones, dentro de acristalamientos de grandes cámaras con ventilación forzada.

*Fig. 55 Configuración de acristalamientos. Aislamiento térmico en la parte superior y acústico en la inferior.*  
(Fuente: [www.vidrihogar.es](http://www.vidrihogar.es))

### 3.11.- Los aspectos visuales del vidrio.

El uso de este material plantea no pocas particularidades visuales. Los reflejos y el tono verdoso son los más destacados, sin olvidarse de las aberraciones ópticas de los grandes paños, aspectos difíciles de evitar por el contenido residual de óxido de hierro en la composición de la masa de vidrio y por la propia superficie pulida de éste.

Los reflejos producen curiosas visiones cambiantes, de brillo y colorido, que pueden llegar a malograr la anhelada transparencia y el fluir entre el espacio exterior e interior.



*Fig. 56 Café Bravo en Berlín (Nalbach y Nalbach 1999)*

*(Fuente: [www.shift.jp.org](http://www.shift.jp.org))*

Como también puede hacerlo la tonalidad verdosa del vidrio, que se hace patente, sobre todo, en los acristalamientos de gran espesor o en los contrapuestos, en esquina, como los propuestos para la casa 50x50.

### 3.12.- La resistencia mecánica.

Aunque en estas primeras obras que se han comentado, la resistencia mecánica del vidrio no se planteó como un problema de trascendencia, las posteriores realizaciones de fachadas auto-portantes merecen un breve comentario. El vidrio tiene una elevada resistencia a compresión, pero es frágil, quebradizo y sobre todo impredecible. En su comportamiento hay que tener en cuenta dos aspectos sobresalientes: la dilatación térmica y la rotura por choque térmico.

La rotura por choque térmico manifiesta la fragilidad del vidrio para soportar cambios bruscos de temperatura o aceptar zonas a diferente temperatura (variaciones de  $\pm 25^{\circ}\text{C}$ ) en su superficie, sin romper. Este aspecto es determinante en los vidrios de control solar que se calientan al absorber la radiación solar.



Estas bajas prestaciones resistentes son remediadas con procesos de templado, comentado anteriormente.

Es esencial colocar un material flexible y deformable, que absorba y reparta los esfuerzos en los puntos de contacto.

*Fig. 57 Sede de Oracle en Reading (Brownrigg y Turner).  
(Fuente: [www.hammerson.com](http://www.hammerson.com))*

### 3.13.- El procedimiento de flotado.

En 1952 A. Pilkington comenzó a experimentar con la idea de una lámina de metal fundido como lecho de la masa de vidrio fundido durante su fabricación. Esto permitía que las dos superficies fueran perfectamente planas, el espesor absolutamente uniforme, y estuviesen muy bien acabadas.

La idea resultó feliz y el espacio de tiempo que media desde este momento hasta 1959, año en el que comienza a ser comercializado el vidrio flotado, se empleó en el perfeccionamiento y ajuste técnico de cuestiones como la elección de un metal adecuado que a la postre fue el estaño, con un punto de fusión bajo ( $232^{\circ}\text{C}$ ), más denso que el vidrio y con la pertinente tensión superficial en fase líquida. Los rendimientos con este sistema de fabricación, desde el punto de vista de la producción, son altísimos (unos 15m por minuto y  $500.000\text{ m}^2$  por semana), y la calidad es excepcional. Actualmente, casi el 100% del vidrio producido mundialmente es vidrio flotado.

A la potencia productiva del sistema de flotado, su producción continua y calidad, se contraponía su la falta de flexibilidad para modificar la composición de la masa fundida, por lo que al imponerse el sistema, vidrios especiales como los tintados, vieron como disminuía su demanda al no poder competir en precios, pese a tener mayor flexibilidad en su fabricación.

Otros motivos se sumaron a la necesidad de eficacia productiva precipitando la desaparición de los vidrios tintados fabricados por laminación. Su utilización como acristalamiento de locales profundos, y en latitudes muy al norte, producía escasamente iluminados en invierno, por lo que surgía la necesidad de potenciar la iluminación artificial. Esto conlleva un recalentamiento no deseado y la consiguiente necesidad de refrigeración. Un recalentamiento que se trataba de evitar, precisamente, con los vidrios absorbentes. Sobregasto energético en definitiva y falta de confort térmico. También dificultaba su uso la complejidad que suponía entonar un vidrio tintado repuesto con la fachada existente, al ser de diferentes tintadas.

La imposición del sistema de flotado ha dado lugar a hechos sorprendentes como la fabricación con métodos artesanales del vidrio utilizado en la aplicación del Louvre (1988) de I.M. Pei.

El deseo de lograr un vidrio totalmente transparente para materializar las pirámides que daban acceso e iluminaban la ampliación del museo bajo la Cour de Napoleón, como una serie de elementos cristalinos y abstractos que acentuasen lo inmaterial de las formas propuestas como respeto al entorno histórico circundante, forzó la fabricación manual de un vidrio extra-claro (en Lancashire con máquinas antiguas), de bajo contenido en óxido metálico.



Se completó la solución con un tratamiento superficial antirreflejo a doble cara, totalmente necesario para la transparencia, permitiendo pasar de una reflexión de 0'09 a 0'02.

*Fig. 58 Pirámide del Louvre (I.M. Pei y Rice Francis Ritchie, 1988)  
(Fuente: expansión.mx)*

### 3.14.- Soluciones técnicas para vidrio.

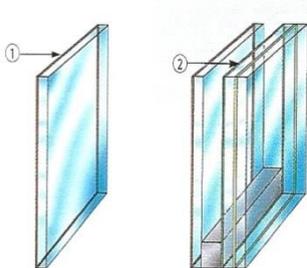
En los primeros pasos que se dan para la fabricación del vidrio, ya se le da aplicación a ciertos tratamientos de manera superficial.

Los principales tratamientos que afectan al comportamiento solar o térmico tanto a nivel de transmisión como de radiación, son las láminas pegadas, los vidrios tratados con ácido, el chorro de arena y los vidrios impresos.



*Fig. 59 Viviendas en París (Francis Soler, 1997).  
(Fuente: es.wikiarquitectura.com)*

### 3.14.1.- Revestimientos duros.

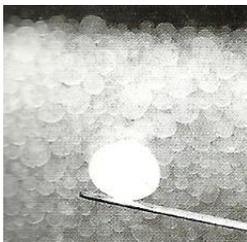


Son aplicados durante la fabricación (online). El material de revestimiento se deposita sobre la lámina de vidrio cuando está a una temperatura de 600°C, se inflama (tratamiento por pirolisis) y genera una capa delgada de 100 – 400 nm, pudiendo usarse por tanto en acristalamientos simples, resistente química y físicamente.

Fig. 60 Cristal simple y doble (Fuente: [www.vidrioperfil.com](http://www.vidrioperfil.com))

### 3.14.2.- Revestimientos blandos.

Son aplicados después de la fabricación (offline). La ventaja de estos métodos radica en la independencia de los procesos de fabricación y tratamiento del vidrio. La aplicación se realiza por diversos métodos como la inmersión en un baño o la decantación química o física de un vapor, permitiendo depositar también capas orgánicas.



Estas capas son, bien películas reflexivas o selectoras de la luz según el ángulo de incidencia o bien capas cuyas propiedades físicas pueden ser variadas activamente como es el caso de las capas termo-trópicas.

Fig. 61 Uso de polímeros en capas termo-trópicas. (Fuente: [es.slideshare.net](http://es.slideshare.net))

([www.vidrioperfil.com](http://www.vidrioperfil.com))

### 3.15.- Vidrios y acristalamientos de uso específico.

Existen diversos tipos de vidrios, en función del uso al que vayan destinados, cada uno con sus características propias.

#### 3.15.1.- Vidrios de seguridad.



El uso más frecuente de los vidrios laminares lo encontramos en las lunas de seguridad. Combinando distintos espesores obtendremos resistencia a golpes o impacto de proyectiles, sin que salten esquirlas o el vidrio caiga, gracias a la unión de plástico (PVB) o resinas. Se aplica en protecciones antirrobo de bancos y en vidrios de lucernarios o grandes acristalamientos.

*Fig. 62 Vidrio laminar.  
(Fuente: [www.sividrios.com.ar](http://www.sividrios.com.ar))*

#### 3.15.2.- Vidrios de control solar.

En el mercado existen vidrios de distinto factor solar obtenidos mediante tratamiento selectivo angular o depósitos metálicos.

La deposición de óxidos metálicos permite obtener acristalamientos de baja emisividad (Low – E) que transmiten la luz visible y en cambio tienen un elevado índice de reflexión de la gama de infrarrojos de onda larga.

*([www.unne.edu.ar](http://www.unne.edu.ar))*

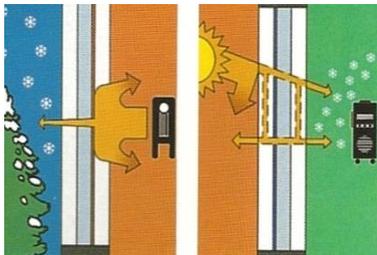


Fig. 63 Los revestimientos de baja emisividad, o low-E, transmiten la luz visible pero tienen un elevado índice de reflexión de la gama de infrarrojos de onda larga, con lo cual, reducen significativamente las pérdidas de calor hacia el exterior. Las cajas metálicas permiten reflejar luz y energía solar, en mayor grado si se colocan en la cara externa.

(Fuente: [durabuiltwindows.com](http://durabuiltwindows.com))

La búsqueda de sistemas adaptables menos tecnológicos que los anteriores, ha llevado a la introducción dentro de la cámara de elementos regulables de sombreado, recuperando la idea de la persiana, o ideando sistemas más sofisticados como es el oscurecimiento por medio de bolitas de poliestireno.

Los problemas surgen por las averías de los sistemas de accionamiento de los propios “oscurecedores” o por el excesivo recalentamiento de la cámara.

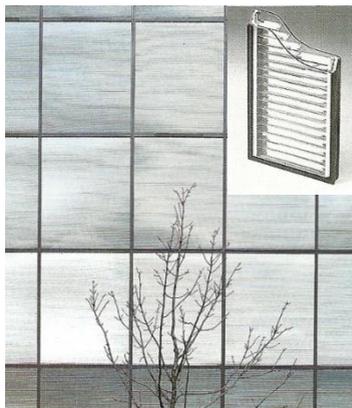


Fig. 64 Centro de desarrollo en Ingolstadt (Fink y Jocher, 1999).

Las lamas incluidas en un doble acristalamiento son un método eficaz para controlar el paso de la luz. Pueden ser móviles o fijas, en cuyo caso se diseñan para reflejar o permitir el paso de los rayos solares según su ángulo de incidencia.

(Fuente: [www.tectonica-online.com](http://www.tectonica-online.com))

### 3.15.3.- Vidrios aislantes.

El fundamento de las soluciones actuales radica en el uso de cámaras, de entre 6 y 20 mm, interpuestas entre dos paneles de vidrio. La cámara aislante, normalmente rellena de aire deshidratado con un factor de conducción muy bajo, puede mejorar aún más su comportamiento con la incorporación de gases, láminas o geles.



Los gases inertes como el argón, el xenón o el criptón reducen todavía más el factor de conducción y dificultan la convección.

*Fig. 65 Edificio experimental. Nürnberg (Matthias Loebermann, 1998).*

*La estructura capilar, perpendicular a las hojas de vidrio, aprovecha la capacidad aislante del aire y la reflexión de los rayos solares en los tubos. La difusión de la luz permite una iluminación interior homogénea.*

*(Fuente: [www.tectonica-online.com](http://www.tectonica-online.com))*

En la Biblioteca Nacional de Francia, de Perrault (París, 1995), se optó por “ventilar la cámara” poniendo en práctica la idea de Le Corbusier de *le mur neutralisant* : un colchón de 70 mm envuelve al edificio y por él circula aire deshidratado con un sistema de compensación de presiones de viento.

Los últimos avances buscan rellenar la cámara con materiales traslúcidos aislantes, entre ellos el vidrio acrílico, el policarbonato o la espuma de cuarzo.

*([www.unne.edu.ar](http://www.unne.edu.ar))*

### 3.15.4.- Vidrios de comportamiento óptico modificado.

En este capítulo se incluyen las soluciones de tratamientos decorativos: los vidrios dicroicos -que descomponen la luz con singulares resultados- los vidrios contratamiento de espejo frío –que reflejan la luz visible y permiten el paso de los infrarrojos- o los vidrios esmaltados –que han sido utilizados en los últimos años, principalmente en el campo de la imagen corporativa, con resultados sorprendentes-.

### 3.15.5.- Vidrios resistentes al fuego.

Las fuertes dilataciones térmicas del vidrio y su fragilidad, combinadas, provocan un mal comportamiento ante el fuego. Las exigentes normativas actuales y el uso masivo de este material han obligado al desarrollo de acristalamientos especiales, en los que se plantean diferentes soluciones como, por ejemplo, la introducción de armadura en el interior (vidrio armado) para evitar su caída, aunque no la rotura del mismo ni su transmisión térmica, resultando una respuesta insuficiente. Por otra parte, otros modifican la composición química del vidrio, evitando las fuertes dilataciones térmicas; son los vidrios de borosilicato (Pyrex) de uso muy extendido para utensilios de cocina.



El gel, al contacto con el fuego, se expande y funciona como aislante. Es el utilizado en la pasarela acristalada de evacuación del edificio Lloyd's (Londres, 1982 / 86) de Sir Richard Rogers.

*Fig. 66 Interior del Edificio Lloyd's. Londres.  
(Fuente: [artchist.blogspot.com](http://artchist.blogspot.com))*

([www.unne.edu.ar](http://www.unne.edu.ar))

### 3.16.- Control climático integrado.

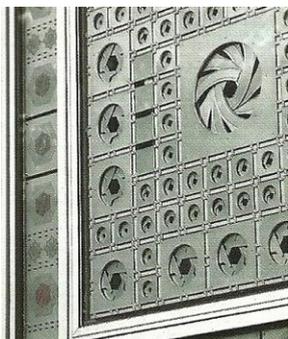


El uso de sistemas exteriores de protección solar es un buen ejemplo de un planteamiento multicapa de la fachada, en el que no hay un único elemento que solucione todos los problemas. La ampliación del IRCAM (París, 1988-1989) de Renzo Piano o la Fundación Cartier de París (1991-1994) de J. Nouvel y Cattani proponen este tipo de solución.

*Fig. 67 Fundación Cartier en París.  
Unos toldos enrollables exteriores filtran la luz.*

([www.unne.edu.ar](http://www.unne.edu.ar))

En el Instituto del Mundo Árabe en París (1981-1987) Nouvel desarrolla una “persiana” aún más compleja y singular. Otro planteamiento es el del Hotel Industrial Jean Baptiste Berlier (Dominique Perrault, 1986/90), en el que Perrault utiliza un sistema de protección solar interior que rompe el monótono ritmo de la fachada acristalada.



*Fig. 68 Imagen parte izquierda: Instituto del Mundo Árabe con cierres electro-neumáticos. Regulan la entrada de luz.*

*Fig. 69 Imagen parte derecha: Hotel Industrial Jean Baptiste Berlier con lamas horizontales, bandejas de instalaciones eléctricas y conductos de aire acondic.*

(Fuente [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl))





Una variante de este sistema son las fachadas de doble piel; aquí el vidrio sencillo se coloca al exterior, formando un vacío delante de la fachada.

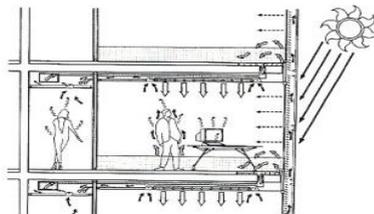
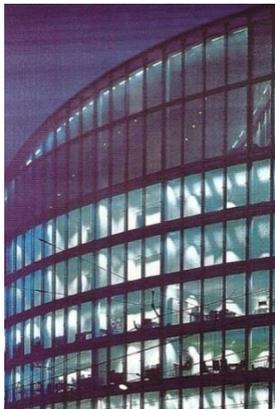


Fig. 71 Business Promotion Centre en Duisburg.

*El aire a presión (argón) que se inyecta entre las dos pieles asciende al calentarse, eliminado el calor en las lamas de aluminio perforado, y se extrae por aberturas en la cubierta.*

*(Fuente: structurae.net)*

Las mejoras conseguidas son varias:

- 1) La presión del viento disminuye permitiendo abrir las ventanas incluso en edificios en altura.
- 2) Las pérdidas de calor por convección experimentan una notable bajada.
- 3) El calor captado por los sistemas de control solar instalados en este espacio puede utilizarse mediante un intercambiador para el sistema de calefacción.

Algunos ejemplos los tenemos en los edificios de la sede de Swiss Insurance Company (1991-1993) en Basilea, de Herzog y De Meuron, o el Business Promotion Centre (1988-1992) en Duisburg, de Norman Foster, en la imagen presentada en esta misma página.

### 3.17.- El vidrio y el medio ambiente.

El progreso aporta grandes e importantes beneficios a la humanidad pero también conlleva una parte negativa como los grandes perjuicios que se ocasionan al medio ambiente, siendo la construcción uno de los sectores que contribuyen notoriamente a la degradación de la naturaleza.

Las sociedades y los gobiernos se encuentran en un proceso de mentalización demasiado largo y, quizás, algo tardío, sobre la necesidad del respeto y conservación de nuestra casa, es decir, la Tierra.

*Recuperar, Reciclar y Reutilizar, deben ser las referencias de la arquitectura actual, en este sentido, como premisas ineludibles para conseguir la sostenibilidad.*

En nuestro caso, el vidrio, supone el 7% de los residuos que tiramos diariamente siendo reciclable el 100%; después de su uso renace en una nueva “reencarnación” sin afectar al medio ambiente y generando a su vez gran ahorro de energía y de materia prima virgen, lo que implica una reducción importante de los costes, además de los beneficios socioeconómicos que implica la generación de una nueva industria.

El paso previo a todo proceso de sostenibilidad debe ser la reutilización; muchos productos de vidrio pueden volverse útiles nuevamente con un simple tratamiento de limpieza y desinfección, como en el caso de los envases y recipientes.



Fig. 72 Ciclo de vida del vidrio. (Fuente: [vidrioreciclado1.blogspot.com](http://vidrioreciclado1.blogspot.com))

El proceso de reciclado del vidrio es de una gran trascendencia debido a los grandes costos que requiere su confección, aun cuando se construya en base a materias primas baratas y abundantes en la naturaleza, tales como la arena y la cal; la extracción de estos elementos es bastante costosa y el consumo de energía en el proceso es bastante elevado.

Si no se recicla los materiales se contaminan, unos a otros, enviando el residuo directamente al vertedero. Además, se facilita la proliferación de vertederos ilegales.

Al mismo tiempo, se desaprovecha el 7% de los residuos que diariamente se producen en cada hogar.

### 3.17.1.- El vidrio y la sostenibilidad medioambiental.

La protección del medio ambiente sigue siendo una prioridad incluso para los grandes fabricantes del vidrio, lo que ha supuesto en los últimos años grandes beneficios por la introducción de mejoras en los procedimientos industriales; estos, no sólo mejoran la calidad de los productos futuros sino que han permitido que los procesos anteriores hayan sido puestos al día.

Factores que afectan al medio ambiente:

- Emisiones.
- Reciclaje del vidrio
- Uso de la energía y los recursos.

### 3.17.2.- El uso del vidrio y la conservación de la energía.

Se podría afirmar que en la relación entre el vidrio y el medio ambiente se debe considerar como “respetuosa y sin agresividad” de aquel respecto a este, fundamentada en la bondad del vidrio como material, en su reversibilidad en relación con su composición y en los avances de la ciencia y la tecnología.

### 3.18.- Normativa. Código Técnico de la Edificación (CTE)

La progresiva creciente aplicabilidad del vidrio en los campos de la investigación, la ingeniería, la arquitectura, y en los distintos sectores de la industria así como en los diversos ámbitos de la cotidianidad del hombre, hace necesaria la regulación de las condiciones y requisitos de los vidrios en relación con las exigencias funcionales que se les requiere para su idoneidad respecto al uso a que se destinen.

Las referidas regulaciones han ido plasmándose en distintos documentos y directivas (normativas), que los gobiernos y los organismos competentes van promulgando aún con ciertas lagunas y carencias y, en todo caso, con retraso. Basta recordar y contrastar en el tiempo el uso del vidrio y la aparición de las primeras “normativas” que los regulaban.

El CTE establece los criterios mínimos que deben cumplir los edificios en cuanto a exigencias de Ahorro Energético (DB-HE), Protección Anti-agresiones, Seguridad de Uso, Protección Acústica (DB-HR) y Protección del Medio Ambiente.

Las normas de referencia en España para productos de vidrio utilizados en la construcción, son las siguientes:

- Vidrio Laminado:

UNE-EN 1063 Ensayo y clasificación antibalas.

UNE-EN 356 Ensayo y clasificación al ataque manual.

UNE-EN ISO 12543 – 1 Vidrio laminado: Definición y descripción. Componentes.

UNE-EN ISO 12543 – 2 Vidrio laminado: Vidrio laminado de seguridad.

UNE-EN ISO 12543 – 3 Vidrio laminado.

UNE-EN ISO 12543 – 4 Vidrio laminado: Métodos de ensayo de durabilidad.

UNE-EN ISO 12543 – 5 Vidrio laminado: Dimensiones y acabado de bordes.

UNE-EN ISO 12543 – 6 Vidrio laminado: Aspecto.

*(ruc.udc.es)*

- Vidrio Templado/Termo-endurecido:
  - UNE-EN 12150 – 1 Temple: Definiciones.
  - UNE-EN 12150 – 2 Temple: Conformidad.
  - UNE-EN 1863 – 1 Termo-endurecido: Definición.
  - UNE-EN 1863 – 2 Termo-endurecido: Conformidad.
  - UNE-EN 14179 – 1 Heat Soak: Definición.
  - UNE-EN 14179 – 2 Heat Soak: Conformidad.
  - UNE-EN 14321 – 1 Temple vidrio alcalinotérrico: Definición.
  
- Vidrio de Capa:
  - UNE-EN 1096 – 1 Vidrios de capa: Definiciones.
  - UNE-EN 1096 – 2 Vidrios de capa: Ensayos clase A, B y S
  - UNE-EN 1096 – 3 Vidrios de capa: Ensayos clase C y D
  - UNE-EN 1096 – 4 Vidrios de capa: Evaluación conformidad.
  
- Unidad de Vidrio Aislante:
  - UNE-EN 1279 – 1 UVA: Generalidades, tolerancias dimensionales y reglas para la descripción del sistema.
  - UNE-EN 1279 – 1 UVA: Ensayo largo plazo humedad.
  - UNE-EN 1279 – 1 UVA: Ensayo largo plazo. Fuga concentración gas.
  - UNE-EN 1279 – 1 UVA: Ensayo largo plazo sellados perimetrales.
  - UNE-EN 1279 – 1 UVA: Evaluación de conformidad.
  
- Vidrio Resistente al Fuego:
  - UNE-EN 357 Clasificación de la resistencia al fuego.

### 3.18.1.- Condiciones Térmicas.

Las condiciones térmicas que debe cumplir una unidad de vidrio destinado a la construcción, están definidas en el CTE. Los valores de *transmitancia térmica (U)* máxima y *factor solar (g)* están limitados en función de la orientación solar, el acristalamiento, de la situación geográfica, de la latitud y del % de huecos en fachada. Ésta limitación debe calcularse según requiera cada situación. Los valores obtenidos se clasifican por zonas climáticas, en función del grado de severidad climática.

### 3.18.2.- Condiciones Acústicas.

Debido al crecimiento de las ciudades, los niveles acústicos se han incrementado notablemente. Por éste motivo, el vidrio, como elemento fundamental del proceso constructivo, se ha tenido que adaptar a las exigencias de aislamiento acústico. La reducción de ruido en el interior de los edificios es, cada más, una necesidad mayor; este es el motivo por el que los vidrios de aislamiento acústico son cada vez más necesarios.

### 3.18.3.- Condiciones de Seguridad.

Varios son los puntos en los que podemos desglosar este apartado, los cuales recogen las principales medidas que tenemos que tener en cuenta:

([ruc.udc.es](http://ruc.udc.es))

([www.vitalba.com](http://www.vitalba.com))

- Seguridad de uso: El CTE establece los criterios que deben cumplir los acristalamientos en cuanto a seguridad de uso, y lo clasifica según la norma UNE-EN 12600:2003 donde se especifican los niveles de protección con el objetivo de evitar accidentes.
- Seguridad ante agresiones: Para que estos vidrios cumplan su función, son sometidos ensayos de resistencia en función del grado de seguridad que se requiera, siendo la norma de aplicación al respecto, la UNE-EN 356:2001.
- Seguridad contra ataque de bala: Las prestaciones de los vidrios de protección antibala están regulados por la norma UNE-EN 1063:2001, sustituyendo ésta a la anterior norma UNE-EN 108 – 131 actualmente derogada.
- Seguridad contra explosiones: La categoría de vidrios anti-exposición está clasificada por la norma UNE-EN 13541:2001 en la que se especifican las clases de protección y los niveles de resistencia contra explosiones.

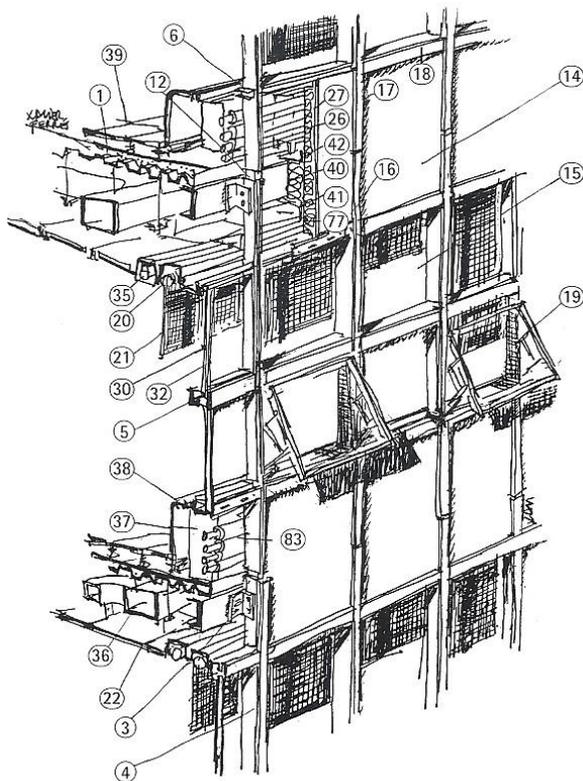
#### 3.18.4.- Condiciones de Fuego.

El CTE exige que los *sistemas parallamas (E y EW)* y *cortafuegos (EI)* cumplan los requisitos necesarios para salvaguardar la integridad de las personas ante un eventual incendio.

([ruc.udc.es](http://ruc.udc.es))

([www.vitalba.com](http://www.vitalba.com))

#### 4. Estudio y Análisis del Muro Cortina.



**La relación numérica del presente detalle y de posteriores esquemas de esta sección, se encuentra inscrita al final de la misma.**

[www.tectonica.es](http://www.tectonica.es)

Generalmente se entiende por muro cortina un **“cerramiento ligero, predominantemente de vidrio, que se ancla y cuelga -de ahí su nombre- a los sucesivos forjados de un edificio de pisos”**. El caso más característico es una fachada con elementos de altura equivalente a una planta, con retícula auto-portante metálica vinculada a los forjados, que se cierra con diferentes tipos de paneles ligeros de relleno, predominando los de vidrio.

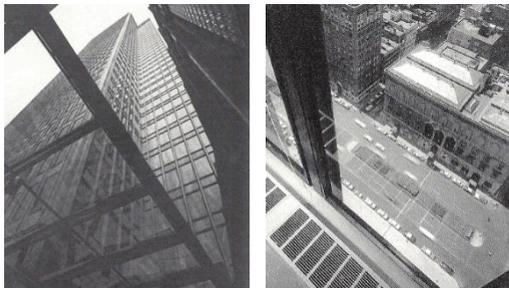
Elaborado industrialmente, con materiales ligeros, soporta la presión del viento y peso propio, transmitiendo a la estructura del edificio, a través de los anclajes, las cargas internas.

La evolución ha propiciado que, bajo la denominación de “muro cortina”, aparezcan conceptos diferenciados, siendo éstos, fachada simple fachadas de doble piel y multifuncionales.

Si lo entendemos en este sentido amplio, **“el muro cortina es la consecuencia lógica de la progresiva generalización del vidrio en la Arquitectura, y resulta ser uno de los elementos dominantes en la arquitectura moderna y contemporánea”**.

Solo con el muro cortina se transforma, de manera radical, la relación entre el espacio construido el medio circundante; es, por tanto, el artífice de un diferente concepto espacial y, por supuesto, de un nuevo espectro tecnológico e industrial de la construcción.

*(Araujo, R., Ferrés, X. Revista Tectónica. Artículo “Muro cortina”. Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003)*



La idea original de los arquitectos era que se viese la trama estructural de la que “cuelgan” los muros cortina de vidrio.

*Fig. 73 Edificio Seagram (Mies van der Rohe y Philip Johnson, 1957)  
(Fuente: [www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl))*

#### 4.1.- Definición y conceptos.

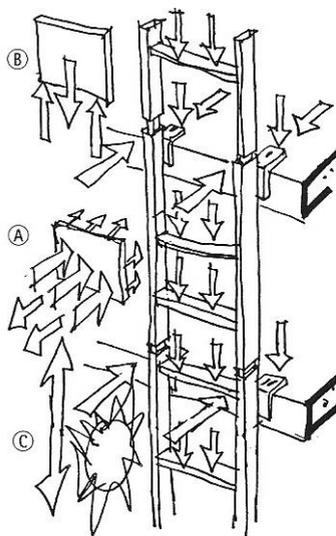
Básicamente, los problemas de un muro cortina son de naturaleza mecánica: dimensión del panel de vidrio, transmisión de acciones que actúan sobre la estructura del edificio, movimientos diferenciales entre la estructura y el cerramiento, etc...

Pero cerrar con vidrio implica otros problemas entre los que destacan los derivados de su comportamiento energético.

En consecuencia, el muro cortina será un complejo mecanismo compuesto, una organización multicapa en la que diversos elementos se estratifican para lograr una respuesta apropiada.

Empezaremos por la que consideramos la versión más sencilla: un conjunto de paneles de vidrio con un enrejado de perfiles que faciliten el acristalamiento y panelado; el correspondiente conjunto de juntas que se acoplan además a los diferentes sistemas de techo y suelo, a los elementos del sistema de climatización y a la estructura, más los necesarios vínculos que tienen la misión de trasladar las cargas de los paneles hasta los forjados.

#### 4.2.- Comportamiento de la estructura.



A la hora de montar una fachada acristalada entre forjados, podemos observar que el vidrio es incapaz de salvar la luz sin que la presión del viento incida ocasionando una deformación por flexión, con la consiguiente pérdida de estanqueidad entre juntas o, incluso, produciéndose la rotura del propio vidrio.

Se puede reducir la deformación apoyando el panel de vidrio en cuatro lados, de ésta manera se consigue reducir las luces trabajando como una placa.

Fig. 74 Detalle de bastidor para fachadas.  
(Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))

*En el esquema que aparece en este apartado, podemos observar las acciones sobre el panel, la retícula y los anclajes, marcando la letra A viento, presión y succión, la letra B peso propio de elementos de relleno y la letra C dilatación y contracción por cambios de temperatura.*

El bastidor se conforma con los clásicos montantes y travesaños, éstos últimos dispuestos para resistir el propio peso del vidrio, trabajando ambos para resistir las cargas horizontales.

(Fengler, M. *Estructuras Resistentes y Elementos de Fachada*. Editorial Gustavo Gili, 1978)

El bastidor limita la deformación del vidrio, con la suficiente inercia, ante los esfuerzos de presión y succión propiciados por el viento y por el peso propio de la placa.

Estamos haciendo incidencia sobre un cerramiento y sobre una estructura que son siempre deformables y el muro cortina no podrá aceptar esas deformaciones salvo que lo dotemos de mecanismos adecuados para esto.

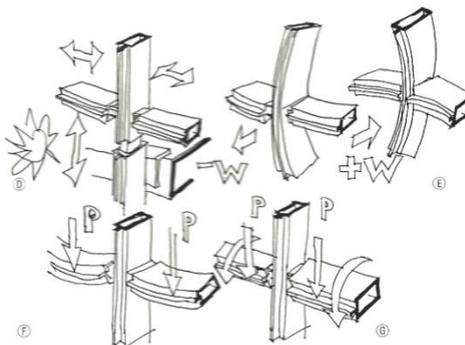


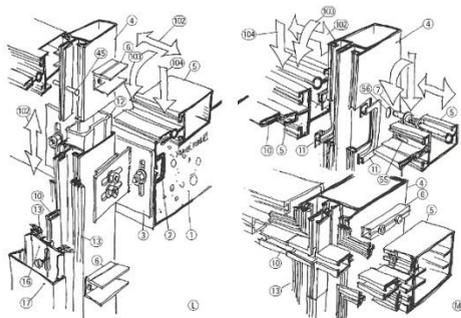
Fig. 75 Detalle de estructura para montaje.

(Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))

En el esquema de montantes y travesaños, en el que aparece la deformación y el movimiento podemos observar la dilatación y contracción por cambios de temperatura (D), flechas por presión y succión del viento (E), flechas por peso propio y carga del vidrio o panel (F) y, por último, el giro por excentricidad del apoyo de la carga (G).

Debemos tener en cuenta que se trabaja con materiales cuyo comportamiento está fuera de las reacciones comunes ya que son frágiles y, consecuentemente, muy sensibles a roturas por tensiones concentradas.

(Fengler, M. *Estructuras Resistentes y Elementos de Fachada*. Editorial Gustavo Gili, 1978)



Todo esto aún refuerza el concepto general de escamas, en el que las juntas requieren además una gran flexibilidad.

Fig. 76 Esquema de anclajes y uniones entre perfiles.  
(Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))

Ahora nos resta transmitir las cargas que actúan sobre el cerramiento a la estructura del edificio, lo que hacemos normalmente en los forjados, a través de mecanismos de anclaje que, con la necesaria resistencia (en ellos se concentran las cargas de forma puntual), permitan previamente la regulación tridimensional y posteriormente la deformación independiente y compatible del muro y de la estructura.

(Fengler, M. *Estructuras Resistentes y Elementos de Fachada*. Editorial Gustavo Gili, 1978)

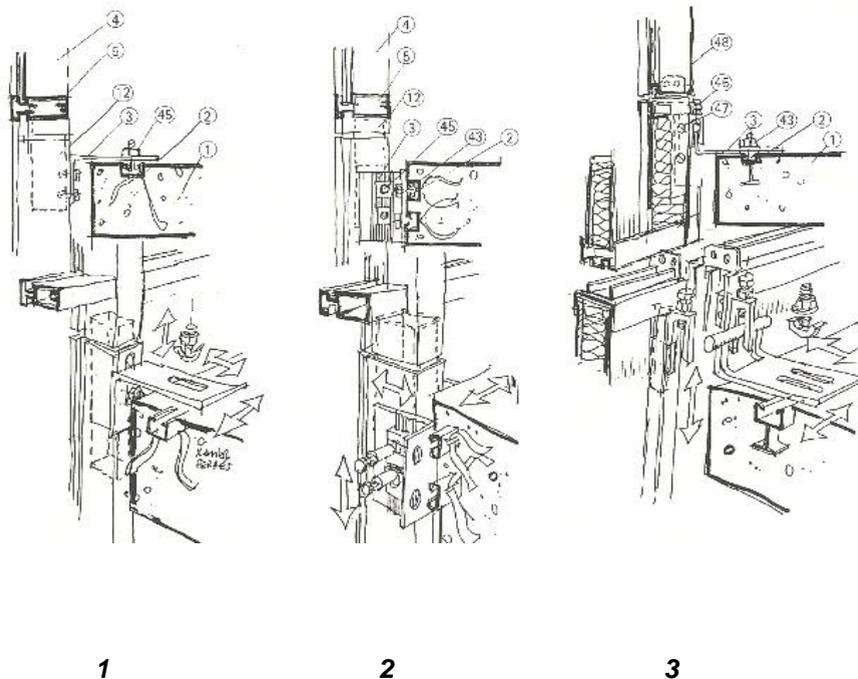


Fig. 77 En el presente esquema se pueden observar algunas soluciones clásicas de anclaje y regulación tridimensional. (Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))

En la solución 1 podemos ver un anclaje en cara superior de forjado; en la solución 2 el anclaje se produce en el canto del forjado y en la solución 3 se observa una solución especial de anclaje doble para semicélulas de fachada modular.

(Fengler, M. *Estructuras Resistentes y Elementos de Fachada*. Editorial Gustavo Gili, 1978)

### 4.3.- Comportamiento frente al agua.

El primer problema es la estanqueidad al agua y al vapor, y su drenaje.

Los componentes del muro cortina suelen ser impermeables (vidrios, paneles, perfiles y chapas), de modo que el problema, de nuevo, son sus juntas, las del propio bastidor y sobre todo las juntas vidrio-bastidor. Dada la frecuencia con que éstas aparecen, su complejidad al implicar movimiento y reglaje, y la reunión de materiales de comportamiento elástico con características muy diferentes, requerirán soluciones mucho más sofisticadas y técnicas que otros sistemas de cerramiento.

Se hace necesario un exhaustivo estudio del comportamiento del agua, tanto por la cantidad como por dónde entra; posiblemente se envíe al exterior, se posibilite su drenaje, quede estancada o, incluso, llegue a secarse pero, el peor de los casos sería que apareciese en el interior del propio edificio.

Como en cualquier cerramiento ligero, la condensación se debe analizar en los elementos opacos y en los propios vidrios, aunque podría aparecer en los perfiles de la retícula, en la chapas, en la parte interior de los acristalamientos y en otros elementos que conforman los remates y en los cuales es difícil incorporar el aislamiento.

La solución más utilizada para posibles problemas que se pueden generar, es la utilización de perfiles con rotura de puente térmico.

*(Araujo, R., Ferrés, X. Revista Tectónica. Artículo "Muro cortina". Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003)*

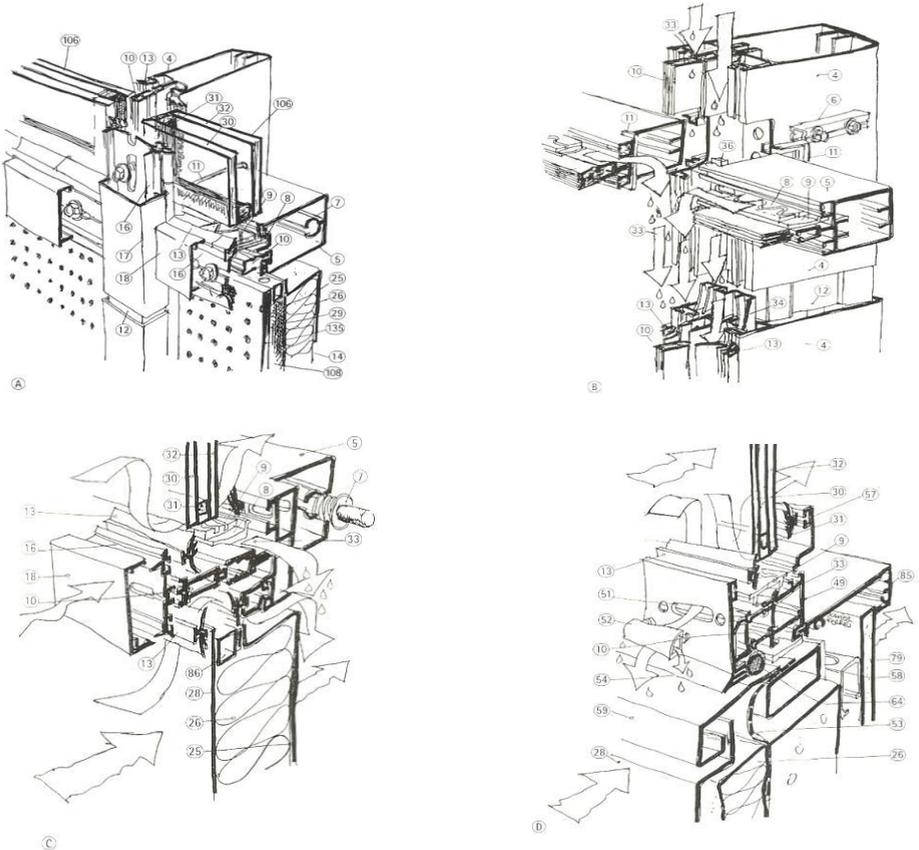


Fig. 78 Elementos de estanqueidad.

- A) Elementos de estanqueidad y sustentación del sistema clásico de muro cortina.
- B) Drenajes y escorrentías a través de los canales de los perfiles.
- C) Elementos de estanqueidad al aire y al agua en un sistema clásico de muro cortina con tapeta, acristalamientos de visión y panel aislante de chapa.
- D) Elementos de estanqueidad al aire y al agua en un sistema de cerramiento acristalado acoplado al muro de obra de fábrica doblado con chapa.

(Araujo, R., Ferrés, X. Revista Tectónica. Artículo "Muro cortina". Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003)

Los mecanismos clásicos para lograr estanqueidad en una junta son el sellado, la protección mediante solapes, resaltes, tapajuntas, etc., y la junta abierta. Nos encontramos con todos ellos, independientes o reunidos, en las juntas entre el acristalamiento y el bastidor, en las juntas entre paneles opacos, en los cruces montante – travesaño, etc.



Debido a la presencia de materiales plásticos, metales, adhesivos y sellantes, debe existir una tendencia en el diseño a evitar la degradación y corrosión afectando, eso sí, a la solución en juntas y fijaciones así como a la elección de los materiales idóneos.

Resolver la pérdida de las prestaciones en aislamientos y acondicionamientos o el envejecimiento acelerado de los tratamientos superficiales, se convierte en el objetivo prioritario.

*Fig. 79 Patio cubierto del Museo de Historia de Hamburgo (Jörg Schlaich, 1980).*

*El acristalamiento horizontal se confía al sellado de las juntas.*

#### 4.4.- Comportamiento térmico.

El balance energético de un edificio debe calcularse integrando las ganancias y pérdidas por transmisión y radiación, evaluadas por fachadas y a lo largo del año, de tal forma que se pueden separar las épocas de calefacción y las de refrigeración en las que varía el signo de las aportaciones.

*(Araujo, R., Ferrés, X. Revista Tectónica. Artículo "Muro cortina". Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003)*



El vidrio no es el único componente del muro cortina que puede controlar las pérdidas o ganancias energéticas.

Es notable la incidencia de los paneles aislantes, de la perfilería y de las combinaciones de aleros, pasarelas, lamas y tejidos de control solar que se incorporan en las soluciones complejas.

*Fig. 80 Banco Atlántico en Barcelona (Mitjans y Balcells, 1968). El uso de vidrios reflectantes y absorbentes reduce la radiación solar a costa de perder luminosidad.*

El aislamiento lo resuelven los vidrios con cámara de aire que, además, quedan mejorados con capas de baja emisividad, o con la introducción de gases nobles en la cámara.

El problema de la reducción las pérdidas de calor por conducción, no resulta prioritario en el ámbito del trabajo, debido al aumento de aportaciones de energía desde el propio interior del edificio, como pueden ser los equipos informáticos, la luz artificial o la propia ocupación del personal.

*(Araujo, R., Ferrés, X. Revista Tectónica. Artículo "Muro cortina". Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003)*

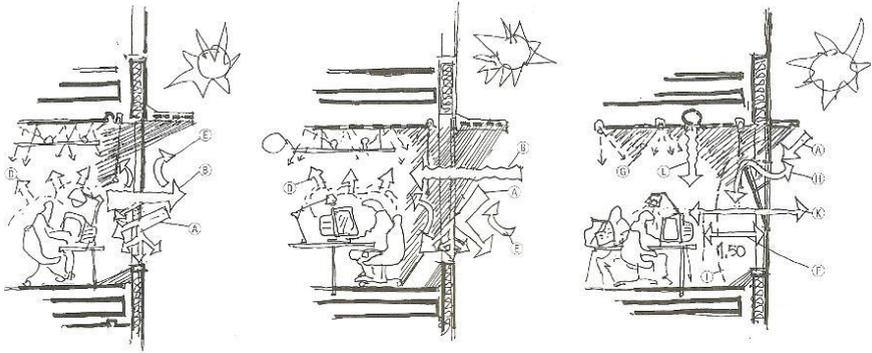


Fig. 81 Radiación térmica emitida a través de cerramiento.

- A. Radiación solar a través del cerramiento: Energía incidente, reflejada, transmitida, absorbida.
- B. Conducción a través del cerramiento.
- D. Cargas interiores por equipos informáticos, iluminación interior, personas, etc.
- E. Convección.
- F. Zona perimetral de la fachada de menor confort.
- G. Zona interior del edificio con mayor uso de iluminación artificial.
- H. Ventilación natural.
- I. Pared fría.
- J. Contaminación acústica.
- K. Iluminación natural, deslumbramiento y vistas interior – exterior.
- L. Velocidad y temperatura del aire climatizado.

(Araujo, R., Ferrés, X. Revista Tectónica. Artículo "Muro cortina". Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003)

En algunos climas y épocas del año este efecto puede ser aprovechado o provocado para generar calor que podemos acumular en los elementos masivos de la construcción (forjados sobre todo), incorporar al flujo y tratamiento del aire, o conducir voluntariamente a otras zonas del edificio. Pero el aspecto dominante en el diseño suele ser el modo de minimizar esta aportación térmica.

(Araujo, R., Ferrés, X. *Revista Tectónica*. Artículo "Muro cortina". Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003)

Los vidrios absorbentes y reflectantes pueden reducir las ganancias de calor por radiación con un coeficiente casi lineal entre factor solar y transmisión luminosa. Hoy la industria del vidrio dispone de tratamientos de última generación que permiten vidrios casi incoloros, transparentes y muy poco reflectantes, que alcanzan coeficientes entre transmisión luminosa y factor solar cercanos a 1'80 en el mejor de los casos.

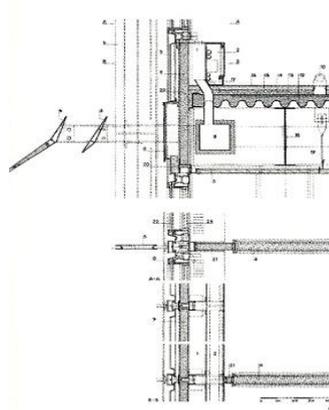
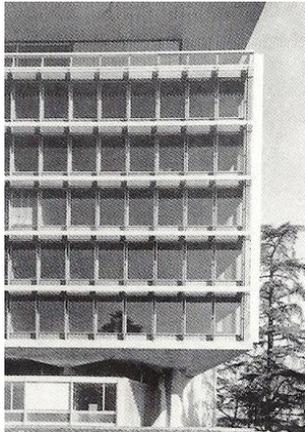


Fig. 82 Parasoles en la sede de la compañía Nestlé en Vevey (J. Tschumi, 1958)

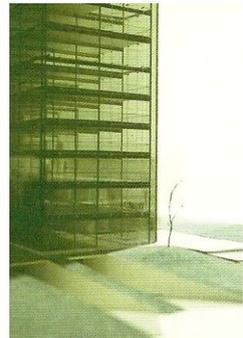
(Araujo, R., Ferrés, X. *Revista Tectónica*. Artículo "Muro cortina". Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003)

#### 4.5.- Comportamiento frente al fuego.

La seguridad contra el fuego tiene cada día una incidencia más importante en diseño de los edificios sea cual sea su uso, y es prioritario establecer desde el comienzo del proyecto una estrategia global de protección, en la que el cerramiento ocupa un papel determinante.

Es frecuente que la adecuación a las normativas de protección lleguen a invalidar los diseños si no sean considerado desde el comienzo.

Un primer problema es la necesidad de dividir el edificio en sectores de incendio independientes, para evitar la propagación del fuego en vertical y en horizontal, y la fachada juega aquí un papel importante, pues el fuego se desplaza especialmente donde encuentra aire fresco para la combustión.

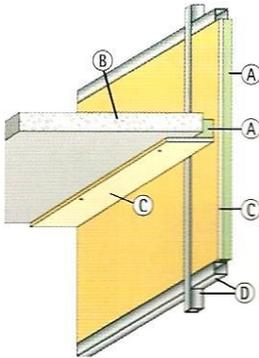


*Fig. 83 Concurso Edificio Bankuni en Madrid (A. de la Sota, año 1970)*

Casi todos los materiales ligeros típicos del muro cortina funden y rompen a temperaturas relativamente bajas - el aluminio se licúa a 800° y a 400° ya no tiene capacidad portante, y el vidrio a 150° se desmorona- y por tanto no son materiales adecuados para sectorizar. El problema se resuelve con un tramo de cerramiento diferenciado, el conocido “metro” de resistencia al fuego (RF) – la mitad que para el forjado o cerramiento vertical interior – con materiales adecuados como placas de fibrosilicatos, aislantes térmicos, chapas y perfiles de acero, etc, siempre fijados al forjado y no a la retícula de aluminio.

*(Araujo, R., Ferrés, X. Revista Tectónica. Artículo “Muro cortina”. Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003)*

A continuación se puede apreciar un esquema bastante claro sobre el montaje comentado.



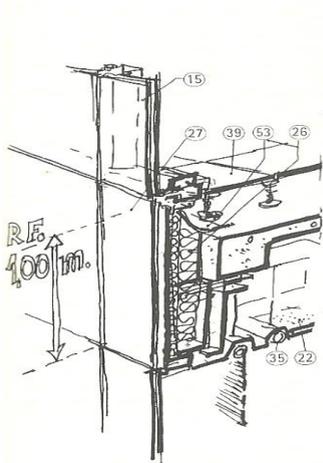
Importante: asegurar la fijación a la estructura (B), y no al cerramiento (D), de los elementos que evitan la propagación del fuego por la fachada. El sellado entre el forjado y el muro cortina es un punto crítico. Se empleará algún material como lana de roca (A) o paneles anti-fuego específicos (C)

*Fig. 84 Esquema básico del montaje de la fijación.  
(Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))*

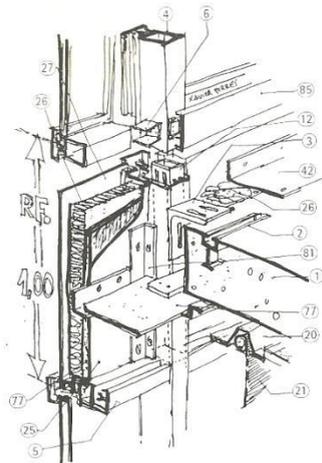
Otro aspecto, no menos importante, es la discontinuidad entre forjados y entre éstos y el plano de fachada; deben tratarse de la misma manera y utilizando los mismos materiales que los utilizados en el paramento vertical.

Existen soluciones para fachadas ensayadas en el laboratorio que, además de retardar el avance de las llamas y del humo, rebajan la temperatura de los vidrios y sus respectivos soportes; éstas soluciones se centran, principalmente, en el uso de rociadores.

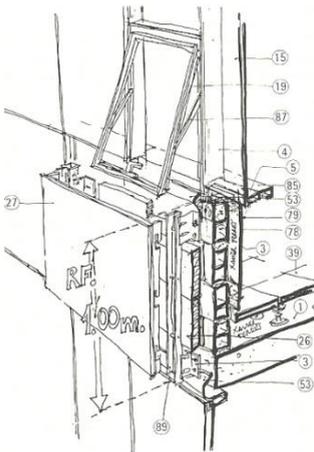
Las vías de evacuación, desde el interior de los edificios, deben plantearse como auténticos núcleos de comunicación exterior, mediante escaleras y rampas que deberán diseñarse como recintos de protección.



1



2



1.- Corta-fuegos acoplado al forjado. Canto del forjado y descuelgue mediante placas de fibrosilicatos, borra de lana de roca y soportes metálicos.

2.- Corta-fuegos integrado en el panel del muro, mediante placas de fibrosilicatos, borra de lana de roca y soportes en la mecha del mainel, fijados a forjado a través del anclaje.

3.- Corta-fuegos convencional de obra de fábrica sobre el forjado y panel exterior ventilado.

Fig. 85 Detalles de colocación de cortafuegos (Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))

#### 4.6.- Ventilación.

Los elementos practicables plantean problemas técnicos y formales de difícil solución: lograr elementos suspendidos de apenas un par de puntos, con juntas estancas al aire y al agua que sean móviles, exige perfiles más complejos, que necesariamente tienden a aumentar de sección rompiendo la continuidad del enrejado. Además, la ventilación natural ocasional desequilibra el sistema de acondicionamiento y la solución inmediata es evitar el problema, por lo que una gran mayoría de los sistemas comerciales no incorporaron durante mucho tiempo elementos batientes, que evolucionaron de forma independiente y se incorporaban al conjunto con grandes dificultades de integración en fachada.

Desde la aparición de la carpintería de acero se estudiaron muchas soluciones al hueco practicable.

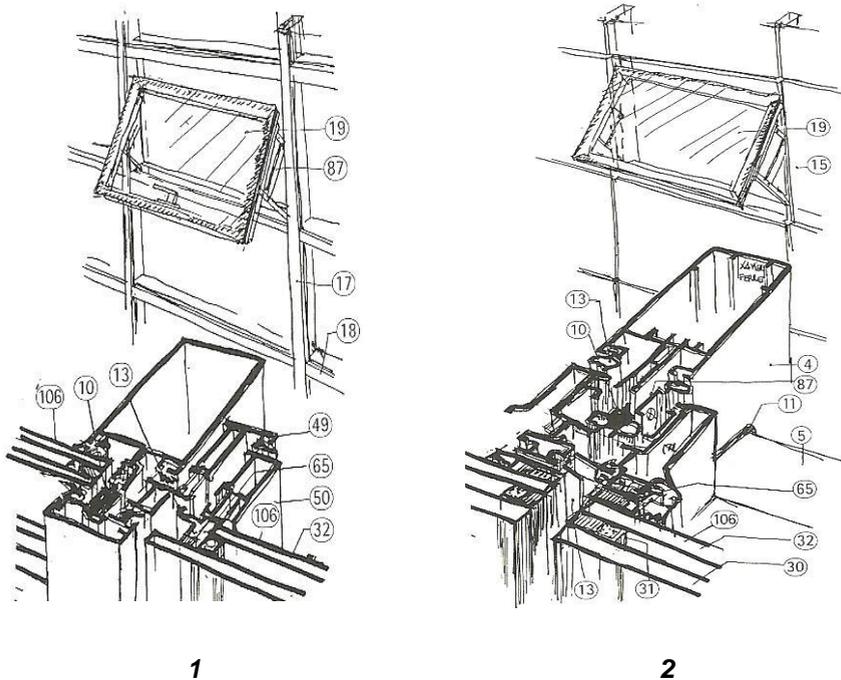
Algunas de estas soluciones, las menos intrusivas, fueron las correderas, de guillotina, pivotantes o basculantes, y muchos arquitectos modernos patentaron ventanas de este tipo con escuadrías mínimas. Con las extrusiones de aluminio se difundieron perfileras de secciones siempre crecientes, primando la estanqueidad o la ligereza sobre otros aspectos. En todo caso, rara vez se plantearon como componentes de un muro cortina integral.



*Fig. 86 Novedoso sistema de ventanas proyectantes se incorpora en este edificio de oficinas de Esslingen. (O. Reutter, 2003)*

*(Araujo, R., Ferrés, X. Revista Tectónica. Artículo "Muro cortina". Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003)*

*(www.construmática.com)*



**1.-** Ventana practicable deslizo – proyectante hacia el exterior, de perfil oculto desde el exterior, con acristalamiento pegado a marco con silicona estructural, acoplada a sistema clásico de muro cortina con tapetas.

**2.-** Ventana practicable deslizo – proyectante hacia el exterior, de perfil oculto desde el exterior y desde el interior, con acristalamiento pegado a marco, acoplada a sistema de muro cortina con silicona estructural.

Fig. 87 Detalles de ventanas practicables (Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))

#### 4.7.- Aislamiento acústico.

Un problema importante es la independencia sonora entre plantas sucesivas cuando el cerramiento discurre suspendido por delante del forjado. Este problema no es sólo acústico, pues se relaciona con la independencia a efectos térmicos y de transmisión del fuego, etc. Establecer una barrera eficaz es difícil, no sólo por la continuidad del cerramiento, sino porque en este punto suelen además establecerse los anclajes.

Una independencia real, sin prolongar el forjado hasta el exterior, requiere normalmente considerar el sellado entre el panel de antepecho y los diferentes elementos que conforman el plano horizontal – forjado, cielorraso, suelo elevado, etc. – así como el peto, si existe. El problema debe analizarse simultáneamente con los demás aspectos que confluyen en este punto, como son las instalaciones, cortafuegos, etc.

*(Araujo, R., Ferrés, X. Revista Tectónica. Artículo “Muro cortina”. Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003)*

#### 4.8.- Sistemas de instalaciones.

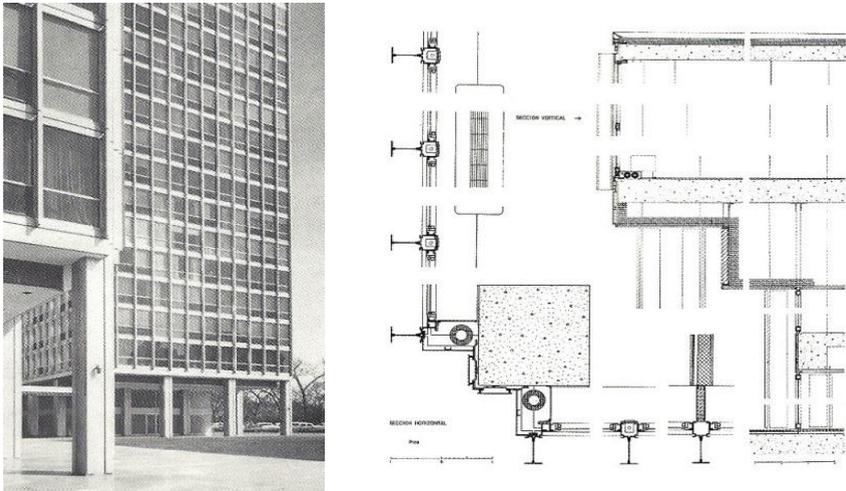
Instalaciones y cerramiento son aspectos difícilmente separables, pues son los elementos principales de una estrategia global del edificio como intercambiador de energía: necesariamente la concepción de los sistemas de instalaciones es inseparable del diseño del muro cortina desde sus conocimientos.

En gran parte de la arquitectura de muro cortina del siglo pasado el cerramiento planteaba pocos cruces con el diseño de instalaciones. En particular, en los tipos con distribución de instalaciones por núcleo central y doble techo, el conflicto casi se reduce a integrar en la fachada el creciente espesor del forjado.

*(www.construmática.com)*

Un problema genérico es la integración de los emisores de calor o frío, normalmente emplazados junto al cerramiento en el peto o en dobles techos y suelos, con objeto de cortar el puente frío allí donde se produce. La solución de peto es necesariamente un clásico, pues termina por justificar un peto ya solicitado por la protección del fuego, o por funcionalidad del espacio. Además el peto nos permite alojar las distribuciones horizontales de agua o aire que sirven a los fan-coils o ventil-convectores.

El caso contrario resulta cuando queremos minimizar la presencia del forjado buscando un acristalamiento completo, y son soluciones clásicas la reducción progresiva del canto del forjado o los fan – coils retrasados del plano de fachada.



*Fig. 88 Edificios "Commonwealth Promenade Apartments"  
(Fuente: sixtenseason.tumblr.com)*

*En los Edificios Commonwealth Promenade Apartments, en Chicago (Mies van der Rohe, 1957) podemos ver una de las primeras soluciones a la distribución de las instalaciones por fachada. Aquí las conducciones de agua para los climatizadores de los petos se alojan en los montantes adosados a los pilares y discurren horizontalmente tras los ventilconvectores.*

La idea de una mayor concentración de instalaciones en fachada requiere evidentemente una respuesta más drástica, y son muchos los edificios en los que aquéllas alcanzan un gran protagonismo. La distribución por fachada tanto de agua como de aire está ya presente en los edificios de Mies o Pei, donde la red de conductos se integra en el enrejado o se independiza alcanzando una presencia equivalente a la de la jaula estructural.



*Fig. 89 Edificio Lloyd's, Londres (R. Rogers, 1986)*

*(Fuente: [artist.blogspot.com](http://artist.blogspot.com))*

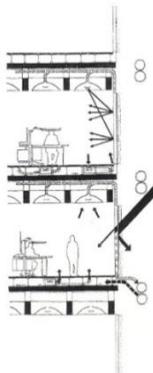
Edificios como el Centro Pompidou o la Lloyd's han llevado la idea al extremo de una autentica fachada servidora.

Así alcanzaríamos aquellos conceptos de fachada que persiguen una integración total de los sistemas; éstos, en el muro cortina de doble piel toman aire del exterior, lo tratan entre pieles de la fachada y desde el canal se reenvía al falso techo o al suelo técnico: la fachada es un canal que funciona como en conducto en plenum con los difusores integrados.

#### 4.9.- Mantenimiento y limpieza.

La limpieza es un importante apartado del mantenimiento, pues siempre es necesaria cuando se emplea vidrio. No solo habrá que planear sistemas de limpieza, sino estudiar su ensuciamiento en función de la zona rural o urbana, cerca del mar o en climas secos, ya que de ello depende la pérdida de prestaciones físico – ópticas.

Un diseño adecuado debe reducir la necesidad de limpieza y facilitar el acceso para la misma. Son posibles diversas estrategias. Por ejemplo, se puede favorecer el carácter “auto-lavable” del muro cortina, facilitando la escorrentía y evitando obstrucciones al agua que favorezcan la infiltración y originen manchas, o bien utilizando geometrías en aleros y perfiles que protejan el acristalamiento y reduzcan la exposición al agua. También es posible drenar hacia el exterior, para evitar que el agua arrastre la suciedad sobre la fachada.



*Con la intención de realizar más expresiva la envolvente técnica, se incorpora con rotundidad, a modo de remate del edificio, el carril de la góndola de limpieza .*

*Fig. 90 Edificio Bankuni, Madrid (J.A. Corrales y R. Vázquez, 1975)  
(Fuente:www.santiagofajardo.com)*

La calidad de un edificio depende del grado de limpieza de sus fachadas y de la estabilidad de los materiales con los que se construye, por lo que el mantenimiento de las prestaciones de estanqueidad al aire y al agua, la maniobrabilidad de los elementos practicables, la revisión de los elementos del exterior de la fachada como toldos, paneles, pasarelas, lamas de control solar, etc., deben estar programados adecuadamente para que se pueda alargar la vida útil y garantizar sus prestaciones.

A pesar de que en ocasiones se plantea la limpieza de las fachadas desde la propia planta a través de los practicables, un muro cortina de cierta entidad requiere siempre un sistema externo de acceso para éstas funciones. Pueden ser de diferentes tipos, y los más extendidos son las góndolas suspendidas desde la cubierta, las pasarelas horizontales en correspondencia con los forjados con sus perceptivas líneas de vida, y las grúas polares.

#### 4.10.- Montaje.

El muro cortina se tiene que poder construir y montar con facilidad. La necesidad de precisión y ajuste, las mayores tolerancias de la estructura soporte y, en general, la gran precisión que caracteriza a un cerramiento ligero, llevan a que el diseño del sistema esté muy determinado por este montaje, incorporando muchas piezas especiales cuyo fin es ajustar, graduar o desmontar el cerramiento o sus partes.

Cada diseño tendrá una filosofía propia, que será determinante para la viabilidad del sistema, para su conservación y para su integridad.

De hecho, una de las piezas más características del muro cortina es su anclaje, pieza de transición y transmisión de cargas del bastidor al forjado.

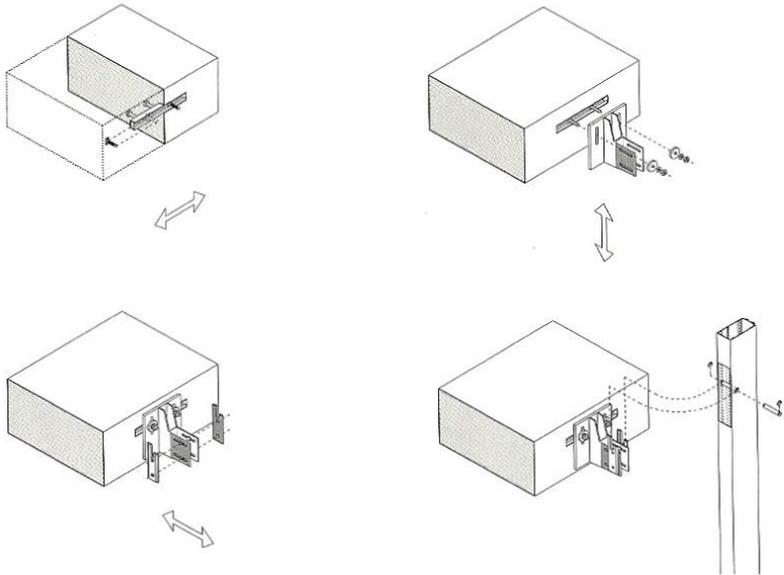
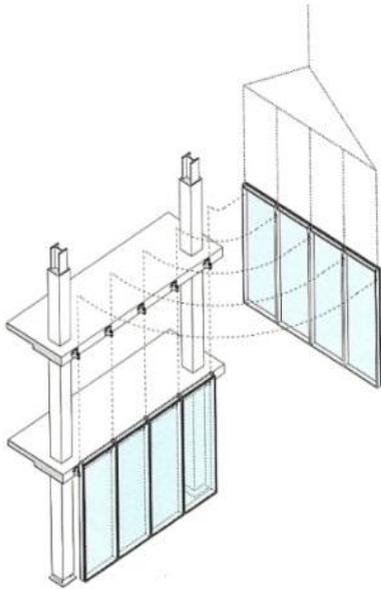


Fig. 91 Detalles de anclaje. (Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))

*El anclaje es el principal elemento de regulación y puesta en obra, pues su misión añadida es permitir regular con precisión cada punto de la retícula, salvando las diferencias dimensionales que se hayan producido en la estructura o en sus piezas.*

Todos los componentes del sistema estarán determinados por la “montabilidad” y ajuste de las propias barras del enrejado, de sus juntas, del sistema de acristalamiento, de su fijación, etc. – juntas de dilatación y sus mechas de continuidad, enchufes montante-travesaño, grapas y presores con sus tapetas, etc.-



Finalmente, la filosofía del montaje nos llevará a diferentes concepciones del sistema mismo de fachada, que teniendo sus inicios en la puesta en obra casi artesanal, evoluciona a sistemas prefabricados o integrales que incorporaran todos los elementos necesarios, incluso paneles interiores, acristalamientos, lamas exteriores, persianas, motores y su electrificación. Esto significa reunir una gran cantidad de elementos tradicionalmente no asociados a la fachada.

*Fig. 92 Detalle de montaje de fachada acristalada.*

*(Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))*

#### 4.11.- Solución del canto del forjado.

Generalmente, basta el examen del “canto del forjado” para tener una descripción general del sistema de muro cortina considerado, y es que hemos visto que es, en cierto modo, el punto crítico del diseño. En el canto del forjado se establecen normalmente los anclajes, y frecuentemente las juntas entre montantes y travesaños. También aquí se produce la junta con el muro cortina no sólo del forjado propiamente dicho, sino del doble techo y suelo técnico si existen.

Aquí se libra también la batalla con las instalaciones, alojadas junto a los forjados en los antepechos, de modo que el detalle casi nos indica de qué tipo es el sistema de acondicionamiento. La independencia entre plantas a efectos termo-acústicos y de transmisión del fuego también se centra en este punto. Frecuentemente se procura que este canto de forjado no se manifieste apenas, y que nuestra cortina discorra libremente suspendida e integrada sobre un elemento que, no se sabe muy bien porqué, no queremos que exista.

La solución más general es colocar un panel ciego cuyo arranque respecto a la cara del forjado en función de los elementos a ocultar, la independencia entre plantas a los distintos efectos y la relación con otros elementos como soportes para pieles exteriores, pasarelas o anclajes de los elementos de control solar, etc.

Estos antepechos se tratan en su cara exterior con acristalamientos reflectantes o serigrafiados, con chapas de aluminio o de acero, u otros materiales, escamoteándose o destacando las bandas horizontales que se generan.

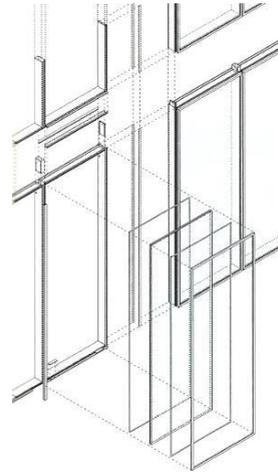


Fig. 93 Solución canto del forjado (Fuente: [www.tectónica.es](http://www.tectónica.es))

En el otro extremo, el forjado puede manifestarse limpiamente, o incluso escamotearse. Como vimos, el problema principal será resolver la independencia entre pisos en el propio canto del forjado, lo que a efectos de fuego es difícilmente viable.

#### 4.12.- Gomas y siliconas.

Los antiguos acristalamientos estaban muy limitados por los materiales de sellado, frágiles y poco durables, y es lógico que algunos de los cambios más interesantes en el muro cortina deriven de sus nuevas soluciones técnicas. Los perfiles preformados son fundamentales en los muros de aluminio, pero incluso se independizan de ellos para lograr por sí mismos una solución de junta estanca y abrir el camino a diseños menos intrusivos.



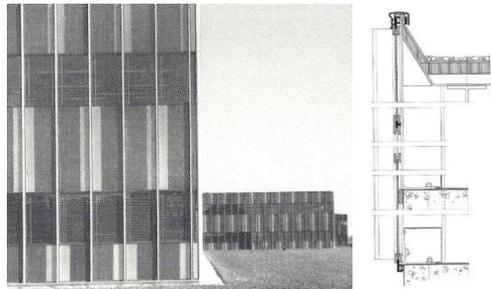
*El montante del muro cortina de la General Motors (E. Saarinen, 1958), es una simple sección laminada rematada con un perfil de neopreno que recoge el vidrio en todo su perímetro.*

*Fig. 94 Muro cortina de la General Motors*

*(repositorio.upct.es)*

A veces las soluciones más sencillas son las más eficaces, como la sección del montante de acero que recoge el vidrio únicamente con un perfil de neopreno.

*En el Centro IBM de Rochester podemos ver un claro ejemplo de esta solución.*



*Fig. 95 Centro IBM de Rochester.  
(Fuente: www.pinterest.es)*

Otra invención de mediados de los años 80 para el soporte de los acristalamientos es la “silicona estructural”, con la que se sustituye el conjunto de elementos que resuelven la fijación y el sellado del vidrio contra la retícula de soporte, mediante un simple cordón de silicona de alto módulo – o estructural – de modo que un solo elemento elástico puede resolver la junta, el sellado y la fijación a la estructura.

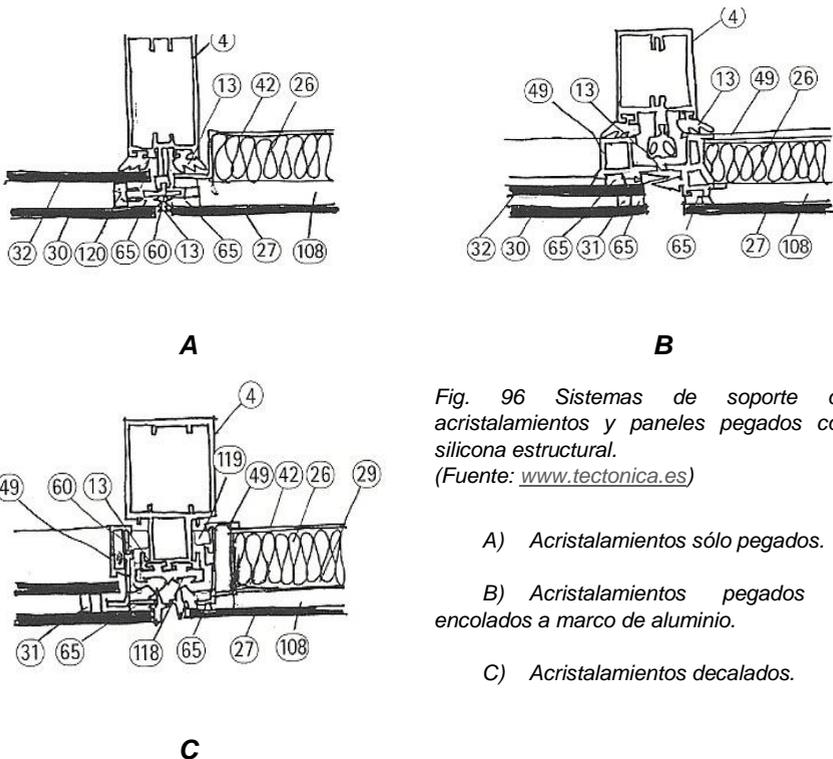


Fig. 96 Sistemas de soporte de acristalamientos y paneles pegados con silicona estructural.

(Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))

A) Acristalamientos sólo pegados.

B) Acristalamientos pegados y encolados a marco de aluminio.

C) Acristalamientos decalados.

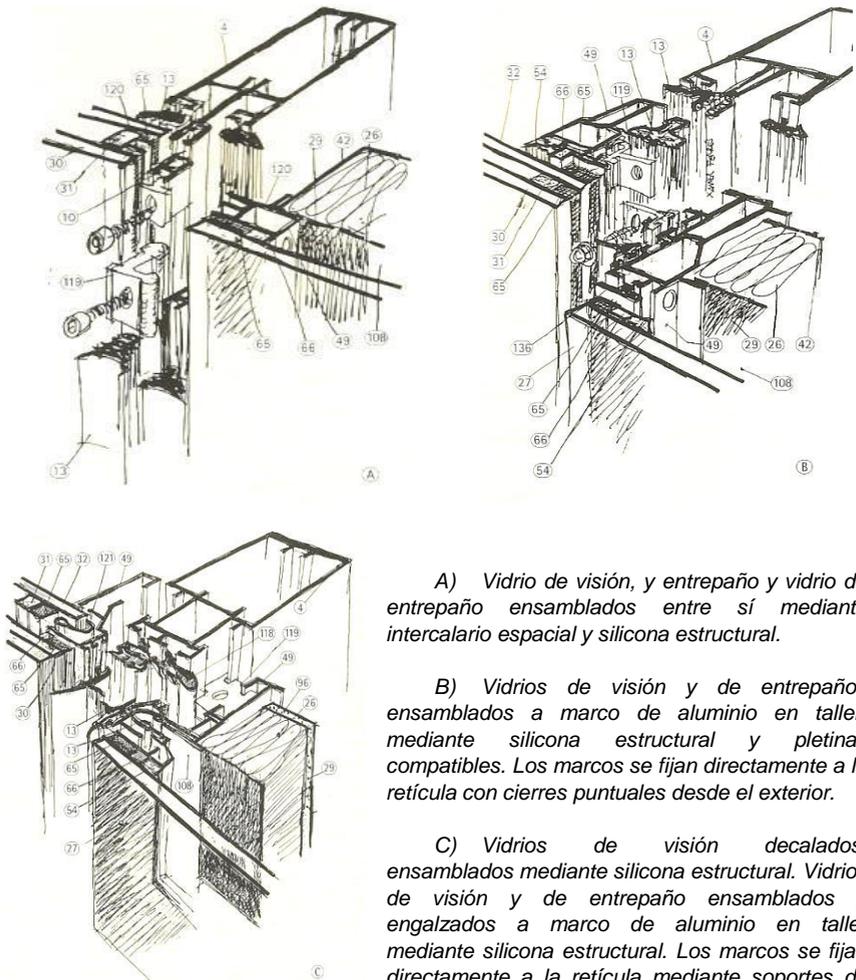
Son algunas las patentes que basan el pegado entre vidrios con intercalarios especiales, que permiten el clipado de los soportes directamente entre la retícula y el vidrio, consiguiendo estanqueidad y estabilidad. Son mucho más evolucionadas en prestaciones, flotabilidad de los sistemas, capacidad de formatos mucho mayores, libertad compositiva y de espesores de acristalamientos y paneles, y de control de ejecución de taller y sencillez de montaje mediante vergas, sin fijaciones mecánicas puntuales y sellados adicionales en obra.

Con la silicona estructural la transparencia del muro no varía, pues el enrejado no lo hace, pero sí su apariencia, al resultar el bastidor oculto desde el exterior. Lo interesante, es que el cerramiento pierde sus discontinuidades en el exterior, evidenciando y destacando el plano de fachada más que la retícula de la modulación. Al resolver el sellado o el sistema de juntas ocultas, desaparece el voluminoso y complejo conjunto de piezas (fijaciones, tapetas, presores, etc) de una solución más tradicional.

*(Araujo, R., Ferrés, X. Revista Tectónica. Artículo "Muro cortina". Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003)*

*(repositorio.upct.es)*

A continuación se presentan diferentes sistemas de soporte mediante silicona estructural, o de alto módulo.



A) Vidrio de visión, y entrepaño y vidrio de entrepaño ensamblados entre sí mediante intercalario espacial y silicona estructural.

B) Vidrios de visión y de entrepaños ensamblados a marco de aluminio en taller, mediante silicona estructural y pletinas compatibles. Los marcos se fijan directamente a la retícula con cierres puntuales desde el exterior.

C) Vidrios de visión decalados, ensamblados mediante silicona estructural. Vidrios de visión y de entrepaño ensamblados y engalzados a marco de aluminio en taller mediante silicona estructural. Los marcos se fijan directamente a la retícula mediante soportes de cierre accionados desde el interior.

Fig. 97 Ensamblaje de vidrios de visión (Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))

#### 4.13.- Botones.

Si un simple sellado puede sustituir a la carpintería para lograr estanqueidad, se abre la posibilidad de prescindir de aquélla, y el problema restante es como anclar el vidrio a la estructura del edificio sin el recurso de bastidor intermedio que lo soporte.

Una forma de lograr esto es mediante anclajes puntuales, resueltos con grapas metálicas y taladros en el acristalamiento, típicamente emplazados cerca de las esquinas del elemento de vidrio. Al suprimir el bastidor, aprovechamos más la capacidad mecánica del vidrio, que tiene que ser templado, para ser capaz de resistir las sollicitaciones puntuales en los anclajes.

La denominación común VEA, Vidrio Estructural Abotonado – también llamado anclado o atornillado – deriva de la denominación francesa *Vierre Extérieur Attaché*.

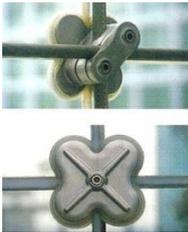
El sistema implica dos transformaciones importantes. Por un lado, la junta entre vidrios y el anclaje se han convertido en piezas diferentes: la junta resuelve estanqueidad y aislamiento, a la vez que evita el contacto entre vidrios permitiendo su movimiento, mientras el botón tiene la misión de transferir las cargas del vidrio a la estructura soporte.

Por otro lado, aportamos una nueva función a la placa de vidrio que forma el cerramiento, la de ser “portante”: el vidrio forma parte insustituible de la estructura, permitiendo después del templado de las placas, trabajar a flexión, tracción y compresión, para completar el sistema estructural de la fachada.

En la transmisión de cargas por junquillo el bulón debe evitar la concentración de cargas sobre el vidrio, proteger sus bordes, aislarlo del contacto metálico y permitir su dilatación liberando la transmisión de esfuerzos indeseados desde la estructura.

Las soluciones más sencillas son del tipo “empresillado” con grapas que no necesitan ni taladros ni vidrios templados, con la gran ventaja de no perforar el vidrio.

Entre las soluciones que sí lo mecanizan, además de las muescas y mecanizados en el borde – como las clásicas de las puertas “securit” – hoy de han generalizado los botones, que permiten la fijación del vidrio a cualquier sistema estructural y una mayor movilidad de las piezas.

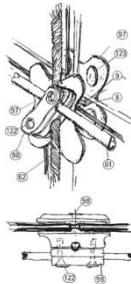


*Todos estos sistemas implican concentraciones de tensiones en el vidrio, como consecuencia de la aplicación puntual de cargas.*

*Fig. 98 Detalle de fijación del atrio acristalado del Hotel Kempinski, en Munich (Schlaich Bergermann y H. Jahn). (Fuente: [www.sbp.de](http://www.sbp.de))*

En las ilustraciones que vienen a continuación, se pueden ver los diferentes sistemas de soporte y retención puntual de placas de vidrio:

- Cables y varillas para unión de cuatro placas.



*Fig. 99 Cables y varilla para unión de cuatro placas (Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))*



- Sistemas para vidrio doble aislante, con mecanizados, templados y laminados incoloros o de control solar.

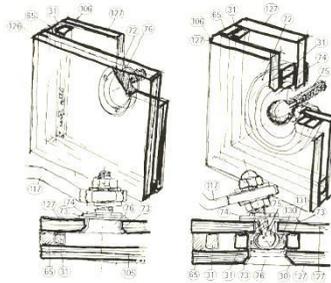


Fig. 102 Sistema para doble vidrio aislante, mecanizado (Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))

Los sistemas de botones han permitido acometer el acristalamiento de grandes estructuras, con la ventaja de no requerir enrejados de transición. Así son clásicas sus aplicaciones a redes espaciales y es en el cerramiento de grandes espacios donde más han desarrollado sus posibilidades.



El tipo de fijación y la junta de silicona permiten además que la estructura base sea bastante deformable, pudiéndose desarrollar los conocidos ejemplos de soportes mediante sistemas tensados.

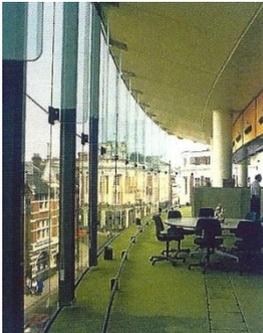
Fig. 103 Imagen del cerramiento del Invernadero de La Villette en París (A. Fainsilber arq. y P. Rice, 1986)  
(Fuente: [www.cite-sciences.fr](http://www.cite-sciences.fr))

#### 4.14.- Suspensión y tensado.

El trabajo en tracción del vidrio está penalizado por el efecto desfavorable de cualquier fisura en el vidrio, que tenderá a crecer, pero tiene la ventaja de superar la limitación por pandeo, característica del trabajo a compresión de un material de mínimo espesor. Con el templado, sin embargo, el trabajo a tracción es decididamente favorable, ya que el proceso de templado comprime las caras externas del vidrio, tendiendo a bloquear cualquier posible fisura..

Al suspenderlo, podemos además evitar la carpintería, si cada vidrio cuelga del inmediato superior. Con la suspensión sí es posible un acristalamiento entre forjados sin armazón, con la salvedad de que a una construcción de este tipo le faltará un contrarresto, es decir, un sistema que resista los esfuerzos perpendiculares al plano.

Los anclajes de suspensión pueden ser del tipo de placas o botones. El contrarresto tiene soluciones muy diversas, pero típicamente es una red de nuevo a base de montantes y travesaños, con la ventaja ahora de no tomar carga vertical, lo que le permite reducir su inercia y adoptar una configuración más transparente. Por esto son clásicos los contravientos de cables pretensados y cartelas de vidrio.



Son muchas las realizaciones que han desarrollado esta idea, destacando como innovadores los invernaderos de La Villette de P. Rice y la **Willis Faber de N. Foster**. En ésta última no hay enrejado, y el contraviento son unos contrafuertes de vidrio, aplicados en numerosos cerramientos de atrios y vestíbulos de edificios singulares.

*Fig. 104 Willis Faber, Norman Foster, 1970 - 1975 (Fuente: [www.arch2o.com](http://www.arch2o.com))*

#### 4.15.- Integración fotovoltaica.

##### 4.15.1.- Integración fotovoltaica en muros cortina tradicionales.

En un muro cortina de montantes y travesaños, los paneles fotovoltaicos se pueden integrar tanto en los vidrios de visión como en los vidrios opacos. Tanto si el acristalamiento es simple como si es doble, el vidrio convencional se puede reemplazar por otro que incorpore células fotovoltaicas de algún tipo. La manera más sencilla es colocar el panel fotovoltaico como un vidrio, fijado con presores exteriores, y realizar unas canalizaciones en la cara interior de la periferia para alojar el cableado de conexión entre módulos.

En el siguiente esquema, se puede ver una sección horizontal por el montante de un muro cortina.

*En este caso, el paso de cables y el registro se hace por la parte exterior de la fachada (zona inferior del esquema).*

Si los módulos fotovoltaicos están integrados en la zona de visión del muro cortina, las células estarán embebidas en un vidrio laminado que formará la hoja exterior del doble acristalamiento.

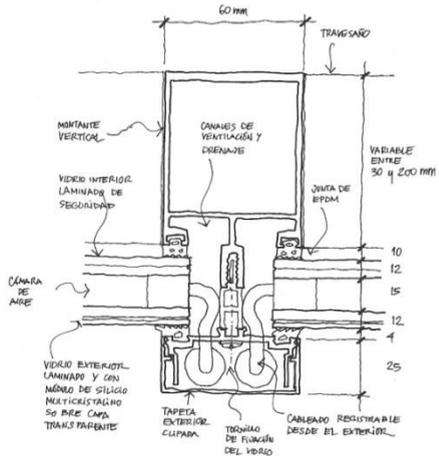
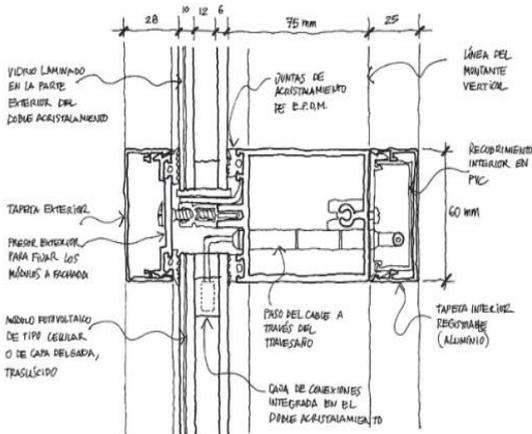


Fig. 105 Sistema "Alcoa".

(Martín Chivelet, N., Fernández Solla, I. "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura". Editorial Reverté. Barcelona, 2007)



Sección vertical por travesaño de muro cortina tradicional, en el que el paso de cables se realiza por la cara interior de fachada (lado derecho del esquema); un punto crítico aquí es el sellado del paso de cables en el punto donde atraviesan la cara exterior del travesaño.

Fig. 106 Sistema Schüco.

Para evitar la rotura del vidrio por choque térmico, el vidrio laminado será templado o termo-endurecido. El cálculo de los espesores del vidrio tendrá en cuenta además las acciones del viento y las exigencias de resistencia a impactos tanto externos como internos. Por ejemplo, si el vidrio está colocado como antepecho, será necesario que a hoja interior sea también laminar.

(Martín Chivelet, N., Fernández Solla, I. "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura". Editorial Reverté. Barcelona, 2007)

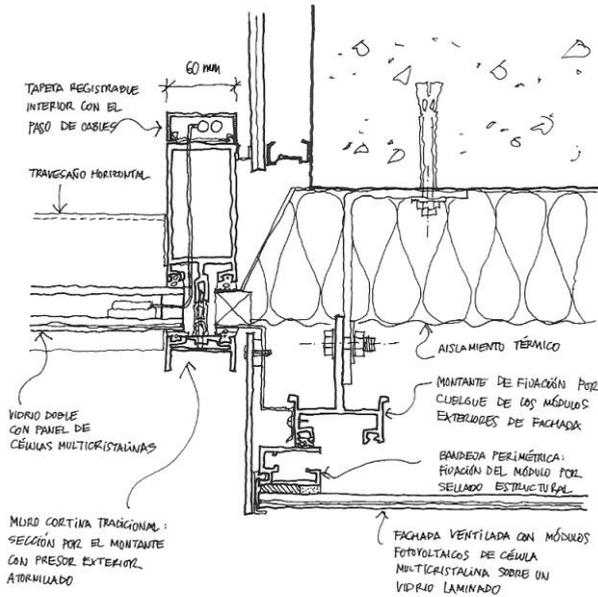


Fig. 107 En el presente esquema se muestra el encuentro de un muro cortina de vidrio fotovoltaico traslúcido, de montantes y travesaños, con una fachada ventilada de paneles fotovoltaicos.

(Martín Chivelet, N., Fernández Solla, I. "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura". Editorial Reverté. Barcelona, 2007)

Los dos tipos de fachada incorporan módulos fotovoltaicos en este caso, siendo el de la fachada ventilada opaco.

A modo de recordatorio, comentar que la tecnología de las fachadas ventiladas ya ha desarrollado todos los elementos necesarios para incorporar estos sistemas, sin más que sustituir los paneles de vidrio, aluminio o cerámica por paneles fotovoltaicos.

Cuando las partes opacas del muro cortina están formadas por paneles sándwich de acabado metálico o por paneles *composite*, es fácil adherir a la cara exterior de los paneles un módulo fotovoltaico. Si éste es de silicio amorfo, la ventaja es que la caída del rendimiento por temperatura es menos acusada que en otras tecnologías, por lo que su uso es adecuado en fachadas sin ventilación trasera. Los encuentros del módulo con el panel base deberán estar sellados en fábrica.

Existen ciertos puntos que debemos controlar en el diseño de la fachada, para la adecuada integración de los paneles fotovoltaicos en los muros cortina de montantes y travesaños, es decir, el muro cortina tradicional. Éstos puntos a considerar son los siguientes:

- La localización, el tamaño y la integración de la caja de conexiones sobre el trasdós del panel.
- El recorrido y la accesibilidad al cableado de conexión entre los paneles, tanto en horizontal como en vertical, a lo largo de los travesaños y montantes.
- La estanqueidad y el mantenimiento de la barrera de vapor en las perforaciones para el paso de los cables a través de la perfilería de montantes y travesaños.
- La salida de los cables en el lateral del doble acristalamiento y su entrada en la caja de conexiones del trasdós del panel, asegurando la durabilidad de la barrera de vapor en el intercalario del doble acristalamiento y evitando así que se produzcan condensaciones en la cámara.
- La evitación de sombras arrojadas por las tapas situadas sobre los laterales de los módulos, que producen una caída de rendimiento.
- La capacidad del panel fotovoltaico de vidrio de asumir las cargas de viento y los requerimientos de impactos tanto exteriores como interiores.

*(Martín Chivelet, N., Fernández Solla, I. "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura". Editorial Reverté. Barcelona, 2007)*

Si queremos conseguir el máximo rendimiento por ventilación trasera y la máxima accesibilidad, la opción óptima es el muro de doble piel con pasarelas de registro, si bien su precio inicial será también mayor.

Algunos ejemplos de edificios realizados con muro cortina tradicional son los siguientes:



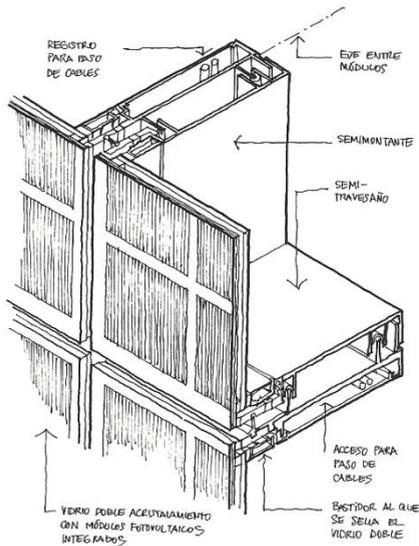
*Fig. 108 Parque de Innovación Tecnológica La Salle, Barcelona. Vista exterior de la fachada de doble piel y de la pérgola en cubierta. De la superficie total sólo un 30% son auténticas placas fotovoltaicas de silicio policristalino sobre vidrio transparente, el resto es vidrio serigrafado. (Fuente: [www.salleurl.edu](http://www.salleurl.edu))*



*Fig. 109 Academia Mont Genis, Herne (Alemania). Ventanas con aperturas de tijera paralela. Los paneles son células de silicio cristalino sobre Tedlar transparente, con porcentaje de transmisión luminosa variable entre el 47% y el 7%, dependiendo de la distancia entre células. (Fuente: [www.wicona.com](http://www.wicona.com))*

#### 4.15.2.- Integración fotovoltaica en muros cortina modulares.

Los módulos fotovoltaicos se fijan en la estructura de la fachada modular durante la fabricación de ésta en el taller. La ventaja de éste sistema es que todas las conexiones entre cables y las perforaciones para el paso de los conductos se ejecutan y se sellan durante el ensamblaje del módulo de fachada en la fábrica, lo que asegura su calidad.



Si el diseño permite la existencia de perfilaría vista al exterior, los paneles fotovoltaicos se montan mediante la técnica de galce, con presores atornillados por el exterior. Si se busca una imagen de fachada lisa, se empleará un sistema de pegado a un bastidor intermedio.

*Fig. 110 Axonometría de muro cortina modular con integración de paneles fotovoltaicos. Se aprecian las tapas fijadas a presión que permiten el registro del cableado por la parte interior de montantes y travesaños.*

El sistema de fijación mediante pegado estructural directo del módulo fotovoltaico a la estructura del panel modular no es recomendable por sus dificultades de mantenimiento y reposición.

(Martín Chivelet, N., Fernández Solla, I. "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura". Editorial Reverté. Barcelona, 2007)

Cuando integramos el panel fotovoltaico en las zonas opacas del muro cortina modular, las opciones de composición y de acabados son mayores. En este caso, el panel fotovoltaico puede estar integrado en un vidrio simple o doble, aunque siempre debe estar encapsulado dentro de un laminado para su protección. Recordemos que lo ideal sería asegurar una ventilación natural del trasdós del panel, para lo que se pueden dejar las juntas horizontales abiertas y crear una cámara de aire entre el panel fotovoltaico exterior y el panel sándwich con aislamiento y barrera de vapor situado en el interior del módulo de fachada. Ésa cámara permitirá la recogida del agua infiltrada, generalmente en la parte inferior del de cada módulo fotovoltaico. Lo que estamos haciendo es crear pequeñas fachadas ventiladas dentro de un módulo de muro cortina unitario.

Los aspectos constructivos que debemos tener en cuenta a la hora de diseñar fachadas de muro cortina modular con paneles fotovoltaicos integrados son los siguientes:

- La situación y el acceso a la caja de conexiones en la cara interior de cada módulo fotovoltaico.
- La disposición del cableado a lo largo de los perfiles horizontales y verticales, con posibilidad de acceso desde el interior.
- La estanqueidad de las perforaciones para el paso de los cables.
- La durabilidad de los sellados de los dobles acristalamientos en los puntos de paso de los cables.
- La capacidad de los módulos fotovoltaicos para resistir las cargas, tanto de tensiones térmicas como de viento o impacto.

*(Martín Chivelet, N., Fernández Solla, I. "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura". Editorial Reverté. Barcelona, 2007)*

Al tratarse de una fachada modular, lo habitual es que cada módulo de fachada tenga una única perforación de paso de cables al interior – situada a la altura del suelo elevado o del falso techo – y que se hagan las conexiones registrales por el interior.

Un ejemplo muy significativo en nuestro país, de edificio fabricado con muro cortina modular, es la Biblioteca Pompeu Fabra, en Mataró, Barcelona.



*Fig. 111 La fachada principal, orientada al sur, con el muro cortina modular fotovoltaico y con una superficie total de 225 m<sup>2</sup> Arquitecto: Miguel Brullet. Año de construcción : 1996 (Fuente: culturamataro.cat)*

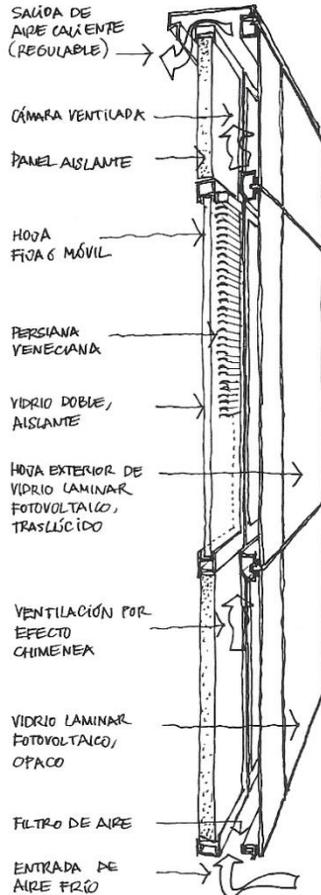


Fig. 112 Esquema del muro cortina modular de doble piel fabricado por TFM, similar al empleado en la Biblioteca Pompeu Fabra. Se puede apreciar que la piel interior se ha hecho parcialmente opaca con paneles sándwich, a diferencia de la solución de la biblioteca.

(Fuente: [www.tectonica.es](http://www.tectonica.es))

1. Forjado.
2. Preanclaje.
3. Anclaje.
4. Montante.
5. Travesaño.
6. Enchufe / embudo.
7. Bloqueo del giro.
8. Apoyo del acristalamiento.
9. Calzo del acristalamiento.
10. Perfil para rotura de puente térmico.
11. Collarín apoyo elástico.
12. Mecha de continuidad.
13. Juntas de estanqueidad y de apoyo, de EPDM.
14. Panel aislante.
15. Acristalamiento de visión.
16. Presor.
17. Tapeta vertical.
18. Tapeta horizontal.
19. Practicable.
20. Cortinero.
21. Cortina o persiana.
22. Falso techo.
23. Soporte.
24. Alero.
25. Bandeja interior.
26. Aislamiento termoacústico.
27. Acristalamiento reflectante y templado.
28. Chapado.
29. Velo de fibra de vidrio.
30. Vidrio de control solar.
31. Intercalarío.
32. Luna flotada incolora.
33. Canales de drenaje.
34. Accesorio drenaje vertical.
35. Luminaria.
36. Conductos climatización.
37. Fan-Coil.
38. Mueble interior.
39. Suelo técnico.
40. Cierre y aislamiento entre plantas.
41. Borra de lana de roca.
42. Chapa de acero galvanizado.
43. Anclaje de fijación a preguía.
44. Taco metálico de expansión
45. Bulón.
46. Regulación micrométrica en altura.
47. Soporte semicélula.
48. Bastidor semicélula.
49. Perfil de marco fijo.
50. Perfil de marco practicable.
51. Fresado para drenaje.
52. Desagüe
53. Lámina de butilo.
54. Sellado con silicona neutra.
55. Taladro rasgado para fijación.
56. Mecanizado para bloqueo del giro.
57. Junquillo.
58. Rastrelado de acero galvanizado.
59. Vierteaguas exterior.
60. Grapa para fijación.
61. Varillas de acero inoxidable.
62. Cable de acero inoxidable.
63. Sistema de atirantado de acero inoxidable.
64. Cordón celular.
65. Silicona estructural.
66. Junta adhesiva a dos caras.
67. Cámara para alojar cortina.
68. Carpintería de aluminio.
69. Célula o panel.
70. Sistema para vidrio abotonado.
71. Taladro en vidrio templado.
72. Taladro troncocónico en vidrio templado.
73. Junta de nylon.
74. Arandela / aro de acero inoxidable.
75. Rótula de acero inoxidable.
76. Pieza torneada de acero inoxidable.
77. Placa de fibrosilicatos.
78. Pared de obra de fábrica o de bloque.
79. Trasdosado interior.
80. Mecha / refuerzo de acero galvanizado.
81. Angular de acero galvanizado.
82. Serpentín para suelo / techo radiante.
83. Circuito de climatización.
84. Difusor / retorno aire.
85. Moldura / perfil remate interior.
86. Perfil tubular de aluminio / acero galvanizado.
87. Compás. Limitador apertura.
88. Montante / mainel de madera laminada.
89. Perfil para cuelgue panel.
90. Escalera con rail para mantenimiento.
91. Lamas de vidrio / aluminio.
92. Pasarela con religa.
93. Cartela acero o aluminio.
94. Vidrio serigrafado.
95. Guía para mantenimiento.
96. Tablero de madera, acabado interior.
97. Placa de fijación acristalamiento de acero inoxidable.
98. Herraje para sistema atirantado.
99. Placa soporte de acero inoxidable.
100. Impulsión de aire.
101. Retorno de aire.
102. Regulación / dilatación.
103. Giro.
104. Cargas gravitatorias.
105. Butiral de polivinilo.
106. Doble acristalamiento aislante.
107. Aplacado de piedra.
108. Cámara de aire respirante.
109. Ventilación natural.
110. Canal aire.
111. Ventilador.
112. Recirculación aire.
113. Perfil tubular estructural de aluminio.
114. Perfil tubular estructural de acero laminado en caliente.
115. Perfil tubular estructural acero laminado en frío.
116. Soporte especial nylon - acero inoxidable.
117. Soporte especial acero inoxidable.
118. Junta vulcanizada de EPDM.
119. Soporte de cierre.
120. Intercalarío para fijación.
121. Perfil de silicona.
122. Fijación bloqueo.
123. Apoyo elástico.
124. Apoyo y retención.
125. Soporte fundición acero inoxidable.
126. Vidrio laminar.
127. Vidrio templado.
128. Mecanizado alojamiento herrajes.
129. Espiga soporte de acero inoxidable.
130. Alojamiento rótula.
131. Junta estanqueidad butilo.
132. Piel interior.
133. Piel exterior.
134. Registro para entrada de aire.
135. Acristalamiento serigrafado y templado.
136. Pletina aluminio anodizado compatible con silicona estructural.

## Capítulo 2.

### CONCLUSIONES.

En toda la temática desarrollada se ha expuesto tecnologías y tratamientos diversos, recubrimientos superficiales, asociaciones laminares, tratamientos lumínicos y solares, cámaras de aire, protecciones móviles, sistemas de instalaciones, mecanismos de fijación y ajuste, materiales complementarios con todo tipo de funciones, pieles y capas y operaciones destinadas a satisfacer la cada vez más compleja exigencia de las edificaciones modernas. Concretamente, el muro cortina, ha sufrido una evolución espectacular en los últimos años, y el ritmo de innovación, hoy en día, es frenético.

Éstos cambios se deben al necesario aumento de escala y complejidad funcional de los edificios y, en cierto modo, es un exponente de los cambios que se están operando en la arquitectura.

Sobre todo hay que destacar el tremendo nivel de complejidad técnica que ha adquirido el cerramiento, y los lazos que se establecen entre su diseño y el resto del edificio.

Los primeros cerramientos modernos han evolucionado hacia elaborados organismos que se suman y participan directamente en las estrategias de estructuras, climatización e iluminación, en los que las instalaciones juegan un papel cada vez más activo.

Las patentes de Le Corbusier para el muro respirante o el muro Trombe, basadas en ideas de Steiff o Wagner de hace ahora 100 años, apostaron por las características activas de estas organizaciones laminares, especialmente adecuadas para un cerramiento que cada vez cuenta menos con el efecto de la masividad.

Con ellos se inició una historia de gran utilidad, que consiste básicamente en la búsqueda de sistemas activos de control del ambiente, a partir de la hoja de vidrio interior, piel exterior y canal de aire resultante, dando pie a las fachadas multifuncionales o de doble piel que actualmente se investigan y aplican simultáneamente.

Por otra parte continúa un proceso de indiferenciación entre pared y cubierta que supera la limitación de la concepción tradicional plana y modular, en la que la única singularidad es la esquina. Hoy en día, de la mano sobre todo de los nuevos atrios, ya frecuente en los espacios de trabajo y ocio, el muro cortina tiene que plegarse o curvarse, y resolver alturas diversas, a veces muy superiores a la de planta: las grandes cubiertas acristaladas serán también muros cortina, y su diseño será inseparable del conjunto estructural que lo soporta.

Estas nuevas posibilidades superan ampliamente el concepto inicial del cerramiento, y el muro canónico se va convirtiendo en una variante sencilla de un sistema potencialmente mucho más complejo.

En consecuencia, la producción del muro cortina se ha transformado notablemente, y sólo la amplitud de productos comerciales y tecnologías industriales que pone en juego supera las capacidades del proyectista ocupado del edificio en su conjunto.

Debido a los crecientes costes de la mano de obra y del personal especializado que son necesarios, los criterios de facilidad de montaje y puesta en obra, mantenimiento, reparabilidad, durabilidad y calidad son determinantes en el diseño.

Las normativas, las leyes de edificación y los reglamentos de aplicación para ensayos en laboratorio, las homologaciones y control de calidad de producto, sistemas y componentes, en taller y en obra, se desarrollan en cada país y se internacionalizan. Todo esto deriva en nuevos niveles de exigencia y control que aumentan la complejidad del producto.

Hay que volver a reconsiderar toda nuestra experiencia, manteniendo el equilibrio entre la aplicación de soluciones tradicionales y de nuevos sistemas.

En ocasiones, las propuestas se basarán en la adaptación literal de formas, materiales y detalles constructivos aplicados en otras obras, que debemos conocer y estudiar, especialmente como estímulo y punto de partida de nuevas ideas y conceptos así como de sus soluciones técnicas.

Retomando la concepción del muro cortina, el diseño de éste, es necesariamente tarea de un amplio equipo de personas con capacidades muy diferenciadas, pues las dificultades del diseño supera los conocimientos generalistas.

***La transparencia y la luz parecen ser virtudes necesarias en los edificios que sintetizan la arquitectura de éste siglo.***

## Capítulo 3.

### BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS DE RED

- **BIBLIOGRAFÍA:**

*Alejandro de la Sota. Revista Arquitectura. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1968*

*Araujo, R., Ferrés, X. Revista Tectónica. Artículo "Muro cortina". Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003*

*Bernstein, J.P. Champetier, F. Pfeiffer. "Construcción. Nuevas técnicas en la obra de fábrica. El muro de dos hojas en la arquitectura de hoy". Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 1968*

*Fengler, M. Estructuras Resistentes y Elementos de Fachada. Editorial Gustavo Gili, 1978*  
*Iñiqui Ábalos y Juan Herreros. "Técnica y arquitectura en la ciudad contemporánea". Editorial Nerea. Madrid, 1992.*

*Joseph s. Amstock. "Manual del Vidrio en la Construcción". Editorial McGraw Hill, 2002*

*Martín Chivelet, N., Fernández Solla, I. "La envolvente fotovoltaica en la arquitectura". Editorial Reverté. Barcelona, 2007*

*Rafael Benedito Zamora. "TFC Ingeniería de Materiales". Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. UPV. Valencia, 2012*

*Ramón Araujo Armero. "La arquitectura como técnica". Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2007*

*Rodríguez Cheda, J.B., Raya de Blas, A. Revista especializada Tectónica. Artículo: "Envolventes" Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2003*

*Rodríguez Cheda, J.B., Raya de Blas, A. Revista Tectónica. Artículo "Vidrio" Editorial ATC Ediciones, S.L. Madrid, 2004*

- **RECURSOS DE RED:**

[es.slideshare.net](http://es.slideshare.net)  
[www.acae.com](http://www.acae.com)  
[www.alumisan.com](http://www.alumisan.com)  
[www.alusuisse.es](http://www.alusuisse.es)  
[www.archdaily.com](http://www.archdaily.com)  
[www.archiexpo.es](http://www.archiexpo.es)  
[www.arqhys.com](http://www.arqhys.com)  
[www.bilderbuch-koeln.de](http://www.bilderbuch-koeln.de)  
[www.cite-sciencies.fr](http://www.cite-sciencies.fr)  
[www.construmática.com](http://www.construmática.com)  
[www.cps.unizar.es](http://www.cps.unizar.es)  
[www.culture24.org.uk](http://www.culture24.org.uk)  
[www.etsav.upc.edu](http://www.etsav.upc.edu)  
[www.gramaconsultores.wordpress.com](http://www.gramaconsultores.wordpress.com)  
[www.hammerson.com](http://www.hammerson.com)  
[www.laveneciana.sggs.com](http://www.laveneciana.sggs.com)  
[www.linagar.com](http://www.linagar.com)  
[www.pilkington.com](http://www.pilkington.com)  
[www.plataformaarquitectura.com](http://www.plataformaarquitectura.com)  
[www.sistemamasa.com](http://www.sistemamasa.com)  
[www.skyscrapercity.com](http://www.skyscrapercity.com)  
[www.tectonica.es](http://www.tectonica.es)  
[www.todoarquitectura.com](http://www.todoarquitectura.com)  
[www.uca.es](http://www.uca.es)  
[www.unne.edu.ar](http://www.unne.edu.ar)  
[www.urbipedia.org](http://www.urbipedia.org)  
[www.vidrioperfil.com](http://www.vidrioperfil.com)  
[www.vitralba.com](http://www.vitralba.com)

*aislaconpoliuretano.com*  
*arquitecturamashistoria.blogspot.com*  
*archist.blogspot.com*  
*blog.nicolinepatricia.com*  
*catalogo.artium.org*  
*cavicaplace.com*  
*copitival.es*  
*docplayer.es*  
*durabuiltwindows.com*  
*es.slideshare.net*  
*es.wikiarquitectura.com*  
*fefofederico.blogspot.com*  
*legadonazari.blogspot.com*  
*oa.upm.es*  
*proyectos4etsa.wordpress.com*  
*repositorio.upct.es*  
*riunet.upv.es*  
*ruc.udc.es*  
*sixtenseason.tumblr.com*  
*structurae.net*  
*teoriadeconstruccion.net*  
*unalhistoria3.blogspot.com*  
*vidrioreciclado1.blogspot.com*  
*vidriosestructurales.blogspot.com*

## Capítulo 4.

### ÍNDICE DE FIGURAS Y PALABRAS CLAVE

- **ÍNDICE DE FIGURAS:**

Fig. 1 Maison de Verre. París, 1929

Fig. 2 Casa Dom-Ino 1914-1915

Fig. 3 Casa del hombre, Zurich, 1964-1965

Fig. 4 Aluminaire House, de Kocher y Frey, año 1931

Fig. 5 Maison du Peuple de Clichy (1938)

Fig. 6 Maison de l'Abbe Pierre (1956)

Fig. 7 Casa de Jean Prouvé (1954)

Fig. 8 Casa Stenberg, Valle de San Fernando (1935)

Fig. 9 Detalle de junta entre paneles.

Fig. 10 Detalle entre panel – claraboya y panel – opaco.

Fig. 11 Diversos tipos de junta doble cerrada.

Fig. 12 Esquema de Fachada Ventilada.

Fig. 13 Placa “composite” con alma de polietileno.

Fig. 14 Esquema de montaje placa composite de Alucobond.

Fig. 15 Panel composite con trillaje tipo “colmena de abeja”

Fig. 16 Renoma Building. Wroclaw. Polonia.

Fig. 17 Museo Reina Doña Sofía. Madrid.

Fig. 18 Dos ejemplos de proyección de aislante sobre subestructura.

Fig. 19 Subestructura con bandejas metálicas.

Fig. 20 Detalle sección anclajes en paneles.

Fig. 21 Esquema de montaje de panel ligero.

Fig. 22 Detalle con nivelaciones de anclaje y perfil.

Fig. 23 Detalle de colocación del sistema Sikatak panel.

Fig. 24 Diferentes ejemplos de montaje de paneles ligeros sobre perfiles. En estos casos, se emplea adhesivo “Sikatak” (de la marca Sika)

Fig. 25 Panel especial de bandeja “Larson” para jambas de ventanas (Sección longitudinal y transversal)

Fig. 26 Paneles de ventanas modulares.

Fig. 27 Cuadro de conductividades térmicas.

Fig. 28 Condensación en fachada.

Fig. 29 Esquemas de comportamiento en estación fría y estación cálida.

Fig. 30 Esquema de montaje de paneles en la fachada ventilada.

Fig. 31 Cuadro de coeficientes de dilatación térmica.

Fig. 32 Efectos de la presión generada por el viento.

Fig. 33 Vista interior de la Sainte-Chapelle en París (1243 – 1248)

Fig. 34 The Palm House, Royal Botanical Gardens, Kew (Burton y Turner, 1844 – 1848)

Fig. 35 Neven DuMont Haus (HPP Hentrich-Petschnigg Partner, 1998). Colonia.

- Fig. 36 Cúpula del Pabellón de Cristal, Bruno Taut, 1914
- Fig. 37 El Pabellón de Cristal (Bruno Taut, 1914)
- Fig. 38 Fábrica Fagus en Alfeld-an-der-Leine (1911/12)
- Fig. 39 Edificio de oficinas para la exposición de la Werkbund. Colonia (1914)
- Fig. 40 Edificio de Bauhaus. (1925 – 26)
- Fig. 41 Rascacielos en la Friedrichstrasse (1919)
- Fig. 42 Maqueta del rascacielos de cristal (1920-21)
- Fig. 43 Muros de vidrio de la Casa Tugendhat en Brno (Van der Rohe, 1928 – 30)
- Fig. 44 Fracaso técnico del “mur neutralisant”, Le Corbusier. Cité de Refuge en París (1930 – 1933)
- Fig. 45 Fábrica Van Nelle. Rotterdam. (1927 – 1929)
- Fig. 46 Boots Pharmaceutical Factory (O. Williams, 1930 - 1932)
- Fig. 47 Procedimiento de fabricación del vidrio conocido como “corona de vidrio”
- Fig. 48 Método revolucionario de fabricación.
- Fig. 49 Museo del vidrio en Kingswinford, Reino Unido (Design Antenna 1994)
- Fig. 50 Lever House (SOM 1950 – 1952)
- Fig. 51 Seagram (Mies van der Rohe, (1956 - 58)
- Fig. 52 Maqueta/planta del proyecto de Casa 50x50
- Fig. 53 La Casa Farnsworth.
- Fig. 54 Atrio de la Fundación Ford en Nueva York (Roche y Dinkeloo, 1967)
- Fig. 55 Configuración de acristalamientos. Aislamiento térmico en la parte superior y acústico en la inferior.

- Fig. 56 Café Bravo en Berlín (Nalbach y Nalbach 1999)
- Fig. 57 Sede de Oracle en Reading (Brownrigg y Turner)
- Fig. 58 Pirámide del Louvre (I.M. Pei y Rice Francis Ritchie, 1988)
- Fig. 59 Viviendas en París (Francis Soler, 1997)
- Fig. 60 Cristal simple y doble.
- Fig. 61 Uso de polímeros en capas termo-trópicas.
- Fig. 62 Vidrio laminar.
- Fig. 63 Revestimientos de baja emisividad, o low-E
- Fig. 64 Centro de desarrollo en Ingolstadt (Fink y Jocher, 1999)
- Fig. 65 Edificio experimental. Nürnberg (Matthias Loebermann, 1998)
- Fig. 66 Interior del Edificio Lloyd's. Londres.
- Fig. 67 Fundación Cartier en París.
- Fig. 68 Instituto del Mundo Árabe.
- Fig. 69 Hotel Industrial Jean Baptiste Berlier.
- Fig. 70 Sección de la fachada del edificio Lloyd's en Londres.
- Fig. 71 Business Promotion Centre en Duisburg.
- Fig. 72 Ciclo de vida del vidrio.
- Fig. 73 Edificio Seagram (Mies van der Rohe y Philip Johnson, 1957)
- Fig. 74 Detalle de bastidor para fachadas.
- Fig. 75 Detalle de estructura para montaje.
- Fig. 76 Esquema de anclajes y uniones entre perfiles.
- Fig. 77 Soluciones clásicas de anclaje y regulación tridimensional.

Fig. 78 Elementos de estanqueidad.

Fig. 79 Patio cubierto del Museo de Historia de Hamburgo (Jörg Schlaich, 1980)

Fig. 80 Banco Atlántico en Barcelona (Mitjans y Balcells, 1968)

Fig. 81 Radiación térmica emitida a través de cerramiento.

Fig. 82 Parasoles en la sede de la compañía Nestlé en Vevey (J. Tschumi, 1958)

Fig. 83 Concurso Edificio Bankuni6n en Madrid (A. de la Sota, a6o 1970)

Fig. 84 Esquema b6sico del montaje de la fijaci6n.

Fig. 85 Detalles de colocaci6n de cortafuegos.

Fig. 86 Ventanas proyectantes. Edificio de oficinas. Esslingen (O. Reutter, 2003)

Fig. 87 Detalles de ventanas practicables

Fig. 88 Edificios “Commonwealth Promenade Apartments”

Fig. 89 Edificio Lloyd’s, Londres (R. Rogers, 1986)

Fig. 90 Edificio Bankuni6n, Madrid (J.A. Corrales y R. V6zquez, 1975)

Fig. 91 Detalles de anclaje.

Fig. 92 Detalle de montaje de fachada acristalada.

Fig. 93 Soluci6n canto del forjado.

Fig. 94 Muro cortina de la General Motors.

Fig. 95 Centro IBM de Rochester.

Fig. 96 Soporte de acristalamientos y paneles pegados con silicona estructural.

Fig. 97 Ensamblaje de vidrios de visi6n.

Fig. 98 Detalle de fijaci6n del atrio acristalado del Hotel Kempinski, en Munich (Schlaich Bergermann y H. Jahn)

Fig. 99 Cables y varilla para unión de cuatro placas.

Fig. 100 Sistema para vidrios laminares.

Fig. 101 Sistema para vidrios mecanizados.

Fig. 102 Sistema para doble vidrio aislante, mecanizado.

Fig. 103 Cerramiento del Invernadero de La Villette. París (A. Fainsilber y P. Rice, 1986)

Fig. 104 Willis Faber, Norman Foster, 1970 - 1975

Fig. 105 Sistema "Alcoa".

Fig. 106 Sistema Schüco.

Fig. 107 Encuentro de un muro cortina de vidrio fotovoltaico traslúcido, de montantes y travesaños, con una fachada ventilada de paneles fotovoltaicos.

Fig. 108 Parque de Innovación Tecnológica La Salle, Barcelona.

Fig. 109 Academia Mont Cenis, Herne (Alemania)

Fig. 110 Axonometría de muro cortina modular con integración de paneles fotovoltaicos.

Fig. 111 Fachada principal, orientada al sur, con muro cortina modular fotovoltaico  
Arquitecto: Miguel Brullet. Año de construcción : 1996

Fig. 112 Esquema del muro cortina modular de doble piel fabricado por TFM.

- **PALABRAS CLAVE:**

- **CASTELLANO:**

- Aislamiento
- Arquitectura
- Cerramiento
- Comportamiento
- Deformación
- Durabilidad
- Edificación
- Energía
- Estructura
- Fachada
- Integración
- Materiales
- Medioambiente
- Muro
- Panel
- Resistencia
- Subestructura
- Transparencia
- Vidrio

➤ ENGLISH:

- Isolation
- Architecture
- Enclosure
- Behavior
- Deformation
- Durability
- Edification
- Energy
- Structure
- Facade
- Integration
- Materials
- Environment
- Wall
- Panel
- Resistance
- Transparency
- Glass

----- X -----