

TESIS DOCTORAL

## **LA HOJA INTERIOR DE LA FACHADA VENTILADA**

### **ANÁLISIS, TAXONOMÍA Y PROSPECTIVA**

AUTORA: Cristina PARDAL MARCH

DIRECTOR: Dr. Ignacio PARICIO ANSUATEGUI

Programa de Doctorado: TECNOLOGIA DE L'ARQUITECTURA, EDIFICACIÓ I URBANISME

Departamento: CONSTRUCCIONS ARQUITECTÒNIQUES I

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA DE BARCELONA - UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA - 2009



## **Agradecimientos.**

Oriol Paris; José M<sup>a</sup> Gutiérrez (R.G.A. Arquitectos); Antonio Ángel Jiménez y Pedro Martín (Artefacto Arquitectos); Joan Barba; Xavier Ferrés; Ferrán Sen (Coperfil); Joan Sabaté (SaAs); Manuel Ruiz Ortega; Teresa Batlle (Pich - Aguilera Arquitectos); Lluís Domenech; Javier López Rey; Jordi Maristany; Climent Molins; Rafael Bellmunt; Helena Coch; José M<sup>a</sup> González; Ignasi Llorens; Fernando Ramos; Fructuoso Mañá; Anna Casas; Helmut Müller; Bernhard Middendorf; Klaus Block; Jörg Schlenger; Ariadana Castelló; Irene Ráfols, Marta Albet, Marcel Jané.

Technal; Coperfil; Folcrá; Sistemas Masa; Disset; Mecanofas; Xella.

M<sup>a</sup> José Salinas, Marta Vidal, Carlota Bernat, Xell Sabaté.

## **Dedicada a**

Mi familia

## **ABSTRACT**

DOCTORAL THESIS

### **THE INNER SKIN OF THE VENTILATED FAÇADE: ANALYSIS, TAXONOMY AND PROSPECTS FOR THE FUTURE**

AUTHOR: Cristina PARDAL MARCH

DIRECTOR: Dr. Ignacio PARICIO ANSUATEGUI

Ventilated façades are all those enclosures that resolve the issue of waterproofing by providing a continuous drainage cavity that underlies the entire skin of the building. By definition, these drainage cavities are encapsulated between two membranes: an outer skin, which typically exhibits open seams, and an inner skin.

Two highly distinct building systems live side by side in conventional ventilated façades. Thus, even though outer membranes and the mechanisms used to attach them have evolved greatly in recent years and have reached a high level of technological sophistication when dry-assembled by specialists, inner membranes are still shackled to tradition. Therefore, the design process for the outer skin cannot gain from the benefits of having a properly planned inner skin.

There has been a recent proliferation in examples of rationalized inner skins, which range from drywall assembled on site to panels and plates. Still, few of these have been conceived of as part of an all-encompassing façade system.

This study focuses on the development of a panel for the inner skins of ventilated façades. Though this panel will be prefabricated, it is still intended to provide a rigorous response to the functionalities and requirements demanded of it.

The hypothesis of this study is that panel design is conditioned by the different possible ways of grouping the basic inner skin functionalities; namely, whether they will be met by a specific element or delegated to a separate layer. The most basic functionalities are those that are indispensable to make a space habitable in terms of thermal comfort, acoustical insulation and being airtight. To these three functionalities we can also add fire retention and the capacity to bear wind load and self weight. Whichever functionalities are not satisfied by the panel must be resolved by layers added to the façade system.

The functionality that defines a panel per se is that of load bearing capacity with respect to horizontal forces and self weight; this functionality cannot be left unsatisfied. The different possibilities for providing for the remaining functionalities or delegating them to layers outside the panel are what shape the six functional typologies under which we can group the panel proposals.

Having a functional taxonomy allows one to clearly state which requirements each panel satisfies, which in turn facilitates the task of defining the overall behavior of the façades they are used to build. It is precisely this definition of a unitary behavior that is missing from the empirical construction techniques used at present in the inner skins of ventilated façades.

Whether all the functionalities are satisfied is directly related to the physical properties of the materials they have been entrusted to. Combining functionalities implies combining concrete physical properties, though not every functionality can be met by a single material at the levels that are required to provide adequate comfort conditions.

The diverse array of morphologies that can arise in panel design provide designers with a tool for marrying physical properties that in stand-alone materials would be irreconcilable. By using techniques such as lamination, ribbing and stamped patterns – in other words, the heterogenization of the panel – many panel characteristics can be modified.

This theoretical analysis is derived from a search for the single material, or combination of materials, that best suits each of the diverse morphologies that are assigned to each of the functional typologies. As a result, we have divided these into fifteen panel proposals, all of which are based on products available on the market that either are or could come to be used in the inner skins of ventilated façades.

The evaluation of these panel solutions is based on whatever ventilated façade designs they allow one to build; in other words, they are evaluated by taking into account all the added elements that one must include to complete the façade system. The criteria used to evaluate them are established by the vectors underlying the evolution of the sector.

These vectors are both socioeconomic and methodological. While the former are driven by social and economic demands that are external to the sector (such as a crisis of responsibilities, clients' demands that products meet their needs, or the optimization of available resources), the latter arise in response to the former, based on whichever design and production criteria reign at present. Thus, the vectors underlying the evolution of the sector have a different effect on each individual scenario.

Two scenarios have been proposed herein: an innovative scenario and a conservative one. While the first stimulates industry by imagining the necessities that must be provided with an answer, the second follows it in tow.

The importance of each of the parameters that stem from the vectors driving evolution is distinct in each scenario. Likewise, not all these parameters establish criteria for evaluation that allow one to identify one solution as objectively better than the rest, as in some scenarios similar values are given by distinct façade solutions that apply the panel proposals.

To the criteria that stem from the vectors underlying evolution, one must add the criteria of satisfying service functionalities (which are not encompassed in the taxonomy), in addition to parameters related to the viability of each solution.

Once the façade – and panel – solutions have been analyzed from the perspective of the criteria mentioned herein, one can divide them into three groups that are characterized by a greater or lesser degree of multi-functionality and design optimization.

Within each of these groups, the morphological proposal that best meets the panel requirements will come to light.

In short, there are five panel proposals that best meet the requirements of the inner skins of ventilated façades; one corresponds to each of the different functional typologies. They tend to be homogeneous and flat in plane except for the two extreme functional typologies: when the thermal functionality is included amongst those met by the panel, and in the case of a panel that does not require a continuous thickness in section. The former makes use of a sandwich panel, while in the latter the panel is ribbed.

### **Prospects for the Future**

As we have said, there is a diverse range of scenarios, none of which evolve in parallel fashion to one another, nor at the same rate. Along these lines, the five panel solutions highlighted herein are understood as optimal insofar as providing a response to distinct scenarios.

In parallel fashion, other elements are arriving on the scene that are able to provide a response to many functionalities based on a suitable combination in one complex component based on a range of specialized materials. Such a façade panel will always be multifunctional, as there is no aim to add successive layers to it on site. Its design is optimized already, and is thus based on specialized materials.

## Índice

### INTRODUCCIÓN

#### Capítulo 1 – ESTADO DEL ARTE Y PROPÓSITO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN. 7

##### 1.1.- Estado del arte.

1.1.1.- **Fachada ventilada.** *La función de estanqueidad al agua especializada.*

##### 1.1.2.- **Empirismo y racionalización.**

*La construcción empírica permanece en un sistema que tiende a la tecnificación.*

##### 1.1.3.- **Primeras propuestas de racionalización del conjunto de la fachada.**

*Del tabique seco a los paneles y chapas portantes frente acciones horizontales.*

##### 1.2.- **Propósito del trabajo de investigación: Búsqueda de alternativas a la hoja interior de albañilería.**

1.2.1.- **Objetivo.** *Definir las soluciones de panel más adecuadas para resolver la hoja interior de la fachada ventilada.*

##### 1.2.2.- **Hipótesis.**

1.2.3.- **Estrategia.** *Definición del panel según las funciones que reagrupa.*

1.2.3.1.- **La reasignación funcional como criterio de diseño del panel.**

1.2.3.2.- **Función definitoria del panel: la portante frente acciones horizontales.**

### FUNCIONES Y REQUERIMIENTOS DE LA HOJA INTERIOR, Y PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS

#### Capítulo 2 – IDENTIFICACIÓN DE LAS FUNCIONES PROPIAS DE LA HOJA INTERIOR Y DE LOS REQUERIMIENTOS EXIGIBLES. 17

##### 2.1.- **Funciones de acondicionamiento y de servicio.**

*Debidas a exigencias normativas y arquitectónicas, con el objetivo de dotar al espacio interior del adecuado nivel de confort.*

2.1.1.- **Funciones de acondicionamiento que pueden o deben resolverse en la hoja interior de la fachada.** *El cerramiento es el filtro que regula la acción incidente.*

2.1.2.- **Funciones de servicio que pueden o deben resolverse en la hoja interior de la fachada.**

*El cerramiento es el soporte que posibilita estas funciones.*

##### 2.2.- **Otros requerimientos exigibles a la hoja interior de la fachada.**

**Capítulo 3 – PROPIEDADES FÍSICAS IMPLICADAS EN LA SATISFACCIÓN DE LAS FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO. 21**

- 3.1.- **Control térmico.** *Conductividad térmica, calor específico y emisividad.*
- 3.2.- **Retención del fuego.** *Conductividad y dilatación térmicas. Combustibilidad.*
- 3.3.- **Amortiguación acústica.** *Masa y absorción.*
- 3.4.- **Función portante.** *Módulo resistente, módulo de rigidez y tensión admisible a flexión.*
- 3.5.- **Estanqueidad al aire.** *Sellado.*

**TAXONOMÍA Y PROPUESTAS DE PANEL**

**Capítulo 4 – TAXONOMÍA DEL PANEL PARA LA HOJA INTERIOR PORTANTE SEGÚN CRITERIOS FUNCIONALES. 33**

- 4.1.- **Relevancia del criterio funcional.**  
*La taxonomía funcional permite una aproximación a la racionalización del comportamiento de la fachada.*
- 4.2.- **Segregación de las funciones de la hoja interior.**  
*La progresiva segregación de funciones, a partir de una hipotética hoja interior de una sola capa multifuncional, define los distintos tipos funcionales.*
- 4.3.- **Secuencia en la segregación.**  
*El orden lo establece el carácter restrictivo en cuanto al diseño de la hoja interior.*
- 4.4.- **Tipos funcionales resultantes.** *Tipos funcionales: 5, 4T, 4F, 3, 2, 1*

**Capítulo 5 – DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DEL PANEL PARA LA HOJA INTERIOR PORTANTE, Y DEFINICIÓN DE PROPUESTAS A PARTIR DE LA ASIGNACIÓN DE MATERIALES. 41**

- 5.1.- **Definición de morfologías.**  
*Alternativas morfológicas: homogéneo, sándwich, hueco, nervado, grecado, entramado.*
  - 5.1.1.- **Paneles de geometría homogénea.**
  - 5.1.2.- **Paneles heterogéneos.**
    - 5.1.2.1.- **Sucesión de láminas.** *Estratificados, laminados y sándwiches.*
    - 5.1.2.2.- **Vaciado interior con o sin material de relleno.** *Huecos.*
    - 5.1.2.3.- **Alteraciones geométricas en superficie.** *Nervados, gofrados y plegados.*
    - 5.1.2.4.- **Panel discontinuo.** *Entramados.*
- 5.2.- **Relación de las alternativas morfológicas con los tipos funcionales.**

- 5.3.- **Propuestas materiales de panel.**
  - 5.3.1.- **Paneles de geometría y material homogéneos.**
  - 5.3.2.- **Paneles heterogéneos.**
    - 5.3.2.1.- **Sucesión de láminas.** *Estratificados, laminados y sándwiches.*
    - 5.3.2.2.- **Vaciado interior con o sin material de relleno.** *Huecos.*
    - 5.3.2.3.- **Alteraciones geométricas en superficie.** *Nervados, gofrados y plegados.*
    - 5.3.2.4.- **Panel discontinuo.** *Entramados.*
- 5.4.- **Resumen de las propuestas materiales de panel acordes con las distintas morfologías y para cada tipo funcional. Aplicación en la fachada ventilada.**

ANÁLISIS DE LAS FACHADAS VENTILADAS QUE RESULTAN DE LA APLICACIÓN DE LAS PROPUESTAS DE PANEL.

Capítulo 6 – **VECTORES DE EVOLUCIÓN Y ESCENARIOS QUE SE DIBUJAN EN EL SECTOR.** 65

- 6.1.- **Ámbito socioeconómico.**
  - 6.1.1.- **Crisis de responsabilidades.** *Montaje de piezas muy completas, de gran tamaño y con mecanismos de unión inequívocos.*
    - 6.1.1.1.- **El componente complejo.** *“La caja negra”.*
    - 6.1.1.2.- **El tamaño del componente.**
    - 6.1.1.3.- **Encuentros entre elementos y sistemas.** *Nexos.*
  - 6.1.2.- **“Clientalización”.** *Diseño de componentes según las necesidades del cliente.*
  - 6.1.3.- **Optimización de recursos.**  
*Aprovechamiento de los recursos tanto materiales como de energía.*
- 6.2.- **Ámbito metodológico.**
  - 6.2.1.- **Diseño convergente.**
    - 6.2.1.1.- **Reasignación de funciones.**
    - 6.2.1.2.- **Replanteamiento del proceso global.**
  - 6.2.2.- **Soluciones versátiles.**
    - 6.2.2.1.- **Perfectibilidad.**
    - 6.2.2.2.- **Flexibilidad.**
    - 6.2.2.3.- **Adecuación a cambios normativos.**
- 6.3.- **Escenarios que se dibujan en el sector.**
  - 6.3.1.- **Conservador.** *Incorpora de forma lenta las novedades que aporta la industria – Push.*
  - 6.3.2.- **Innovador.** *Motor del cambio – Pull.*

- 7.1.- Criterios de análisis.
  - 7.1.1.- Forma del material. *“Clientalización” y optimización de recursos.*
  - 7.1.2.- Multifuncionalidad. *Garantía de calidad y optimización de recursos.*
    - 7.1.2.1.- Mínimas operaciones de montaje.
    - 7.1.2.2.- Mínima mano de obra y tiempo de ejecución.
  - 7.1.3.- Formato. *Garantía de calidad y optimización de recursos.*
    - 7.1.3.1.- Peso y tamaño. *Minimizar el número de juntas.*
    - 7.1.3.2.- Espesor. *Optimizar la superficie edificable.*
  - 7.1.4.- Encuentros entre elementos y sistemas. *Garantía de calidad y optimización de recursos.*
    - 7.1.4.1.- Encuentros duraderos. *Garantía de calidad.*
    - 7.1.4.2.- Encuentros inequívocos. *Garantía de calidad.*
    - 7.1.4.3.- Encuentros reversibles. *Soluciones versátiles. Optimización de recursos.*
  - 7.1.5.- Materiales. *Repercusión económica y medioambiental.*
    - 7.1.5.1.- Valoración económica.
    - 7.1.5.2.- Valoración medioambiental.
- 7.2.- Análisis de las soluciones de fachada que resultan de la aplicación de las propuestas de panel.

## CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA

- 8.1.- Conclusiones.
  - 8.1.1.- Soluciones de panel agrupadas según su aportación al conjunto de la fachada.
  - 8.1.2.- Idoneidad de las soluciones de panel.
    - 8.1.2.1.- Morfologías poco adecuadas a determinados tipos funcionales.
    - 8.1.2.2.- Soluciones de panel óptimas para los distintos tipos funcionales.
- 8.2.- Prospectiva.
  - 8.2.1.- De los semiproductos y componentes al componente a medida de diseño complejo.
  - 8.2.2.- De los materiales multifuncionales a los especializados integrados en componentes a medida de diseño complejo.
  - 8.2.3.- Los consorcios de industriales y las garantías compartidas.

## **Documentos de Desarrollo**

*Desarrollo 1: Proceso de cambio en la fachada ventilada. Estudio de casos.*

*Desarrollo 2: Funciones propias de la hoja interior y requerimientos exigibles.*

*Desarrollo 3: Análisis general de las posibles morfologías del panel.*

*Desarrollo 4: Ensayo del panel sándwich de hormigón.*

*Desarrollo 5: Justificación de los valores contemplados en el análisis.*

*Desarrollo 6: Consideraciones constructivas a tener en cuenta en el futuro desarrollo de soluciones de fachada ventilada con paneles de hoja interior como soporte del conjunto.*

## **Fichas de las distintas propuestas de panel**

*Ficha 1 Panel de hormigón aireado curado en autoclave y armado con redondos de acero protegidos frente a la corrosión.*

*Ficha 2 Sándwich de hormigón ligero y poliestireno extruido.*

*Ficha 3 Paneles de hormigón de alta resistencia armado con fibras de acero: plano, nervado, nervado exento a la lámina continua unido por conectores.*

*Ficha 4 Panel contrachapado de madera.*

*Ficha 5 Panel hueco de madera y lana de roca.*

*Ficha 6 Panel sándwich con núcleo de lana de roca y laminas perimetrales de acero galvanizado.*

*Ficha 7 Panel de hormigón de árido ligero armado con redondos de acero.*

*Ficha 8 Bandejas de acero.*

## **Terminología**

## **Bibliografía**

# INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN	FUNCIONES Y REQUERIMIENTOS. PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS	TAXONOMÍA Y PROPUESTAS	ANÁLISIS DE LAS FACHADAS VENTILADAS RESULTANTES	CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA
<b>1</b> • ESTADO DEL ARTE Y PROPÓSITO DEL TRABAJO	<b>2</b> • FUNCIONES Y REQUERIMIENTOS DE LA HOJA INTERIOR <b>3</b> • PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS	<b>4</b> • TAXONOMÍA SEGÚN CRITERIOS FUNCIONALES <b>5</b> • DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y DEFINICIÓN DE PROPUESTAS	<b>6</b> • VECTORES DE EVOLUCIÓN Y ESCENARIOS <b>7</b> • ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES DE FACHADA VENTILADA	<b>8</b> • CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA

## Capítulo 1.- ESTADO DEL ARTE Y PROPÓSITO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

*Ampliado en el documento de Desarrollo 1*

### 1.1.- Estado del arte.

#### 1.1.1.- Fachada ventilada.

*La función de estanqueidad al agua especializada.*

La fachada ventilada es aquel cerramiento caracterizado por resolver la estanquidad al agua por medio de una cámara drenante continua en todo su plano. Para la definición de dicha cámara se precisan dos hojas<sup>1</sup> que la limiten: la exterior, normalmente de juntas abiertas, y la interior.

Dado que los requerimientos que debe satisfacer el cerramiento de cara a la obtención del adecuado nivel de confort no se pueden reducir, las funciones exigidas a cada una de estas hojas son varias.

Salvo la estanqueidad al agua, una cierta aportación a la atenuación acústica y a la disipación de la radiación directa del sol por convección en el interior de la cámara; el resto de requerimientos quedan delegados a la hoja interior.

<sup>1</sup> HOJA: Cada una de las capas o grupos de capas que limitan la cámara drenante. Se distinguen dos hojas, la exterior y la interior, en función de su posición: entre la cámara y el exterior o entre ésta y el espacio habitable.



### 1.1.2.- Empirismo y racionalización.

*La construcción empírica permanece en un sistema que tiende a la tecnificación.*

En la fachada ventilada convencional conviven dos sistemas constructivos muy distintos. Así como la hoja exterior y sus mecanismos de fijación han experimentado un gran desarrollo en estos últimos años que los ha llevado a un alto nivel de tecnificación acompañada del montaje en seco confiado a especialistas; la hoja interior sigue, en general, atada a la tradición.

La albañilería, tanto de pieza cerámica como de bloque de hormigón, es la técnica empleada habitualmente para esta hoja. Su ejecución precisa otro tipo de operario, un albañil con oficio, un artesano, capaz de unir con pasta de mortero una serie de pequeños elementos hasta conformar un muro bien trabado. Es de su buen hacer de lo que depende el correcto funcionamiento de la fachada.

Dos técnicas muy distintas conviven en un mismo elemento arquitectónico. Así como la primera confía en el desarrollo tecnológico, la segunda lo hace en las capacidades de la mano de obra. Una es limpia y seca mientras que la otra va acompañada de una considerable generación de escombros y del empleo de aglomerantes que precisan de un tiempo de fraguado.

Esta convivencia no supondría ningún problema si permitiera concebir la fachada como un conjunto. Las pocas garantías, principalmente de estabilidad y planeidad, que da la hoja interior no permiten confiar en ella como soporte. La hoja exterior se diseña de manera autónoma, fijándose únicamente a los cantos de los forjados en muchos casos e incorporando más o menos complejos mecanismos para regular la planimetría.

**La hoja exterior no confía para su diseño en las bondades que una hoja interior correctamente planteada podría aportar.**

La fachada ventilada supone grandes ventajas respecto a la convencional, pero aún no ha llegado a su óptimo desarrollo. Estamos en un punto intermedio del proceso evolutivo. Sólo a partir de una concepción global del sistema se puede llegar a su optimización.

No sólo la hoja interior da pocas garantías en cuanto a su ejecución debido a la progresiva pérdida del oficio de albañil, sino que debe dar respuesta a varias funciones sin un análisis previo de los mecanismos de que dispone para satisfacerlas.

La fachada ventilada incorpora un mecanismo específico para lograr la estanquidad al agua y, en la mayoría de los casos, también para conseguir el aislamiento térmico. El resto de requerimientos del cerramiento siguen al abrigo de un material de amplio espectro capaz de darles cabida a todos pero **al que no se ha llegado tras un análisis funcional detallado sino que aparece como reminiscencia de la construcción convencional empírica.**

Falta por realizar este análisis funcional del conjunto de la fachada que permita determinar en qué lugar dentro de la sección del cerramiento y de qué manera se debe resolver cada función.

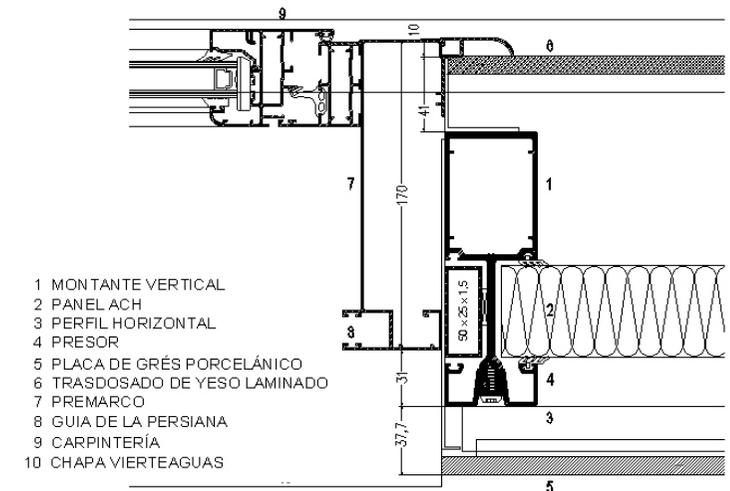
### 1.1.3.- Primeras propuestas de racionalización del conjunto de la fachada.

*Del tabique seco a los paneles y chapas portantes frente acciones horizontales.*

Equipos formados por arquitectos e industriales de ramos próximos al cerramiento de fachada han planteado propuestas que anuncian hacia donde puede ir esta evolución.



Hotel AC – Fórum Barcelona.  
G.C.A. SL y MAP Arquitectos.



Detalle tipo del sistema Mecanofas.



Edificio de viviendas en Piera. Fachada de Mecanofas. Arq. Joan Barba.



Viviendas en la Rue Meaux, Paris. Arq. Renzo Piano.

Tabiquerías secas, chapas, bandejas, sándwiches..., tantas han sido las iniciativas como desordenados los criterios.

La solución más simple se basa en entender la hoja interior de la fachada ventilada como un tabique de construcción seca formado por el clásico entramado de montantes y canales de acero galvanizado plementado con placas de cemento o chapa grecada también de acero. Por lo general, en estos casos, la hoja exterior se desvincula de la interior que difícilmente podría soportar la acción del viento. Es una vía hacia la prefabricación de la hoja interior que sigue sin contemplar la fachada como un todo.

La búsqueda de la máxima optimización del entramado justifica la proliferación de otros sistemas que sí le confían la capacidad portante del conjunto de la fachada. Algunos se basan en la tecnología, ya conocida, del muro cortina “stick”.

En estos sistemas sí existe una lectura global. Son entramados plementados que aún dependen del montaje in situ, pero fácilmente se podrían trasladar estas operaciones de fijación en seco al taller, llevando a obra paneles componentes.

El formato de panel parece ser el adecuado desde el punto de vista de la puesta en obra de manera que, cualquier tipo de panel encuentra cabida en esta nueva aplicación: paneles monolíticos macizos o aligerados, nervados, gofrados, etc.

La fachada de las viviendas de la Rue des Meaux en Paris, de Renzo Piano, es ya un paradigma histórico. Se trata de uno de los primeros casos que conocemos en el que aparece una hoja interior prefabricada como soporte del conjunto de la fachada.

El problema de cerrar un hueco con una lámina lo suficientemente alta, ancha y gruesa, para que pueda cubrirlo anclándose directamente a la estructura principal del edificio se puede resolver también a partir de bandejas de chapa, normalmente de acero. La geometría de la bandeja genera un nervado que conforma el espacio de la cámara ventilada a la vez que permite fijar la hoja exterior directamente o sobre travesaños.

La normativa vigente, “Código Técnico de la Edificación”, en adelante CTE, aparece como un obstáculo en esta evolución que experimenta la fachada ventilada convencional al exigir, para cualquier solución constructiva alternativa a las que el propio documento propone, la aprobación de un Documento Reconocido que garantice el cumplimiento de las prestaciones indicadas. Cualquier propuesta innovadora que no vaya ligada a una empresa capaz de darle soporte resulta inviable económicamente.

La mayoría de las soluciones citadas, y las que se contemplan en el desarrollo de esta sección (*desarrollo 1*), no se ajustan a las propuestas constructivas que recoge el CTE por lo que necesitan ir acompañadas del correspondiente Documento Reconocido.

Lo que aparentemente resulta negativo para la innovación tecnológica aplicada a la construcción debe entenderse como el catalizador de un proceso de cambio cuyo desenlace depende de la adecuada gestión de los organismos que representan al sector.

2

---

<sup>2</sup> *Desarrollo 1: Proceso de cambio en la fachada ventilada. Estudio de casos.*



Viviendas VPO en Guadalajara.  
Artefacto Arquitectos.

## **1.2.- Propósito del trabajo de investigación: Búsqueda de alternativas a la hoja interior de albañilería.**

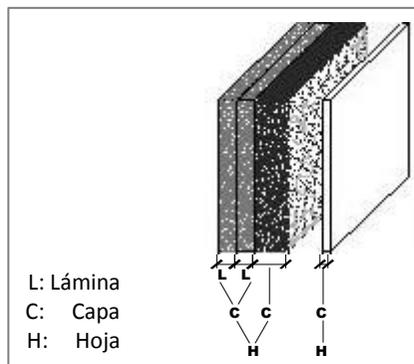
---

1.2.1.- Objetivo. *Definir las soluciones de panel más adecuadas para resolver la hoja interior de la fachada ventilada.*

Este trabajo se centra en el desarrollo de un panel<sup>3</sup> que resuelva la hoja interior de la fachada ventilada de manera prefabricada y de una respuesta rigurosa a las funciones y requerimientos que le son propios. Este panel constituye el soporte de la fachada pero no forma parte de la estructura principal del edificio

1.2.2.- Hipótesis.

La hoja interior de la fachada ventilada debe resolverse con un panel semiproducto o componente multifuncional y optimizado en su diseño para dar respuesta a las funciones que recaen sobre él. Este panel es de gran formato y emplea técnicas de fijación en seco y reversibles.



---

<sup>3</sup> *PANEL: Capa situada en la hoja interior y que asume las acciones horizontales y el peso propio del conjunto de la fachada.*

*CAPA: Semiproducto o componente de geometría plana y de gran formato, integrado en el grueso de alguna de las hojas que forman la fachada. Puede ser simple o estar formado por una estructura heterogénea a partir de la combinación de varios materiales. En ambos casos la respuesta será siempre unitaria ante esfuerzos de flexión.*

*LAMINA: Plano formado por un único material. Puede estar incorporado a una capa o definir el solo una capa simple.*

1.2.3.- Estrategia. Definición del panel según las funciones que reagrupa.

1.2.3.1.- La reasignación funcional como criterio de diseño del panel.

El tipo de panel fruto de este trabajo de investigación será diverso dependiendo de la agrupación de funciones que se considere debe cumplir.

Los paneles con los que se trabaja tanto pueden ser semiproductos como componentes, es decir que serán productos con un alto grado de prefabricación que en algunos casos sí admitirán variaciones dimensionales en obra (semiproductos) mientras que en otros no (componentes).

**La condición de semiproducto o componente del panel implica que su análisis se realizará en base a las funciones que incorpora en el momento de llegar a obra.**

Elementos añadidos in situ para completar el sistema de fachada no forman parte del panel.

Las funciones que se considera debe satisfacer la hoja interior de la fachada son las indispensables para dotar al espacio habitable del adecuado nivel de confort térmico, acústico y de estanqueidad al aire. La protección frente a la propagación del fuego y la portante en relación a las acciones que actúan sobre el cerramiento y su peso propio son también funciones básicas.

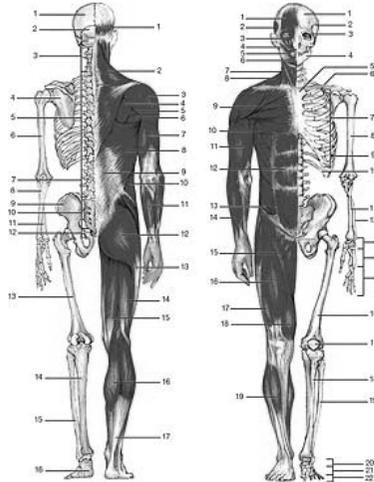
El resto de requerimientos no se contemplan en la definición de propuestas para la hoja interior pero sí serán determinantes a la hora de establecer una valoración para cada una de ellas.

1.2.3.2.- Función definitoria del panel: la portante frente acciones horizontales.

Las funciones que se pueden agrupar sobre el panel son varias, pero sólo existe una que se repite en todas las combinaciones: la portante.

**De las diversas capas que pueden resolver la hoja interior de la fachada ventilada se identifica como el panel objeto de estudio aquella que satisface la función portante del conjunto.**

En cualquier sistema, no únicamente constructivo, una vez identificado el esqueleto, cualquier otro requerimiento se puede resolver añadiendo una función a este soporte o incorporando sobre él un nuevo elemento. Si el soporte no está definido, el sistema no está estructurado, de manera que el resto de elementos que lo forman no pueden fijar su posición ni ser sustentados.



FUNCIONES Y REQUERIMIENTOS DE LA HOJA  
INTERIOR, Y PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS



INTRODUCCIÓN	FUNCIONES Y REQUERIMIENTOS. PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS	TAXONOMÍA Y PROPUESTAS	ANÁLISIS DE LAS FACHADAS VENTILADAS RESULTANTES	CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA
1 • ESTADO DEL ARTE Y PROPÓSITO DEL TRABAJO	2 • FUNCIONES Y REQUERIMIENTOS DE LA HOJA INTERIOR 3 • PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS	4 • TAXONOMÍA SEGÚN CRITERIOS FUNCIONALES 5 • DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y DEFINICIÓN DE PROPUESTAS	6 • VECTORES DE EVOLUCIÓN Y ESCENARIOS 7 • ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES DE FACHADA VENTILADA	8 • CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA

## Capítulo 2.- IDENTIFICACIÓN DE LAS FUNCIONES PROPIAS DE LA HOJA INTERIOR Y DE LOS REQUERIMIENTOS EXIGIBLES.

*Ampliado en el documento de Desarrollo 2*

### 2.1.- Funciones de acondicionamiento y de servicio.

*Debidas a exigencias normativas y arquitectónicas, con el objetivo de dotar al espacio interior del adecuado nivel de confort.*

La idoneidad de las distintas propuestas de panel para la hoja interior de la fachada ventilada dependerá de la satisfacción de las **funciones**<sup>4</sup> esenciales para garantizar el adecuado nivel de confort y condiciones de uso; así como del cumplimiento de una serie de **requerimientos** exigibles por cuestiones de puesta en obra, económicas, etc.

Las **características** deberán ser las adecuadas para que las funciones y los requerimientos se resuelvan de forma satisfactoria. No son exigencias en sí mismas sino que definen

<sup>4</sup> **FUNCIÓN:** Tarea que debe satisfacer, en este caso, el cerramiento o alguna de sus partes.

**REQUERIMIENTO:** Exigencia no funcional. Ej: Espesor, peso, coste, color, etc.

**CARACTERÍSTICA:** Condición indispensable para que se puedan satisfacer las funciones o requerimientos durante el tiempo de vida útil del edificio y según las demandas de la sociedad. Ej: Durabilidad, bajo impacto ambiental, salubridad, etc.

cómo debe ser cada elemento para poder desempeñar su función o dar respuesta a un requerimiento.

De los dos tipos básicos de funciones: acondicionamiento y servicio, sólo las primeras implican el control de flujos, tanto energéticos como de materia, a través de la fachada. Son las funciones que mayor incidencia tienen en el diseño y definición de los materiales que forman el cerramiento.

Las funciones de servicio son poco relevantes en la elección de materiales, aunque sí suelen incidir en los tratamientos de acabado superficial. También se deben considerar a la hora de estructurar el conjunto de capas que forman el cerramiento, aunque normalmente no introducen variaciones considerables al diseño que, en base al control de flujos, se haya planteado.

Para las funciones de acondicionamiento el cerramiento puede actuar tanto como un filtro, una barrera, un acumulador, etc., pero siempre contemplando que altera la progresión del flujo de energía o de materia. En el caso de las funciones de servicio el cerramiento se entiende como un soporte material.

2.1.1.- Funciones de acondicionamiento que pueden o deben resolverse en la hoja interior de la fachada. *El cerramiento es el filtro que regula la acción incidente.*

Las funciones que pueden repercutir en el diseño de la hoja interior que se contemplan en este estudio son las siguientes:

Funciones de acondicionamiento de la hoja interior:

- . Estabilidad de la propia hoja y del conjunto de la fachada.
- . Confort térmico.
- . Resistencia al fuego.
- . Atenuación acústica.
- . Estanqueidad al aire.

2.1.2.- Funciones de servicio que pueden o deben resolverse en la hoja interior de la fachada. El cerramiento es el soporte que posibilita estas funciones.

De las funciones de servicio no se desprenden valores cuantificables, pero sí repercuten en el diseño del cerramiento. El tendido de instalaciones, por ejemplo, puede condicionar la superposición de capas a la vez que se ve favorecido por determinadas geometrías del panel.

Funciones de servicio de la hoja interior:

- . Dar el acabado interior.
- . Albergar instalaciones.

## **2.2.- Otros requerimientos exigibles a la hoja interior de la fachada.**

Los requerimientos no funcionales que hoy en día se exige al panel portante de fachada en base a los condicionantes que orientan el desarrollo de las soluciones constructivas son: poco espesor y ligereza. No existe para ellos un valor límite normativo.

En el caso del espesor, cuanto más delgado mejor ya que la relación entre la superficie construida y la útil se ve optimizada.

- Hipótesis de carga  
Panel de dimensiones 3,30 x 1,00 x e m (espesor a determinar según propuestas)  
Uniones a la estructura principal articuladas  
Luz aproximada entre apoyos 3 m  
Carga de viento a considerar: 200 kg/m<sup>2</sup>  
Flecha admisible: L / 200  
Acción de cargas puntuales de tracción o compresión: 85 kg

- Resistencia al fuego: EI 60  
- Reacción al fuego: B-s3 d0  
- Atenuación acústica: 32 dBA  
- Transmitancia máxima: 0,57 W/m<sup>2</sup>K  
- Peso del conjunto de fachada: 200 kg/m<sup>2</sup>  
- Peso de la hoja interior: 125 kg/m<sup>2</sup>

Valores considerados para elaborar las propuestas de panel.

En relación a la ligereza, las ventajas en cuanto a la disminución de sobrecargas, facilidad de manipulación en obra, transporte, etc. se ven contrarrestadas por la poca eficacia en la respuesta acústica por masa.

Con la voluntad de trabajar con paneles ligeros pero sin mermar en extremo la respuesta acústica, el valor para el peso se ha establecido en el máximo que el CTE asigna a las fachadas ligeras en el documento “Protección frente al ruido”, es decir 200 kg/m<sup>2</sup>.

Requerimientos:

- . Poco espesor.
- . Ligereza.

<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Desarrollo 2: Funciones propias de la hoja interior y requerimientos exigibles.

INTRODUCCIÓN	FUNCIÓNES Y REQUERIMIENTOS. PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS	TAXONOMÍA Y PROPUESTAS	ANÁLISIS DE LAS FACHADAS VENTILADAS RESULTANTES	CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA
1 • ESTADO DEL ARTE Y PROPÓSITO DEL TRABAJO	2 • FUNCIÓNES Y REQUERIMIENTOS DE LA HOJA INTERIOR 3 • PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS	4 • TAXONOMÍA SEGÚN CRITERIOS FUNCIONALES 5 • DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y DEFINICIÓN DE PROPUESTAS	6 • VECTORES DE EVOLUCIÓN Y ESCENARIOS 7 • ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES DE FACHADA VENTILADA	8 • CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA

### Capítulo 3.- PROPIEDADES FÍSICAS IMPLICADAS EN LA SATISFACCIÓN DE LAS FUNCIONES DE ACONDICIONAMIENTO.

Determinados requerimientos precisan para su satisfacción materiales de propiedades físicas antagónicas. Este es el caso del aislamiento acústico y el térmico, o de este último y la función portante.

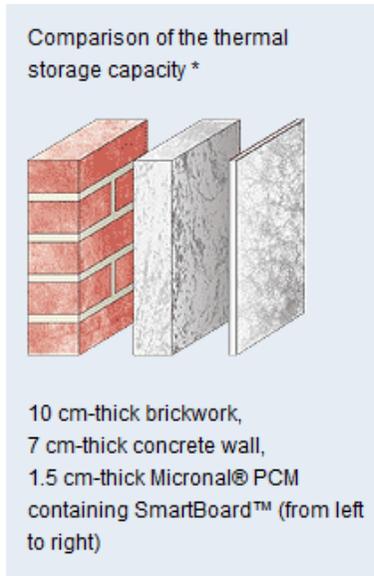
Las propuestas de panel que dan respuesta a las distintas posibilidades de agrupación de funciones sobre el elemento portante van a depender de las **propiedades físicas más representativas implicadas en la satisfacción de dichas funciones y su posibilidad de combinarse en un único material o panel compuesto.**

#### **3.1.- Control térmico.**

*Conductividad térmica, calor específico y emisividad.*

Los mecanismos para lograr el control térmico a través del cerramiento de fachada son dos: la inercia y el aislamiento.

La inercia supone la acumulación de energía en los materiales que forman los sistemas en contacto con el espacio habitable, techos, divisorias interiores, etc. La acumulación de esta energía en el cerramiento de fachada contribuye a regular el intercambio térmico



Micronal - BASF.



Aislamiento térmico reflectivo Actis.

con el exterior ralentizando el proceso de calentamiento o enfriamiento del espacio habitable. Su idoneidad depende de las pautas de uso de dicho espacio.

Para formalizar este acumulador se puede recurrir a materiales de mucha masa y alto calor específico, o a otros que captan y ceden calor por mecanismos de cambio de fase.

El aislamiento, por el contrario, no supone acumulación de energía sino que minimiza las pérdidas o ganancias ofreciendo resistencia a su progresión a través del cerramiento. Se debe controlar la transmisión de calor tanto de dentro a fuera como al revés. La baja conductividad de alguno de los materiales incorporados en el grueso de fachada es hoy en día la manera más habitual de lograr aislar térmicamente.

Si el control térmico basado en la inercia acostumbra a requerir cierto grosor (salvo en el caso del cambio de fase), el aislamiento lo reduce considerablemente.

El material aislante por excelencia es aquel formado por un conjunto de microceldillas conteniendo aire en reposo. A la baja conductividad térmica del aire se le suma la resistencia a la transmisión del calor que supone pasar de un medio transmisor a otro (aire – sólido). Si el aislamiento térmico de los materiales específicamente diseñados para tal fin se limitara a confiar en el aire en reposo, su conductividad térmica sería igual a la de éste. No es así. Los sucesivos cambios en el medio transmisor de aire a sólido aumentan la resistencia térmica del material.

La siguiente tabla resume los valores para la conductividad y la resistencia térmicas de materiales habituales en construcción y los compara con las resistencias superficiales interior y exterior.

Material	Conductividad (W/mK)	Resistencia térmica para e = 10 cm. (m <sup>2</sup> K/W)
lana mineral	0,036	2,77
aire	0,26	0,38
Rsi		0,13
agua	0,60	0,16
hormigón	1,60	0,063
Rse		0,04

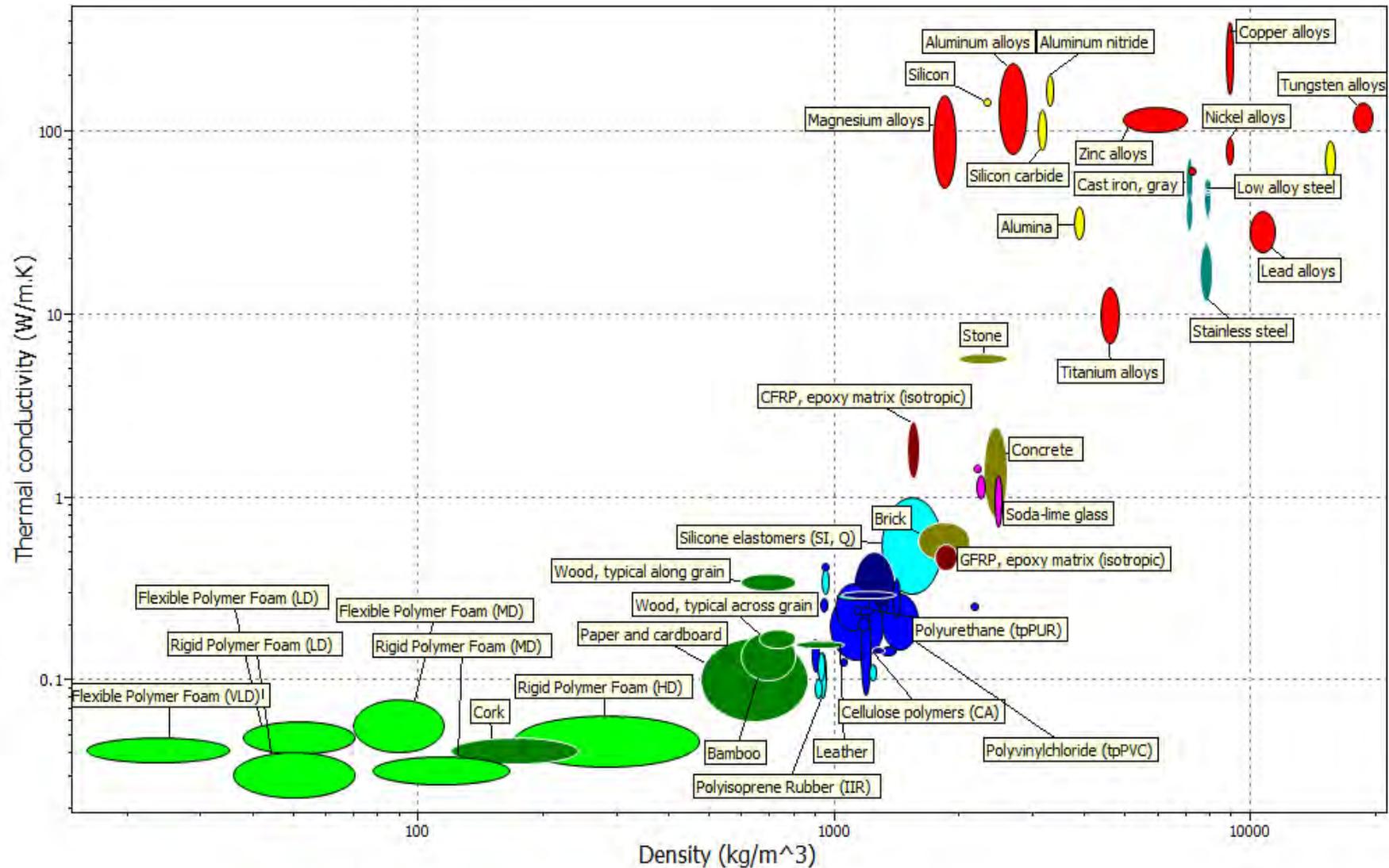
Hoy en día están proliferando sistemas de aislamiento que se basan en incorporar láminas reflectantes en cámaras estancas para poder así incrementar la resistencia térmica de dicha cámara. La lámina reflectante recubriendo el interior de la cámara minimiza la absorción de energía por parte de los materiales que la limitan. Si la energía no es absorbida no puede ser emitida al espacio habitable o al exterior del edificio (según el sentido de la radiación sea de dentro a fuera o al revés). La energía se refleja hacia el interior de la cámara estanca.

La función de control térmico sugiere pues recurrir a materiales de baja densidad que puedan aportar un valor adecuado para la transmitancia a partir de su baja conductividad térmica; o a materiales de mucha masa y alto calor específico. Los mecanismos basados en láminas reflectantes son difícilmente controlables únicamente a partir de las propiedades físicas del material. Su disposición dentro del cerramiento es fundamental a la hora de valorar su eficacia.

- . Aire retenido → baja densidad, baja conductividad
- . Acumulación de calor → mucha masa, calor específico alto

La gráfica adjunta, que relaciona la densidad y la conductividad térmica para distintos materiales básicos, dibuja prácticamente una recta inclinada que nace del (0,0) y crece de forma progresiva tanto en el eje de abscisas como en el de ordenadas. A mayor densidad mayor conductividad térmica.

Grafico obtenido del programa: CES 2008 EduPack de GRANTA MI - Enterprise wide materials information management.



### **3.2.- Retención del fuego.**

*Conductividad y dilatación térmicas. Combustibilidad.*

La resistencia al fuego que se le exige a la fachada es tanto resistencia al paso de la llama como del calor, por lo que las características requeridas son baja o nula combustibilidad y baja conductividad térmica.

Si el material es combustible se debe cuantificar el grueso que quema por minuto de cara a recrear el espesor de la sección en ese valor. El material quemado puede permanecer en su lugar protegiendo al resto de la sección, o desprenderse en forma de cenizas y gases.

La baja conductividad tanto impide el aumento de temperatura de la cara no expuesta como ralentiza el cambio de estado del material y su consiguiente pérdida de integridad.

Es importante que en elementos compuestos los valores para la conductividad y el coeficiente de dilatación térmica sean similares en los distintos materiales. De esta manera se evitan dilataciones diferenciales que son la causa del “spalling” en el caso del hormigón armado y de la exfoliación en elementos formados por varias láminas.

La resistencia al fuego, como el control térmico, requiere valores bajos para la conductividad térmica pero en materiales que, además, tengan una combustibilidad adecuada.

- . Aire retenido en celdas pequeñas → baja densidad, baja conductividad
- . Combustibilidad baja
- . Similares valores para la conductividad y el coeficiente de dilatación térmica en todos los materiales que puedan formar un compuesto

### **3.3.- Aislamiento acústico.**

---

#### *Masa y absorción.*

Para la consecución de un adecuado aislamiento acústico del espacio interior respecto de los sonidos producidos en el exterior es preciso disponer de una adecuada barrera entre ambos. Esta barrera se puede diseñar según dos criterios distintos. El primero lo define la Ley de Masas y se traduce a nivel constructivo en la disposición de un material lo suficientemente pesado como para reducir la transmisión de la presión sonora. El segundo, sin renunciar a un mínimo de masa, la desglosa en dos láminas entre las que se dispone un material absorbente (permeable al aire, poroso y elástico), que evita la resonancia de las ondas acústicas en el interior de la cámara.

Así como la reducción acústica por masa se puede cuantificar de forma sencilla: por lo general a mayor masa más aislamiento; en los sistemas combinados la valoración es más compleja ya que intervienen diferentes variables que dependen de cada diseño.

Para la satisfacción de esta función se requiere masa y, en el caso de sistemas combinados, un adecuado diseño de cada capa del sistema masa-aire-masa, así como una unión elástica entre ellas.

- . Masa —————> Alta densidad (con suficiente grosor del cerramiento).
- . Absorción —————> Láminas no tan gruesas conformando una cámara de aire estanca y con un absorbente acústico en su interior. Conexiones elásticas entre ambas láminas.

### **3.4.- Función portante.**

---

*Módulo resistente, módulo de rigidez y tensión admisible a flexión.*

La capacidad para soportar el peso propio de la fachada y la acción del viento es el requerimiento que comparten todas las propuestas de panel que vamos a estudiar.

Para su definición se precisan datos referentes tanto a las propiedades físicas como a las características geométricas o morfológicas de la placa. Optimizar la función portante sin aumentar el peso del conjunto requiere una adecuada localización de la masa dentro del conjunto. La forma no queda limitada a una simple cuestión de espesor sino que se ve enriquecida con múltiples posibilidades de plegados, nervados, aligeramientos, etc. Aportar inercia, no masa.

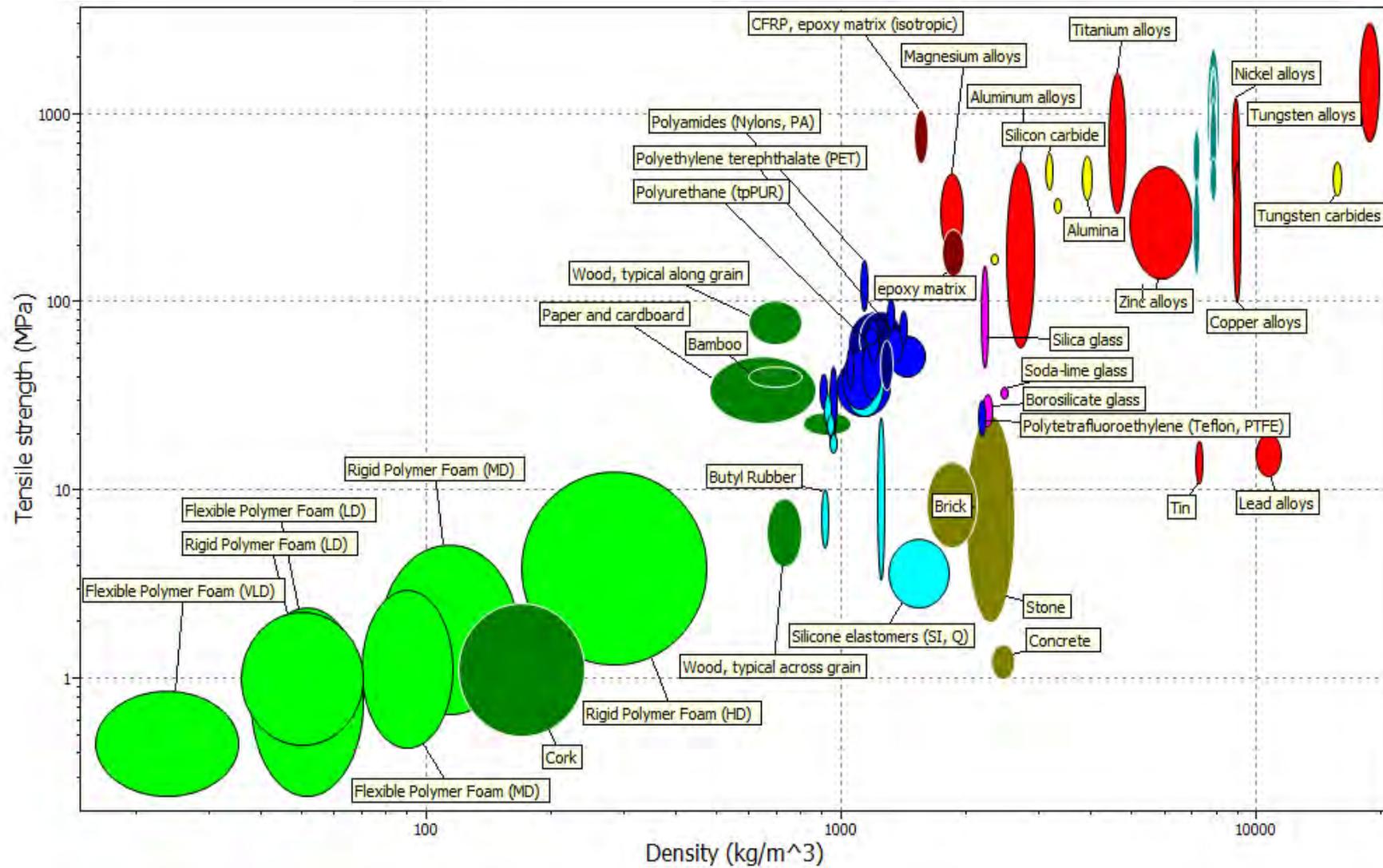
Por otra parte, la acción del viento tanto puede producir empuje como succión sobre el cerramiento. Exige una correcta respuesta de la placa tanto si la flexión se produce hacia el interior como si lo hace hacia el exterior del edificio. Ambas caras sufrirán tensiones o compresiones de valor similar. La respuesta del panel ha de ser simétrica lo sea o no su morfología.

- . Modulo resistente o tensión admisible a flexión elevados
- . Deformación baja, módulo de elasticidad elevado
- . Respuesta mecánica simétrica

La tendencia de la gráfica que relaciona la densidad y la tensión admisible a tracción para distintos materiales básicos dibuja una recta similar a la de la gráfica anterior (Densidad – Conductividad térmica). Nace del (0,0) y crece de forma progresiva tanto en el eje de

abscisas como en el de ordenadas. A mayor densidad mayor capacidad mecánica a tracción.

Grafico obtenido del programa: CES 2008 EduPack de GRANTA MI - Enterprise wide materials information management.



### **3.5- Estanquidad al aire.**

---

*Sellado.*

Obtener la adecuada estanquidad al aire no es tanto un problema del material con el que se resuelve el cerramiento sino del tratamiento que se dé a las juntas entre placas, por lo que, salvo exigir al elemento de cerramiento que dibuje tramos de superficie continua, no requiere características singulares del material.

## TAXONOMÍA Y PROPUESTAS DE PANEL



INTRODUCCIÓN	FUNCIÓNES Y REQUERIMIENTOS. PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS	TAXONOMÍA Y PROPUESTAS	ANÁLISIS DE LAS FACHADAS VENTILADAS RESULTANTES	CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA	
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>ESTADO DEL ARTE Y PROPÓSITO DEL TRABAJO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FUNCIÓNES Y REQUERIMIENTOS DE LA HOJA INTERIOR</li> <li>PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>TAXONOMÍA SEGÚN CRITERIOS FUNCIONALES</li> <li>DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y DEFINICIÓN DE PROPUESTAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>VECTORES DE EVOLUCIÓN Y ESCENARIOS</li> <li>ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES DE FACHADA VENTILADA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA</li> </ul>

## Capítulo 4.- TAXONOMÍA DEL PANEL PARA LA HOJA INTERIOR PORTANTE SEGÚN CRITERIOS FUNCIONALES.

### 4.1.- Relevancia del criterio funcional.

*La taxonomía funcional permite una aproximación a la racionalización del comportamiento de la fachada.*

Para la elección del criterio ordenador es importante plantearse cuál es el objetivo del elemento a analizar, en este caso la hoja interior de la fachada ventilada; y en qué contexto se sitúa el resultado que se trata de obtener.

Objetivo: Satisfacer las funciones necesarias para que el conjunto de la fachada aporte el adecuado nivel de confort al interior del espacio que delimita.

Contexto: Desarrollo de sistemas constructivos.

Su normalmente nula presencia en la imagen del edificio terminado le da un carácter puramente funcional, no condicionado por objetivos formales u otras variables subjetivas.

Si decía al principio que la fachada ventilada es aquel cerramiento caracterizado por especializar<sup>6</sup> la función de aportar estanquidad al agua, mientras que el resto de

<sup>6</sup> *ESPECIALIZACIÓN: Adecuación de las propiedades de una lámina a la satisfacción de una única función. Tanto se puede producir en una de las láminas que forman la capa como en una capa simple y, por lo tanto, monofuncional.*

funciones quedan encomendadas a una hoja interior de obra de fábrica que aparece como reminiscencia del pasado, pero sobre la que pocas veces se ha elaborado una reflexión en base a cuáles son sus funciones y cuál es la mejor manera de satisfacerlas, es precisamente este análisis funcional el que interesa, y por lo tanto será el que guíe la taxonomía.

#### **4.2.- Segregación de las funciones de la hoja interior.**

*La progresiva segregación de funciones, a partir de una hipotética hoja interior de una sola capa multifuncional, define los distintos tipos funcionales.*

El objetivo de la presente taxonomía es ordenar las posibles soluciones para la hoja interior portante de la fachada ventilada en base al resto de funciones que recaen sobre ella.

La máxima concentración supone la satisfacción de las cinco funciones básicas, a partir de ahí estas se van segregando<sup>7</sup> en capas especializadas pasando a ser resueltas por elementos específicos diseñados para tal fin. La resolución de estas funciones deja de ser responsabilidad del elemento portante.

Es posible que, a medida que aumentan las funciones segregadas de la capa portante, éstas pasen a ser resueltas por una única capa adosada a ella. En este caso, la segregación no iría acompañada de la especialización, sino que se habría producido un reagrupamiento funcional sobre un elemento distinto al que es objeto de estudio. A

---

<sup>7</sup> *SEGREGACIÓN: Proceso por el cual una función deja de ser resuelta por la capa principal y, o bien se integra en otra capa, o pasa a ser resuelta por una nueva, especializada para tal fin.*

nuestros efectos, seguirían siendo funciones “expulsadas” del panel y que no repercuten en su definición.

#### **4.3.- Secuencia en la segregación.**

*El orden lo establece el carácter restrictivo en cuanto al diseño de la hoja interior.*

No existe a priori un orden concreto que determine qué función debe segregarse en primer término aunque existen algunos criterios orientadores.

La progresiva segregación de funciones no deriva automáticamente en los tipos funcionales. Éstos dependen de las diversas posibilidades de combinatoria en la agrupación sobre el panel. Un panel puede satisfacer la función de aislamiento térmico sin ser capaz de retener el fuego o al revés.

A pesar de que las funciones contempladas para elaborar la taxonomía son cinco, las posibles combinaciones no las deben incluir a todas.

- La función **portante** es imprescindible ya que caracteriza el elemento a estudio.

Esta función es la única que admite ser resuelta por medio de un panel discontinuo. La discontinuidad tanto puede suponer una variación en el grueso de la sección como la alternancia de huecos y macizos.

La función portante no siempre se localiza exclusivamente en la hoja interior. La acción del viento puede ser asumida por la hoja exterior, recurriendo a soportes de menor capacidad mecánica para constituir la estructura de la hoja interior. Existe la



Apartamentos Lake Shore Drive, Chicago. Arq. Mies van der Rohe.

posibilidad de que este desglose del elemento portante se lleve al extremo apareciendo subentramados para las distintas capas que forman el cerramiento.

Entendiendo que el desglose de la función portante en subentramados, o su localización fuera de la hoja interior, no simplifica el diseño del cerramiento, en este trabajo de investigación, como ya se ha dicho, se ha considerado definidora del panel de hoja interior.

- La **estanquidad al aire** es una condición básica para conseguir aislamiento térmico, retención del fuego y reducción acústica, por lo que no se puede segregar si no lo han hecho estas tres funciones primero.
- La función **acústica** precisa un valor mínimo para la masa. De no ser así, se deberá establecer una discontinuidad entre las posibles láminas del panel. Si el panel tiene la sección adecuada para satisfacer las funciones de aislamiento térmico y retención del fuego, normalmente también aportará la necesaria reducción acústica ya sea por masa o por sucesión de capas.

*Índice global de reducción acústica, ponderado A, (RA), de un elemento constructivo homogéneo, en función de su masa:*

$M \leq 150 \text{ kg/m}^2$

$$RA = 16,6 * \lg M + 5 \text{ dBA}$$

$M \geq 150 \text{ kg/m}^2$

$$RA = 36,5 * \lg M - 38,5 \text{ dBA}$$

Según la Ley de Masas y tal como se incluye en el CTE, con una masa de  $43 \text{ kg/m}^2$  conseguimos aislar los 32 dBA exigidos. Esta masa se puede conseguir con 3 cm de espesor de un material de densidad  $1.433 \text{ kg/m}^3$ , 5 cm si la densidad es  $860 \text{ kg/m}^3$  ó 8 cm para  $538 \text{ kg/m}^3$ . Estas densidades podrían corresponder desde a un hormigón ligero hasta a una madera o un hormigón aireado. Posiblemente cumplir la función portante conduciría a un aumento de densidad o espesor, pero aún así las funciones térmica y de retención del fuego no estarían resueltas. La gráfica incluida en el

capítulo 3 y que relacionan la densidad con la conductividad térmica muestra como para estos espesores y valores para la densidad difícilmente se consigue satisfacer el adecuado aislamiento térmico.

El número de funciones a combinar se reduce a dos:

- **Aislamiento térmico y retención del fuego.**

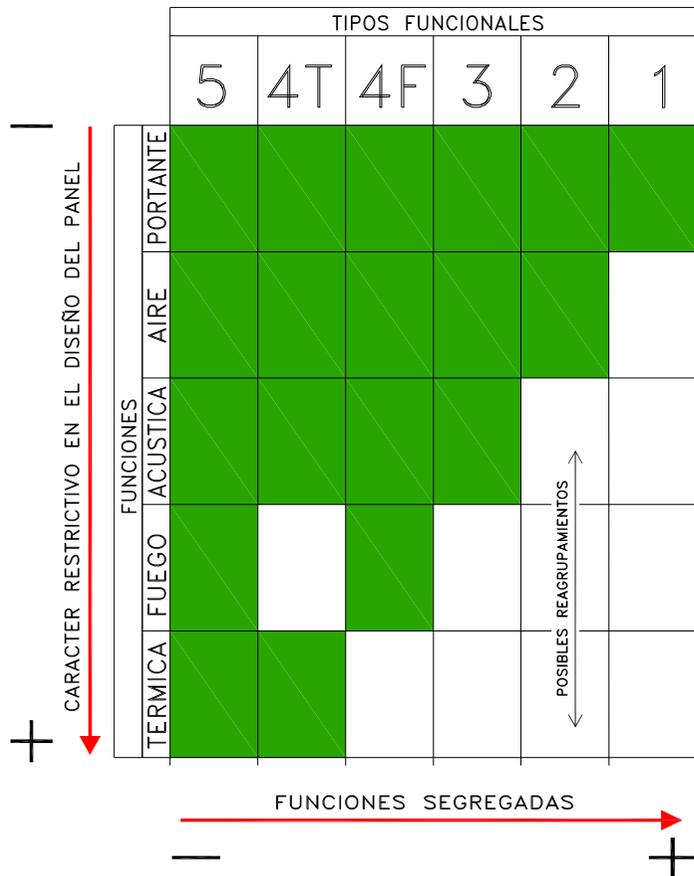
Un material poco conductor y combustible satisface la función térmica pero no la de retención del fuego. Aumentando el espesor es posible mejorar la respuesta a la segunda exigencia retardando su pérdida de integridad.

En este caso el espesor viene condicionado por la función de retención del fuego y no por la térmica.

Si el material es bastante conductor, seguramente será más el espesor requerido para aislar térmicamente que el que precisa para evitar la propagación del fuego.

Por ejemplo, la velocidad de combustión (0,76 mm/min) de los paneles de madera contrachapada KLH exige recurrir al panel de 117 mm de grueso para satisfacer la función de retención del fuego. Este espesor se ve incrementado a 200 mm para cumplir con la transmitancia exigida.

Este mismo grueso de hormigón aireado es capaz de soportar el fuego seis horas pero es justo para cumplir con la transmitancia requerida en la zona climática más exigente E1.



En los materiales combustibles de conductividad térmica alrededor de los 0,035 W/mK, es decir todos aquellos aislantes térmicos no incluidos en la categoría A1, el aumento de grueso se justifica por la satisfacción de la retención del fuego.

El sándwich de chapa de acero y núcleo de poliisocianurato (PIR) requiere menor grueso para satisfacer la función térmica (80 mm) que para la de retención del fuego (175 mm).

La combinatoria en la segregación de estas dos funciones define dos tipos que agrupan cuatro funciones, el "4T" y el "4F" dependiendo de si la incluida es la función térmica o la de retención del fuego respectivamente.

#### 4.4.- Tipos funcionales resultantes.

**Tipo 5:** A pesar de la diversidad de funciones atribuibles a la hoja interior, ésta puede estar formada por una única capa multifuncional. Esta solución de fachada ventilada que únicamente especializa la función que la define, la estanqueidad al agua, establece el primer tipo, al que nos referiremos como "5", por ser este el número de funciones básicas que agrupa.

**Tipo 4T:** Cuando el tipo "5" se formaliza a partir de un material de comportamiento frente al fuego insuficiente para satisfacer el valor EI requerido, esta función la deberá satisfacer una capa añadida. La función de retención del fuego ha sido segregada.

**Tipo 4F:** Segregar la función de aislamiento térmico sin hacerlo con la de retención del fuego genera el tipo “4F”. El mayor condicionante en su diseño es esta segunda función.

**Tipo 3:** Agrupar la amortiguación acústica, la estanqueidad al aire y la función portante define el tipo “3”. La masa acostumbra a ser su característica principal, ante la dificultad de diseñar sistemas multicapa que tengan un comportamiento mecánico solidario sin transmitir la onda acústica.

**Tipo 2:** El tipo “2” optimiza la capacidad mecánica de elementos superficiales continuos puesto que satisface únicamente las funciones de estanquidad al aire y la portante.

**Tipo 1:** Cuando todas las funciones añadidas al panel portante se segregan, éste pasa a ser monofuncional. Es un elemento especializado en la resolución de una única función, la portante.

INTRODUCCIÓN	FUNCIÓNES Y REQUERIMIENTOS. PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS	TAXONOMÍA Y PROPUESTAS	ANÁLISIS DE LAS FACHADAS VENTILADAS RESULTANTES	CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA	
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>ESTADO DEL ARTE Y PROPÓSITO DEL TRABAJO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FUNCIÓNES Y REQUERIMIENTOS DE LA HOJA INTERIOR</li> <li>PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>TAXONOMÍA SEGÚN CRITERIOS FUNCIONALES</li> <li>DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y DEFINICIÓN DE PROPUESTAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>VECTORES DE EVOLUCIÓN Y ESCENARIOS</li> <li>ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES DE FACHADA VENTILADA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA</li> </ul>

**Capítulo 5.- DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DEL PANEL PARA LA HOJA INTERIOR PORTANTE, Y DEFINICIÓN DE PROPUESTAS A PARTIR DE LA ASIGNACIÓN DE MATERIALES.**

*Ampliado en los documentos de Desarrollo 3 y 4*

**5.1.- Definición de morfologías.**

*Alternativas morfológicas: homogéneo, sándwich, hueco, nervado, grecado, entramado.*

Las alternativas morfológicas son seis. Se diferencian tanto por la geometría como por la estructura. La primera hace referencia a la forma exterior del panel, mientras que la segunda contempla las alteraciones en el grueso de la sección. Si del corte de la placa por dos planos distintos (transversales o longitudinales) resultan secciones diferentes, la placa es heterogénea.

GEOMETRIA	ESTRUCTURA	TIPO MORFOLÓGICO
Rectangular	Homogénea	Homogéneo
	Heterogénea	Sándwich Hueco
No rectangular	Heterogénea	Nervado Grecado Entramado

#### 5.1.1.- Paneles de geometría homogénea.

El panel de geometría rectangular maciza y composición homogénea es para el que más fácilmente se pueden determinar de forma analítica las propiedades físicas que deben caracterizar al material para poder satisfacer los requerimientos establecidos. Todas ellas, densidad, conductividad térmica, resistencia a flexión, etc. dependen del grueso.

A mayor espesor menor podrá ser la densidad para mantener un peso total de fachada inferior a los 200 kg/m<sup>2</sup>, mayor la conductividad térmica para obtener la transmitancia adecuada, etc.

El cuadro incluido en el documento de Desarrollo 5 relaciona estos valores de manera que, salvo la resistencia al fuego, todas las propiedades físicas quedan cuantificadas. El material que las satisfaga todas para un determinado espesor es una posible solución al panel portante de hoja interior de geometría rectangular y composición maciza homogénea.

#### 5.1.2.- Paneles heterogéneos.

Los paneles heterogéneos se caracterizan por una sección transversal no rectangular, ó por estar formados por varios materiales. En muchos casos estas dos condiciones se dan a la vez.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> *Desarrollo 3: Análisis general de las posibles morfologías del panel.*  
i - *Pérdida de homogeneidad morfológica según las tres direcciones del espacio.*  
ii - *Inercia mecánica. Geometría y capacidad mecánica.*

La estructura heterogénea hace que sea más difícil establecer ciertos valores de forma analítica: resistencia a flexión, aislamiento acústico, etc.

5.1.2.1.- Sucesión de láminas. Estratificados, laminados y sándwiches.

La primera alteración sobre el panel que se puede plantear es diversificar su grueso según estratos, ya sea modificando las características de un material amorfo o por medio del laminado.

La voluntad de esta estructura es adaptarse a las distintas acciones que inciden sobre el panel, por ejemplo, segregando la lámina de baja conductividad de la que se caracteriza por ser capaz de soportar una mayor tensión a flexión.

La acción de doble signo del viento obliga a que, a pesar del laminado o estratificado, la respuesta a la acción mecánica deba ser simétrica por lo que normalmente esta primera alteración de la morfología que se propone deriva en estructuras sándwich.

El comportamiento mecánico simétrico no lo resuelven únicamente estructuras simétricas pero sí son las que lo hacen de forma más sencilla.

La estructura sándwich permite combinar en el panel los materiales más adecuados en la satisfacción de distintas funciones. Para que se siga entendiendo que la función no ha sido segregada sino que el conjunto forma un único semiproducto o componente, el panel debe tener un comportamiento mecánico solidario.

El comportamiento solidario de laminados y sándwiches obliga a garantizar la unión entre láminas, ya sea por medio de la adherencia o recurriendo a uniones mecánicas en sentido transversal.<sup>9</sup>

El panel de estructura sándwich, dada la complejidad de mantener el comportamiento solidario entre las distintas láminas, resulta adecuado cuando satisface el mayor número de funciones posible por lo que todas las propuestas que más adelante se plantean corresponden al tipo funcional "5".

#### 5.1.2.2.- Vaciado interior con o sin material de relleno. Huecos.

Otra posible alteración morfológica manteniendo la geometría perimetral rectangular es el vaciado interior.

Así como las estructuras vistas hasta ahora mantienen constante la composición en cualquier tramo del cerramiento, esta modificación supone la aparición de discontinuidades que pueden acarrear variaciones en la respuesta a determinadas funciones.

La valoración del panel se debe realizar tanto en base al tramo más desfavorable como al conjunto del elemento.<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> Desarrollo 3: Análisis general de las posibles morfologías del panel.  
iii - Funciones simétricas y asimétricas.  
iv - Comportamiento solidario de elementos compuestos.  
Conexiones selectivas.  
Incidencia del material de relleno.

<sup>10</sup> Desarrollo 3: Análisis general de las posibles morfologías del panel.  
v - Funciones continuas y discontinuas.

La aparición de una cavidad vacía supone un conducto que facilita la propagación del fuego así como una pérdida de aislamiento térmico dependiendo del tamaño del vaciado. Normalmente en este tipo de placas el hueco es excesivo para poder mantener el aire en reposo.

Si los vacíos se rellenan de un material adecuado se puede recuperar la continuidad para algunas de las funciones, por ejemplo la de aislamiento térmico, pasando a dar una respuesta más satisfactoria que el macizo dependiendo de cuál sea la conductividad térmica de cada uno de los materiales.

El vaciado interior tanto se puede producir introduciendo direccionalidad al panel, como repartirse de forma ordenada en las dos direcciones principales. En el segundo caso la placa funciona de la misma manera tanto en sentido longitudinal como apaisado.

#### 5.1.2.3.- Alteraciones geométricas en superficie. Nervados, gofrados y plegados.

Las alteraciones morfológicas de una placa de cara a optimizar su comportamiento pueden suponer una variación de la forma exterior.

El nervado es una de estas posibilidades. En este caso no se conserva ni la simetría ni la continuidad en el plano de fachada.

La asimetría formal pero no funcional permite colocar el panel con los nervios hacia el interior o hacia el exterior, pudiendo ofrecer tanto una cara plana como una nervada donde fijar la hoja exterior.



Vaciado en una dirección.



Vaciado en las dos dirección.

Una de las funciones que peor responde ante geometrías no planas es la de retención al fuego. La existencia de mayor superficie de contacto con el fuego acelera la transmisión térmica hacia el interior de la placa y la cara exterior. La no simetría de la función sugiere colocar el nervado hacia el exterior.<sup>11</sup>

Este panel permite por su geometría desglosar la satisfacción de las funciones que requieren un grueso continuo de las que se pueden resolver con elementos discontinuos.

Otra de las alteraciones geométricas en superficie es el plegado, que incluye tanto a las placas grecadas y onduladas como a las bandejas. Por medio del plegado se puede recuperar la simetría perdida en el nervado, pero como éste, la geometría plegada presenta una mayor superficie de exposición al fuego, a la vez que ofrecen una base no plana donde fijar las capas añadidas en una o las dos caras.

Todo ello se compensa con la posibilidad de conseguir una gran inercia mecánica con poco grueso de material.

#### 5.1.2.4.- Panel discontinuo. Entramados.

La estructura discontinua del entramado sólo es apta para dar respuesta a la función portante, por lo que todas las posibles propuestas de entramado pertenecen al tipo funcional “1”.

---

<sup>11</sup> *Desarrollo 3: Análisis general de las posibles morfologías del panel.  
vi - Forma y fuego.*

**5.2.- Relación de las alternativas morfológicas con los tipos funcionales.**

Los paneles que presentan una sección transversal constante en todo el ancho y largo de la placa tienen, en principio, un mejor comportamiento ya que ofrecen siempre la misma respuesta a la acción incidente. Al pasar de la geometría rectangular a la nervada, grecada o entramado, el panel pierde funciones. Obviamente esto es así siempre que se mantenga un espesor no excesivo para el panel nervado o grecado.

Los paneles con estructura de elaboración compleja tienen poco sentido aplicadas a tipos funcionales que engloban pocas funciones.

Las distintas formas sugieren trabajar con materiales diversos dependiendo de los procesos de conformación más habituales de estos materiales.

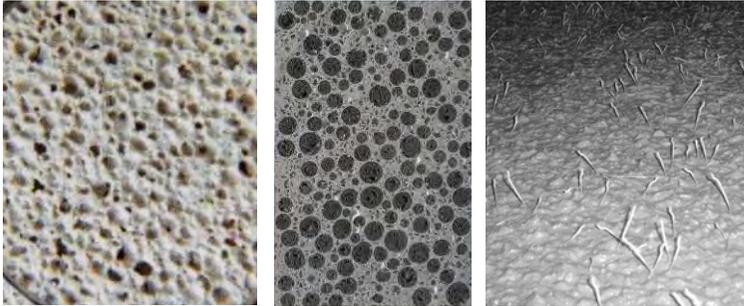
Las formas grecadas hacen pensar en plegados, laminados o extrusión, favoreciendo la incorporación de todo tipo de metales, entre ellos el acero. Su alta conductividad térmica y capacidad mecánica ratifica el carácter no multifuncional de la solución, centrado en la resolución de la estabilidad y estanquidad al aire de la fachada.

Los paneles nervados y huecos se ven beneficiados por el monolitismo que aportan los materiales amorfos conformados por moldeo o extrusión. Estos mismos materiales permiten la inserción de conectores entre las láminas de los sándwiches de forma previa al conformado.

		TIPOS FUNCIONALES					
		5	4T	4F	3	2	1
+ MECANISMOS DE OPTIMIZACIÓN DE CARA A REBAJAR EL GRUESO TOTAL DE LA FACHADA ↓ CARACTER RESTRICTIVO EN EL DISEÑO DEL PANEL	FUNCTIONES						
	PORTANTE	█	█	█	█	█	█
	AIRE	█	█	█	█	█	
	ACUSTICA	█	█	█	█		
	FUEGO	█		█			
	TERMICA	█	█				
		↕ POSIBLES REAGRUPAMIENTOS ↕					
	TIPOS MORFOLÓGICAS						
	HOMOGENEO	█	█	█	█	█	
	SANDWICH	█	█	█	█		
	HUECO	█	█	█	█		
	NERVADO	█	█	█	█	█	
	GRECADO				█	█	
	ENTRAMADO						█ █ █

#### Hormigón aireado curado en autoclave.

Espesor	$e \approx 200 \text{ mm}$
Densidad	$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$
Conductividad térmica	$\lambda = 0,14 \text{ W/mK}$
Resistencia media a tracción	$\sigma \text{ trc} = 0,66 \text{ N/mm}^2$
Resistencia media a compresión	$\sigma \text{ com} = 4,0 \text{ N/mm}^2$
Resistencia al fuego	$\geq \text{EI } 60$
Aislamiento acústico ( $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$ )	$R_w = 46 \text{ dB}$



#### Hormigón de árido ligero.

Espesor	$e \approx 95 \text{ mm}$
Densidad	$1.600 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 1.800 \text{ kg/m}^3$
Resistencia media a flexión	$\sigma \text{ flex} \approx 5 \text{ N/mm}^2$
Resist. media a compresión	$\sigma \text{ com} = 20-25 \text{ N/mm}^2$
Resistencia al fuego	$\text{EI } 60$
Aislamiento acústico	Cumple según Ley de Masas.

#### Hormigón de alta resistencia.

Espesor	$e \approx 50 \text{ mm}$
Densidad	$\rho \approx 2.500 \text{ kg/m}^3$
Tensión admisible a compresión	$90 - 200 \text{ N/mm}^2$
Tensión admisible a flexión	$16 - 75 \text{ N/mm}^2$
Tensión admisible a tracción	$8 - 20 \text{ N/mm}^2$
Tensión admisible a cortante	$3 - 16 \text{ N/mm}^2$
Módulo de elasticidad	$>38.000 \text{ N/mm}^2$
Aislamiento acústico	Cumple según Ley de Masas.

### **5.3.- Propuestas materiales de panel.**

#### 5.3.1.- Paneles de geometría y material homogéneos.

El hormigón, con las distintas posibilidades de aligeramiento, áridos, dosificaciones, armado, etc. permite elaborar paneles de sección rectangular homogénea que dan respuesta a varios de los tipos definidos.

La primera propuesta a partir de este material amorfo es el panel de hormigón aireado curado en autoclave armado con redondos de acero protegidos frente a la corrosión. Este panel responde al tipo funcional "5". El aligeramiento por medio de aditivo aireante permite conseguir una conductividad térmica lo suficientemente baja como para poder resolver la hoja interior con un grueso de 200 mm. Esta función es la más exigente en la determinación del grueso del panel por lo que con estos 200 mm el resto de requerimientos quedan satisfechos.<sup>12</sup>

Si eliminamos la exigencia térmica, podemos trabajar con un hormigón de árido grueso.

Mientras la resistencia al fuego sea función propia del panel, el espesor será del orden de los 80 a 95 mm, contando con el recubrimiento del armado. El árido ha de ser ligero para no superar el peso establecido en la hipótesis.

La segunda propuesta basada en el hormigón es pues un panel de árido ligero armado con redondos de acero formando una malla y fibras de polipropileno ligadas en la masa.

Este panel satisface las funciones del tipo "4F".<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Ficha 1.

<sup>13</sup> Ficha 7.

El hormigón aún nos sirve para conformar un tercer panel homogéneo.

Segregada la función de retención del fuego, se puede ir a espesores menores. Una sección de 50 mm de hormigón de densidad habitual aísla acústicamente los 32 dBA exigidos. Este espesor es suficiente para dar respuesta a la función portante si se trabaja con hormigón de alta resistencia armado con fibras de acero.<sup>14</sup> El panel corresponde al tipo funcional “3”.

El tipo “2” no se puede resolver con hormigón. La sección necesaria para cumplir con la función portante es suficiente para aislar acústicamente por lo que ambas funciones van juntas. Si se rebaja el grueso no se satisface ninguna de las dos.

La madera es otro de los materiales aptos para diseñar paneles homogéneos por medio del contrachapado. A pesar de que la estructura de fibras la hace trabajar de forma muy distinta según sea su dirección, la superposición de chapas permite considerar este panel como homogéneo. No lo es según un análisis de la estructura interna del material pero sí como panel. Este material da respuesta, según los distintos gruesos, a los tipos que van del “5” al “2”.

La conductividad térmica, similar a la del hormigón aireado, hace que el grueso del panel apto para incluirse en el tipo “5” sea de 200 mm.

Si se segrega esta función, es la de retención al fuego de nuevo la que requiere un grueso considerable, en este caso de 117 mm, a causa de la velocidad de combustión de 0,76 mm/min del material. El panel se engloba en el tipo “4F”.

<sup>14</sup> Ficha 3.



Madera contrachapada.

Densidad	$\rho = 480 \text{ kg/m}^3$
Conductividad térmica	$\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$
Tensión admisible a tracción	$0,12 \text{ N/mm}^2$
Tensión admisible a compresión	$2,7 \text{ N/mm}^2$
Tensión admisible a cortante	$1,5 \text{ N/mm}^2$

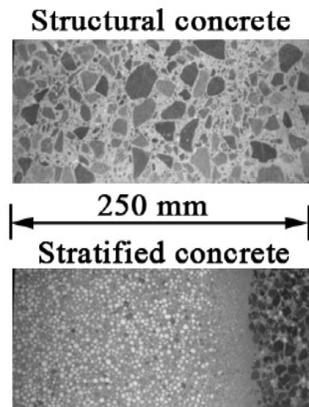
Espesor	$e = 200 \text{ mm}$
Resistencia al fuego	REI 60
Aislamiento acústico	$R_w > 39 \text{ dB}$
(Datos correspondientes al panel KLH 5-s TL 200)	

Espesor	$e = 117 \text{ mm}$
Resistencia al fuego	REI 60
Aislamiento acústico	$R_w > 39 \text{ dB}$
(Datos correspondientes al panel KLH 5-s TL 117)	

Espesor	$e = 94 \text{ mm}$
Aislamiento acústico	$R_w = 32 \text{ dB}$
(Datos correspondientes al panel KLH 3-s TL 90)	



Panel de aislamiento térmico con árido de arcilla expandida Liapor en distintas dosificaciones.



NEW INSULATING PRECAST  
CONCRETE PANELS. (ponencia)  
James R. Mackechnie &  
Thorbjorg Saevarsdottir.

La función acústica se satisface con un espesor de 94 mm, tipo “3”; superior al que precisa desde el punto de vista mecánico, por lo que para este material si hay un panel específico para el tipo “2”, el de 60 mm.<sup>15</sup>

### 5.3.2.- Paneles heterogéneos.

#### 5.3.2.1.- Sucesión de láminas. Estratificados, laminados y sándwiches.

El material más adecuado para realizar un panel estratificado es el hormigón. Su origen amorfo permite la disposición de sucesivas láminas, fresco sobre fresco, variando la dosificación, el árido, etc.

El degradado gradual condiciona la capacidad portante ante acciones mecánicas de signo variable a la tensión admisible a compresión del hormigón más pobre. Carece de sentido recurrir a otro de mayores prestaciones en la cara opuesta.

Si la disposición del hormigón responde a una estructura simétrica, la optimización del elemento sugiere colocar en la parte central el material más adecuado para satisfacer las funciones que se le requiere al núcleo: aligeramiento y aislamiento térmico. Este material no será un hormigón ya que su conductividad térmica dista bastante de la que aportan poliestirenos o lanas minerales. La propuesta de panel deja de ser estratificada para ser un sándwich.

**La acción del viento de signo simétrico reconduce cualquier estructura estratificada o laminada a una tipo sándwich.**

<sup>15</sup> Ficha 4.

La primera composición para este tipo de panel está formada por un núcleo de poliestireno extruido y dos láminas exteriores de hormigón de árido ligero armado con fibras de acero. El comportamiento solidario se resuelve por medio de conectores puntuales de fibra de vidrio y resinas.<sup>16</sup>

El espesor del panel viene determinado por el grueso de material aislante necesario para satisfacer la función de aislamiento térmico, más una sección de 30 mm de hormigón a lado y lado que permite la fácil inserción de los conectores.

Las muestras de panel sándwich ensayadas<sup>17</sup> no corresponden al de la propuesta. El objetivo de los ensayos es muy concreto; se trata de valorar la aportación de diferentes materiales de relleno al módulo de rigidez del panel. Para ello, las características del hormigón deben ser iguales en las distintas muestras pero no es necesario que incorpore un armado de fibras de acero. Una dosificación habitual con un armado común es suficiente para los datos que se trata de obtener.

La segunda propuesta confía en las cualidades del acero como material portante. Se compone por un núcleo de lana de roca y dos láminas exteriores de chapa de acero galvanizado de 0,8 mm cada una.<sup>18</sup>

El comportamiento solidario del panel debe quedar garantizado evitando al máximo la tensión de cizalladura. Si bien es imposible limitar el cortante debido a la flexión, no lo es evitar la exfoliación que puede provocar el pandeo. Se deberá hacer trabajar el panel a tracción colgándolo del forjado superior.

<sup>16</sup> Ficha 2.

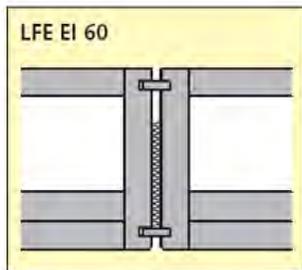
<sup>17</sup> Desarrollo 4: Ensayo del panel sándwich de hormigón.

<sup>18</sup> Ficha 6.

<u>Sándwich de hormigón y poliestireno extruido.</u>	
Espesor	e = 120 mm (30 + 60 +30)
Resistencia al fuego	Pendiente de comprobación experimental
Aislamiento acústico	Cumple según Ley de Masas.
Hormigón ligero armado con fibras de acero	
Densidad	$\rho = 1.650 \text{ kg/m}^3$
Resist. media a compresión	$\sigma \text{ com} = 20-25 \text{ N/mm}^2$
Poliestireno extruido	
Densidad	$\rho = 30 \text{ kg/m}^3$
Conductividad térmica	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$



<u>Sándwich de acero y lana de roca.</u>	
Espesor	e = 80 mm
Peso	$p = 21,10 \text{ kg/m}^2$
Transmitancia	$U = 0,455 \text{ W/m}^2\text{K}$
Densidad lana de roca	$\rho = 145 \text{ kg/m}^3$
Resistencia mecánica del panel triapoyado:	
Luz	3,24 m
Carga	$150 \text{ kg/m}^2$
Flecha	L/180
Coeficiente de seguridad 2,5	
Resistencia al fuego	EI 90
Aislamiento acústico	$R_a = 34,60 \text{ dBA}$
(Datos correspondientes al panel ACH fijaciones ocultas)	



Panel hueco de madera con relleno de lana de roca.

Esesor  $e = 160 \text{ mm}$  (55 int + 74 + 31 ext)

Ancho  $a = 1.000 \text{ mm}$

Peso  $p \approx 55 \text{ kg/m}^2$

Resistencia térmica  $R = 2,44 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$

Transmitancia  $U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$

Conduct. térmica lana mineral  $\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$

Resistencia mecánica del panel biapoyado:

Luz  $6,75 \text{ m}$

Carga  $200 \text{ kg/m}^2$

Flecha  $L/300$

Resistencia al fuego EI 60

Aislamiento acústico  $R_w \geq 32 \text{ dB}$

(Datos correspondientes al panel para forjados LIGNATUR)

Esesor  $e = 120 \text{ mm}$  (31 int + 58 + 31 ext)

Ancho  $a = 1.000 \text{ mm}$

Peso  $p \approx 45 \text{ kg/m}^2$

Resistencia térmica  $R = 1,67 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$

Transmitancia  $U = 0,59 \text{ W/m}^2\text{K}$

Conduct. térmica lana mineral  $\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$

Resistencia mecánica del panel biapoyado:

Luz  $5,30 \text{ m}$

Carga  $200 \text{ kg/m}^2$

Flecha  $L/300$

Aislamiento acústico Cumple según Ley de Masas.

(Datos correspondientes al panel para forjados LIGNATUR)

5.3.2.2.- Vaciado interior con o sin material de relleno. Huecos.

El panel hueco resulta adecuado preferentemente para los tipos "5" a "3" en función de la conductividad térmica del material que forma la estructura básica y del posible relleno de alveolos.

Para poder establecer las condiciones de corte, fijación, y la adecuada respuesta mecánica, se debe considerar la direccionalidad del vaciado interior así como el ritmo en que se produce.

La primera propuesta para este panel lo forma una estructura base de nervios de madera arriostrados con paneles del mismo material colocados en ambas caras entre los nervios. El relleno interior es de lana de roca.<sup>19</sup>

El grueso total del panel viene determinado por la función térmica, mientras que el grueso de las placas de madera superficiales se dimensiona en función de la resistencia al fuego. Al ser ésta una función no simétrica, la cara del panel que se sitúa hacia el interior está formada por una doble placa de 55 mm, mientras que la exterior es una placa simple de 31 mm. Este panel satisface las cinco funciones básicas de la hoja interior por lo que pertenece al tipo funcional "5".

Si esta misma estructura de panel con relleno de lana de roca se resuelve con placas simples a ambos lados ya no satisface la función de retención del fuego pero sí la térmica para todas las zonas climáticas de España menos la más restrictiva, E1. Esta segunda propuesta pertenece al tipo "4T".

<sup>19</sup> Ficha 5.

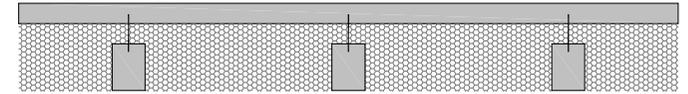
### 5.3.2.3.- Alteraciones geométricas en superficie. Nervados, gofrados y plegados.

La geometría nervada tanto se puede diseñar a partir de un único material aglomerado conformado principalmente por moldeo, como recurrir a semiproductos planos con costillas ancladas mecánicamente en una de las caras. Si para el primer caso el aglomerado de los nervios y el de la placa puede ser de características distintas, en el segundo se puede recurrir a materiales diversos buscando aquellos que mejor satisfagan las distintas funciones agrupadas.

La primera propuesta que se plantea satisface el máximo de funciones desvinculando el nervio de la placa continua e introduciendo otro material: la lana de roca. Tanto la lámina continua como el nervado son de hormigón de alta resistencia armado con fibras de acero. El comportamiento solidario se garantiza por medio de conectores de fibra de vidrio y resinas. La complejidad en el diseño se ve compensada por la multifuncionalidad. Este panel pertenece al tipo funcional "5".<sup>20</sup>

La segunda recurre a un único material aglomerado conformado por moldeo que, pese a la asimetría formal, tiene un comportamiento simétrico frente a las acciones mecánicas.

Segregar la función de aislamiento térmico y la de resistencia al fuego simplifica mucho la solución ya que el panel se limita a ser una estructura nervada dimensionada en base a la acción portante. Dada la densidad del hormigón y el grueso de la placa resultante satisface la función acústica por lo que se incluye



#### Panel nervado de hormigón y lana de roca.

Espesor	e ≈ 30 mm HAR + 90 mm LR y nervios
Aislamiento acústico	Cumple según Ley de Masas.
Hormigón de alta resistencia (HAR)	
Densidad	$\rho \approx 2.500 \text{ kg/m}^3$
Tensión admisible a compresión	90 - 200 N/mm <sup>2</sup>
Tensión admisible a flexión	16 - 75 N/mm <sup>2</sup>
Tensión admisible a tracción	9 - 20 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	22.000 - 32.000 N/mm <sup>2</sup>
Lana de roca tipo Conlit HC de Rockwool (LR)	
Densidad	$\rho \approx 165 \text{ kg/m}^3$
Conduct. Térmica	$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$

#### Panel nervado de hormigón de alta resistencia.

Espesor	e ≈ 30mm placa + 70mm nervio
Densidad	$\rho \approx 2.500 \text{ kg/m}^3$
Tensión admisible a compresión	90 - 200 N/mm <sup>2</sup>
Tensión admisible a flexión	16 - 75 N/mm <sup>2</sup>
Tensión admisible a tracción	9 - 20 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	22.000 - 32.000 N/mm <sup>2</sup>
Aislamiento acústico	Cumple según Ley de Masas.

<sup>20</sup> Ficha 3.

dentro del tipo funcional “3”. Esta segunda propuesta también se materializa con hormigón de alta resistencia armado con fibras de acero.

Existe una tercera propuesta para el panel nervado que pertenece al tipo funcional “2”. Se trata de un entramado de rastreles de acero galvanizado plementado con un tablero aglomerado de cemento. Es una solución muy simple que recurre a un bastidor lineal sencillo, con la adecuada capacidad portante, al que le fija un tablero para conseguir un plano continuo que aporte estanquidad al aire.

Otra de las alteraciones de la placa que modifica la geometría superficial es el plgado. Éste define una forma pero también un proceso de fabricación que no todos los materiales permiten.

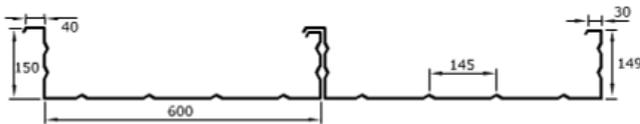
Si los amorfos nos han servido para generar una serie de paneles que se ven beneficiados por la posibilidad de insertar conectores o garantizar la continuidad entre nervio y placa con un absoluto monolitismo, en el caso del plegado buscaremos aquellos en que el proceso de fabricación facilite esta geometría: los metales.

Su alta conductividad no permite dar una respuesta adecuada a los tipos “5”, “4T” y “4F”. Por otro lado, la formalización por plegado requiere chapas delgadas que no satisfacen la función acústica. El tipo para el que mejor se adecuan estos paneles es el “2”. La propuesta se formaliza a partir de una bandeja plegada de chapa de acero galvanizado de 150 mm de nervio.<sup>21</sup>



Tablero de cemento con entramado de acero galvanizado.

Espesor	e = 80+15 mm
Anchura	1.000 mm
Inercia del perfil	377.400 mm <sup>4</sup> .



Bandejas de acero.

Espesor	e ≈ 1,2 mm
Anchura	600 mm
Peso	15,70 kg/m <sup>2</sup>
Geometría	Bandeja con nervios de 150mm
Capacidad mecánica	Soporta ≈178 N/m <sup>2</sup> con luces de 5,5 m.
(Datos correspondientes a la bandeja Eurobac 150 de Europerfil).	

<sup>21</sup> Ficha 8.

#### 5.3.2.4.- Panel discontinuo. *Entramados.*

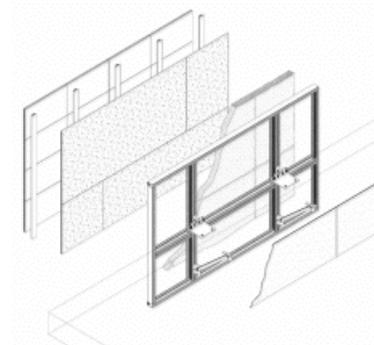
Su resolución es viable a partir de los materiales más básicos ya que en principio sólo les vamos a pedir una adecuada respuesta mecánica. De todas formas, el material del bastidor no debe establecer una discontinuidad en la satisfacción del resto de funciones. Un valor bajo para la conductividad térmica, la adecuada resistencia al fuego, etc. pueden favorecer al conjunto de la solución constructiva permitiendo que el resto de las capas que la forman se alojen entre el bastidor en vez de adosadas a una cara y por lo tanto aumentando el espesor.

Además de las propiedades físicas del material, es interesante el estudio de los sistemas de producción: extrusión, plegado, moldeo, etc. que puedan favorecer geometrías más o menos complejas de cara a facilitar la fijación del resto de las capas que integran la fachada. Los perfiles de geometría abierta permiten encajar las capas adicionales dentro del bastidor minimizando la posible discontinuidad funcional que éste genera.

Para esta morfología no se ha planteado ninguna propuesta ya que, aún entendiéndose como un panel, es una solución que llega a obra muy poco terminada y esto la aleja de los planteamientos que marcan los vectores de evolución que se describen más adelante. Si el entramado llega a obra plementado, pasa a formar parte de las soluciones nervadas ya contempladas por lo que no se debe incluir aquí.



Bastidor de acero galvanizado. Illa de la Llum. Arq. Clotet y Paricio.

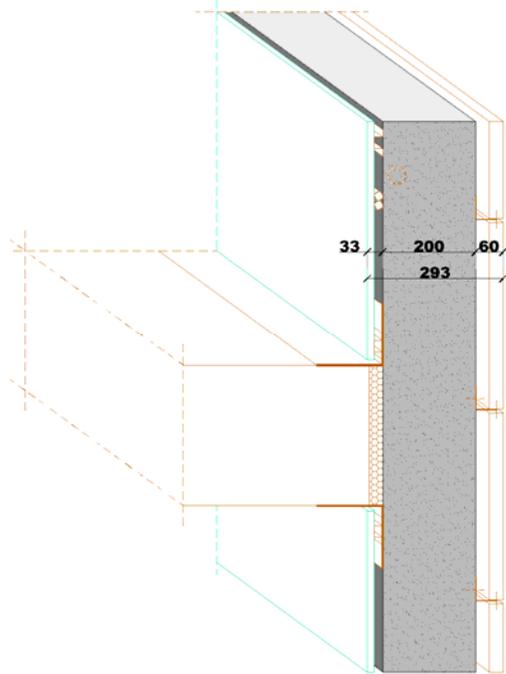


CZF – MAP Arquitectos.  
La llegada a obra del entramado plementado lleva a considerarlo un panel nervado.

**5.4.- Resumen de las propuestas materiales de panel acordes con las distintas morfologías y para cada tipo funcional. Aplicación en la fachada ventilada.**

TIPO FUNCIONAL	PROPUESTA DE PANEL		TIPO MORFOLÓGICO
<b>5</b>	Panel de hormigón aireado tratado en autoclave.	<b>1</b> <sup>(5)</sup>	HOMOGÉNEO
	Sándwich de hormigón y poliestireno extruido.	<b>2</b> <sup>(5)</sup>	SÁNDWICH
	Panel nervado de hormigón y lana de roca.	<b>3</b> <sup>(5)</sup>	NERVADO
	Panel contrachapado de madera. 200 mm	<b>4</b> <sup>(5)</sup>	HOMOGÉNEO
	Panel hueco de madera relleno de lana de roca. 160 mm	<b>5</b> <sup>(5)</sup>	HUECO
	Sándwich de acero y lana de roca.	<b>6</b> <sup>(5)</sup>	SÁNDWICH
<b>4T</b>	Panel hueco de madera relleno de lana de roca. 120 mm	<b>7</b> <sup>(4T)</sup>	HUECO
<b>4F</b>	Panel de hormigón de árido ligero.	<b>8</b> <sup>(4F)</sup>	HOMOGÉNEO
	Panel contrachapado de madera. 117 mm	<b>9</b> <sup>(4F)</sup>	HOMOGÉNEO
<b>3</b>	Panel de hormigón de alta resistencia armado con fibras de acero.	<b>10</b> <sup>(3)</sup>	HOMOGÉNEO
	Panel nervado de hormigón de alta resistencia.	<b>11</b> <sup>(3)</sup>	NERVADO
	Panel contrachapado de madera. 94 mm	<b>12</b> <sup>(3)</sup>	HOMOGÉNEO
<b>2</b>	Panel contrachapado de madera. 60 mm	<b>13</b> <sup>(2)</sup>	HOMOGÉNEO
	Bandejas de acero galvanizado.	<b>14</b> <sup>(2)</sup>	GRECADO
	Tablero de cemento con entramado de acero galvanizado.	<b>15</b> <sup>(2)</sup>	NERVADO

1 (5)



**PANEL DE HORMIGÓN AIREADO TRATADO EN AUTOCLAVE**

**Acabado interior opcional:**

Placa de yeso laminado fijada con perfiles omega.

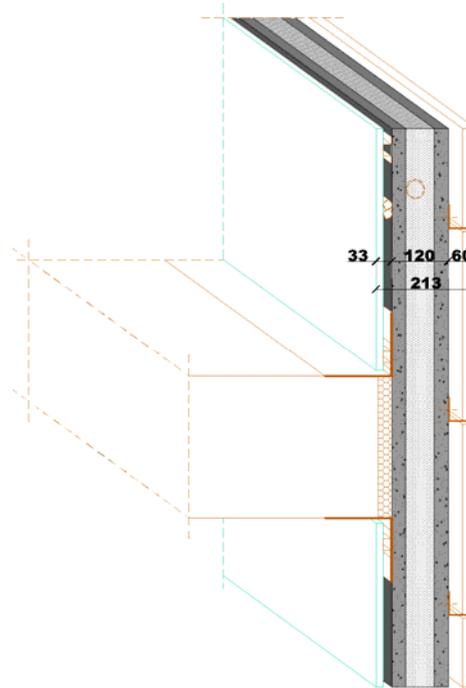
**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

**Características particulares:**

- La solución precisa la ejecución de cortafuegos.
- Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección.
- Admite paso de instalaciones interiores de sección media.

2 (5)



**PANEL SÁNDWICH DE HORMIGÓN Y POLIESTIRENO EXTRUIDO**

**Acabado interior opcional:**

Placa de yeso laminado fijada con perfiles omega.

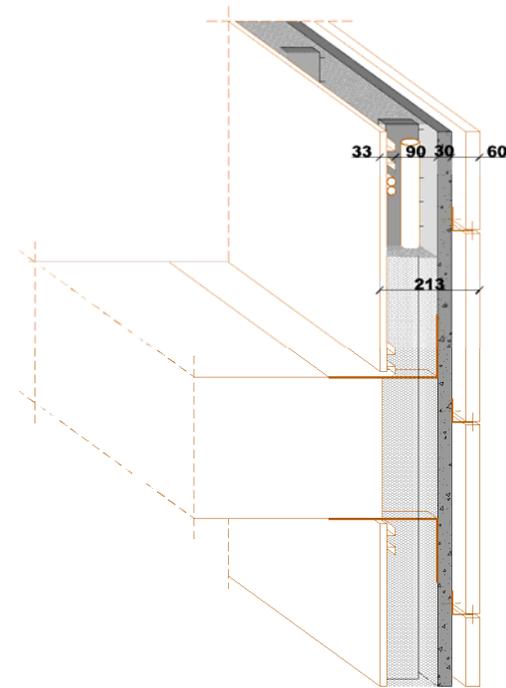
**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

**Características particulares:**

- La solución precisa la ejecución de cortafuegos.
- Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección.
- Admite paso de instalaciones interiores de sección media.

3 (5)



**PANEL NERVADO DE HORMIGÓN Y LANA DE ROCA**

**Acabado interior:**

Placa de yeso laminado fijada con perfiles omega.

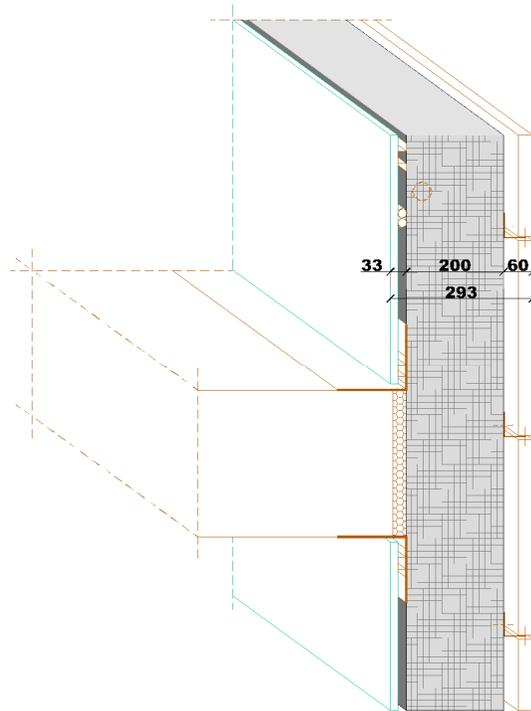
**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

**Características particulares:**

- Precisa barrera de vapor.
- La solución precisa la ejecución de cortafuegos.
- Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección.
- Admite paso de instalaciones interiores de sección media en recorridos verticales.

4 (5)



**PANEL CONTRACHAPADO DE MADERA  
200mm**

**Acabado interior opcional:**

Placa de yeso laminado fijada con perfiles omega.

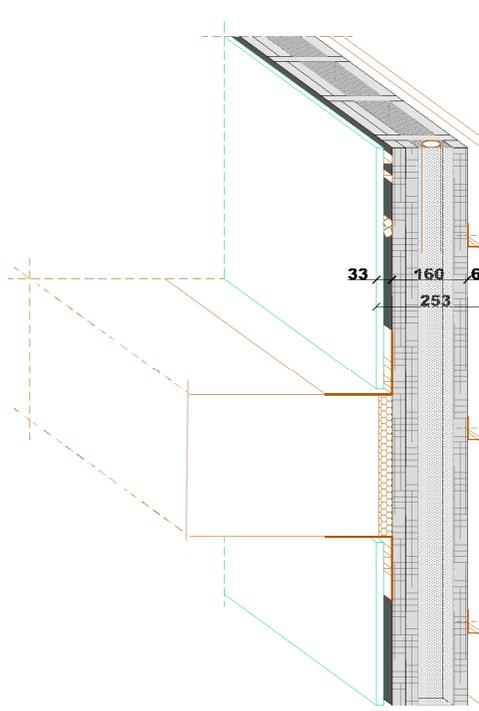
**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

**Características particulares:**

- La solución precisa la ejecución de cortafuegos.
- Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección.
- Admite paso de instalaciones interiores de sección media.

5 (5)



**PANEL HUECO DE MADERA CON RELLENO  
DE LANA DE ROCA 160mm**

**Acabado interior opcional:**

Placa de yeso laminado fijada con perfiles omega.

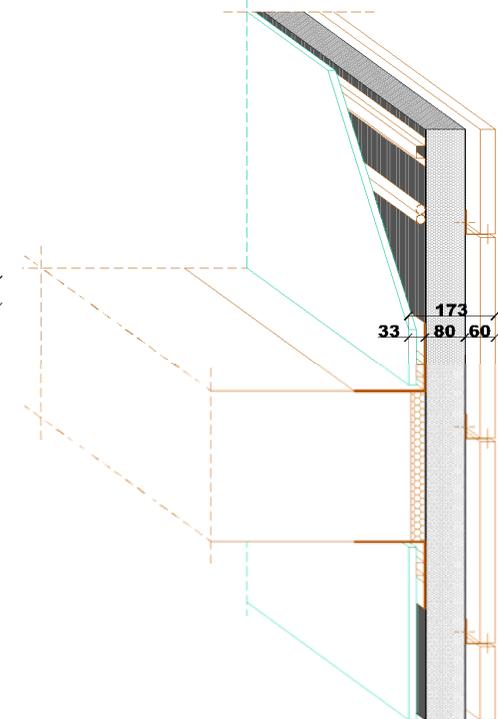
**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

**Características particulares:**

- La solución precisa la ejecución de cortafuegos.
- Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección.
- Admite paso de instalaciones interiores de sección media en recorridos verticales.

6 (5)



**PANEL SÁNDWICH DE ACERO Y LANA DE  
ROCA**

**Acabado interior opcional:**

Placa de yeso laminado fijada con perfiles omega.

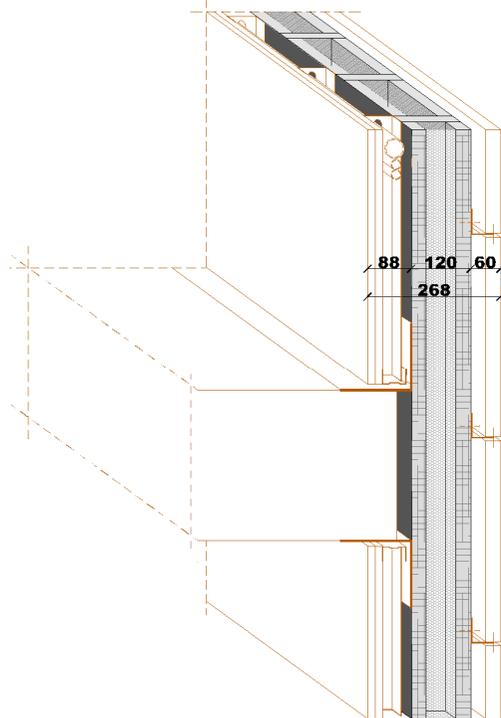
**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

**Características particulares:**

- La solución precisa la ejecución de cortafuegos.
- Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección.

7 (4T)



**PANEL HUECO DE MADERA CON RELLENO DE LANA DE ROCA 120mm**

**Acabado interior:**

Doble placa de yeso laminado fijada con perfilera autoportante (48mm) arriostrada.

**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

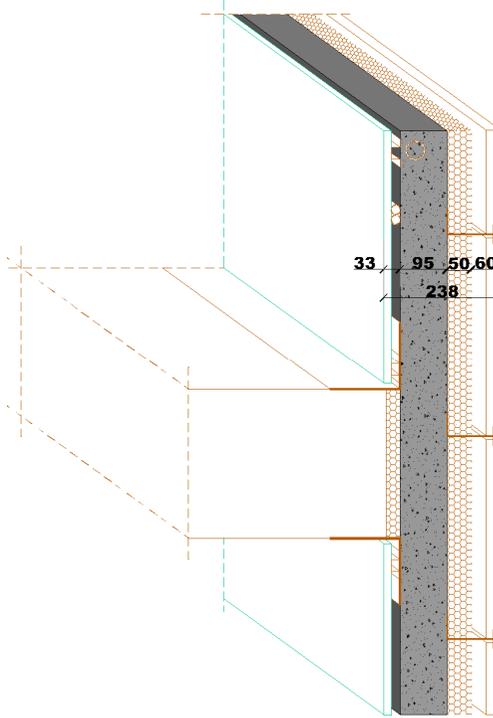
**Protección al fuego:**

Doble placa de trasdosado cortafuego.

**Características particulares:**

- Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección.
- Admite paso de instalaciones de sección media en recorridos verticales.

8 (4F)



**PANEL DE HORMIGÓN LIGERO**

**Acabado interior opcional:**

Placa de yeso laminado fijada con perfiles omega.

**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

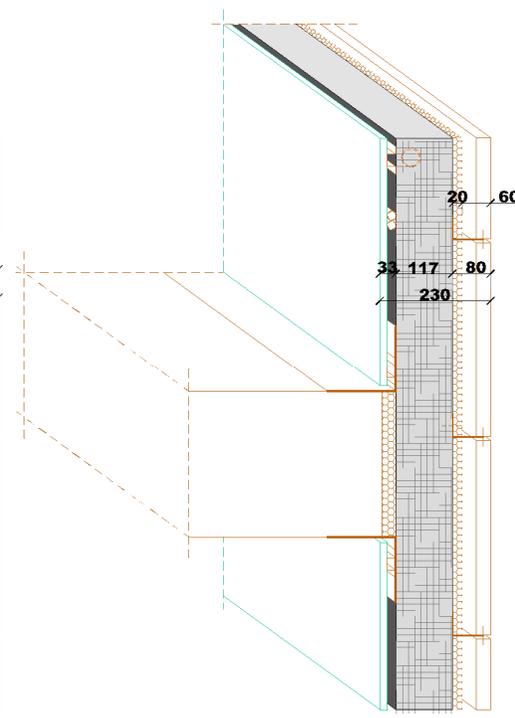
**Aislamiento térmico adicional:**

Exterior.

**Características particulares:**

- La solución precisa la ejecución de cortafuegos.
- Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección.
- Admite paso de instalaciones de sección media en recorridos verticales.

9 (4F)



**PANEL CONTRACHAPADO DE MADERA 117mm**

**Acabado interior opcional:**

Placa de yeso laminado fijada con perfiles omega.

**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

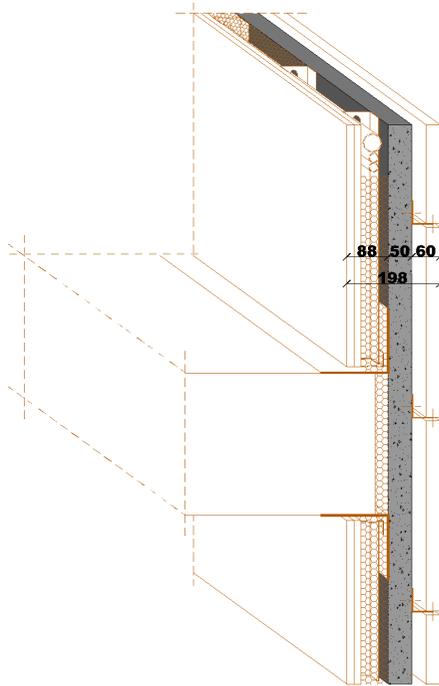
**Aislamiento térmico adicional:**

Exterior.

**Características particulares:**

- La solución precisa la ejecución de cortafuegos.
- Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección.
- Admite paso de instalaciones de sección media.

10 (3)



**PANEL DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ARMADO CON FIBRAS**

**Acabado interior:**

Doble placa de yeso laminado fijada con perfilera autoportante (48mm) arriostrada.

**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

**Aislamiento térmico adicional:**

Interior.

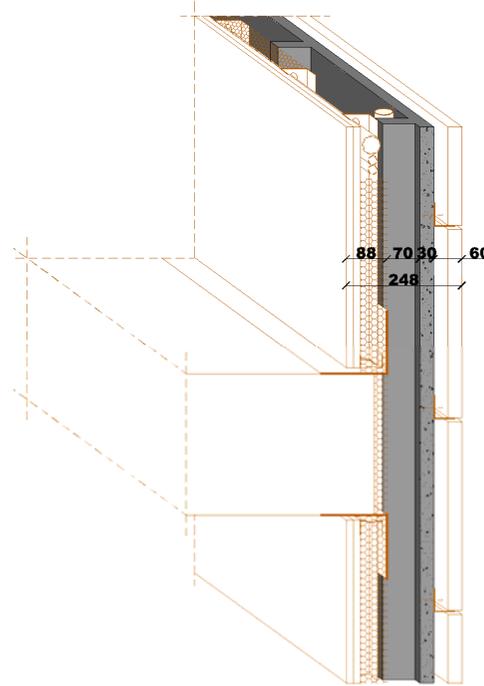
**Protección al fuego:**

Interior. Doble placa estándar y lana de roca.

**Características particulares:**

- Precisa barrera de vapor.
- Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección.
- Admite paso de instalaciones de sección media en recorridos verticales.

11 (3)



**PANEL NERVADO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ARMADO CON FIBRAS**

**Acabado interior:**

Doble placa de yeso laminado fijada con perfilera autoportante (48mm) arriostrada.

**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

**Aislamiento térmico adicional:**

Interior.

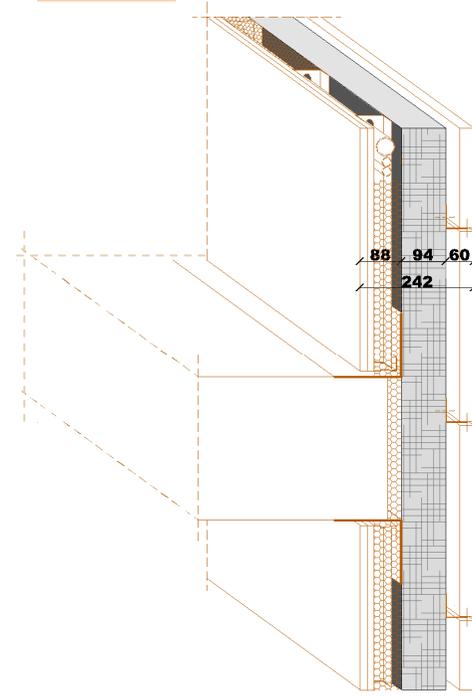
**Protección al fuego:**

Interior. Doble placa estándar y lana de roca.

**Características particulares:**

- Precisa barrera de vapor.
- Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección.
- Admite paso de instalaciones de sección media en recorridos verticales.

12 (3)



**PANEL CONTRACHAPADO DE MADERA 94mm**

**Acabado interior:**

Doble placa de yeso laminado fijada con perfilera autoportante (48mm) arriostrada.

**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

**Aislamiento térmico adicional:**

Interior.

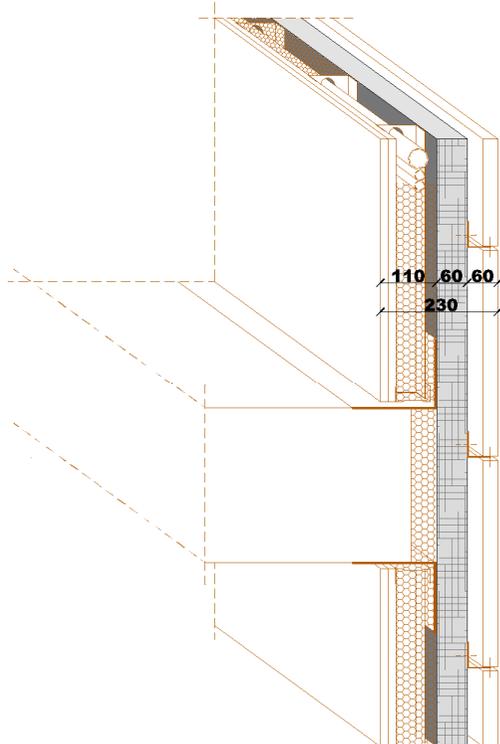
**Protección al fuego:**

Interior. Doble placa estándar y lana de roca.

**Características particulares:**

- Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección.
- Admite paso de instalaciones de sección media en recorridos verticales.

13 (2)



**PANEL CONTRACHAPADO DE MADERA 60mm**

**Acabado interior:**

Doble placa de yeso laminado fijada con perfilera autoportante de 70mm.

**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

**Aislamiento térmico adicional:**

Interior. Doble placa estándar y lana de roca.

**Protección al fuego:**

Interior.

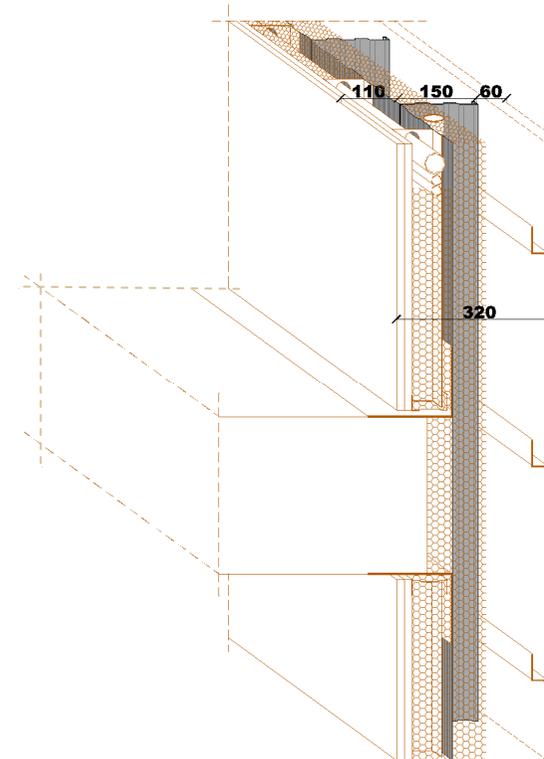
**Reducción acústica:**

Confiada al conjunto formado por dos hojas independientes con material absorbente entre ellas.

**Características particulares:**

- . Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección sin rozas.
- . Admite paso de instalaciones de sección media empotradas.

14 (2)



**BANDEJA DE ACERO GALVANIZADO**

**Acabado interior:**

Doble placa de yeso laminado fijada con perfilera autoportante de 70mm.

**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

**Aislamiento térmico adicional:**

Exterior + Interior.

**Protección al fuego:**

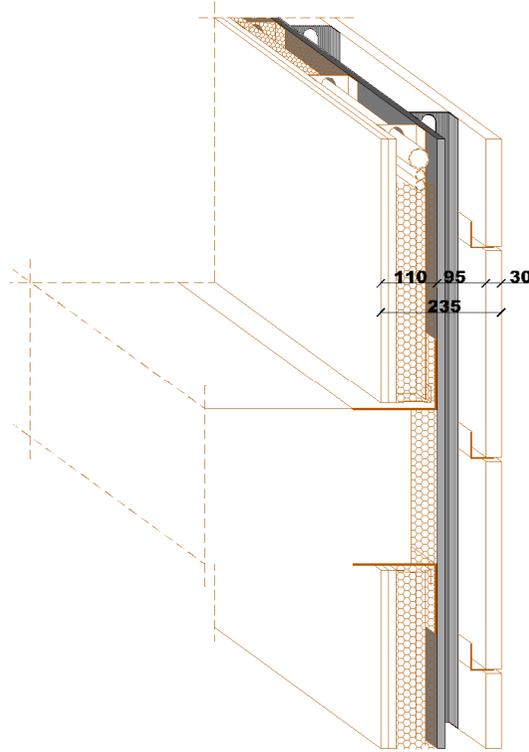
Interior. Doble placa estándar y lana de roca.

**Reducción acústica:**

Confiada al conjunto formado por dos hojas independientes con material absorbente entre ellas.

**Características particulares:**

- . El ancho de nervio conforma una cámara suficiente para cumplir con la función drenante y poder alojar instalaciones comunitarias.
- . Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección sin rozas.
- . Admite paso de instalaciones de sección media empotradas.



#### TABLERO DE CEMENTO CON ENTAMADO DE ACERO GALVANIZADO

**Acabado interior:**

Doble placa de yeso laminado fijada con perfilera autoportante de 70mm.

**Hoja exterior:**

Placa de 3cm de espesor sobre perfiles horizontales.

**Aislamiento térmico adicional:**

Interior.

**Protección al fuego:**

Interior. Doble placa estándar y lana de roca.

**Reducción acústica:**

Confiada al conjunto formado por dos hojas independientes con material absorbente entre ellas.

**Características particulares:**

- El ancho de nervio conforma una cámara suficiente para cumplir con la función drenante.
- Admite paso de instalaciones interiores de pequeña sección sin rozas.
- Admite paso de instalaciones de sección media empotradas.

ANÁLISIS DE LAS FACHADAS VENTILADAS QUE  
RESULTAN DE LA APLICACIÓN DE LAS  
PROPUESTAS DE PANEL.



INTRODUCCIÓN	FUNCIÓNES Y REQUERIMIENTOS. PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS	TAXONOMÍA Y PROPUESTAS	ANÁLISIS DE LAS FACHADAS VENTILADAS RESULTANTES	CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA
1 • ESTADO DEL ARTE Y PROPÓSITO DEL TRABAJO	2 • FUNCIONES Y REQUERIMIENTOS DE LA HOJA INTERIOR 3 • PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS	4 • TAXONOMÍA SEGÚN CRITERIOS FUNCIONALES 5 • DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y DEFINICIÓN DE PROPUESTAS	6 • VECTORES DE EVOLUCIÓN Y ESCENARIOS. 7 • ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES DE FACHADA VENTILADA	8 • CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA

## Capítulo 6.- VECTORES DE EVOLUCIÓN Y ESCENARIOS QUE SE DIBUJAN EN EL SECTOR.

### 6.1.- Ámbito socioeconómico.

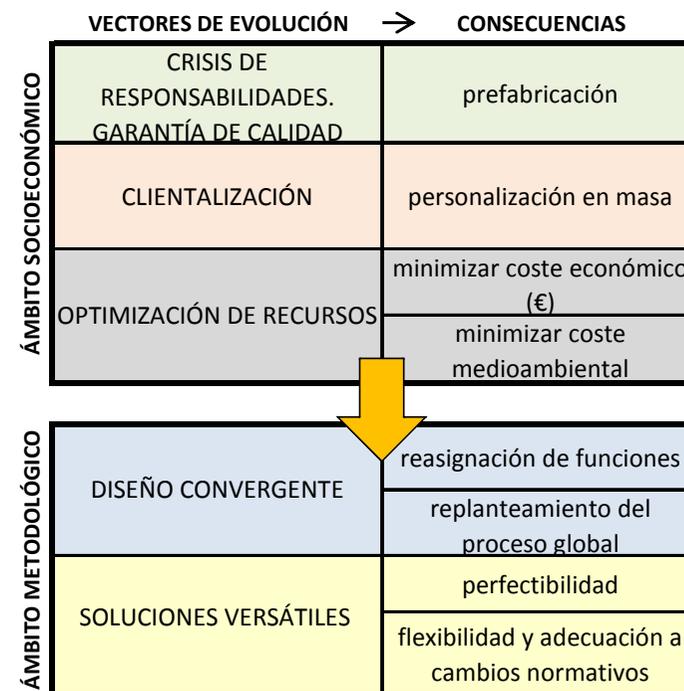
Los vectores de evolución en el **ámbito socioeconómico** marcan las tendencias en los diversos sectores de desarrollo. Su repercusión en la construcción impulsa una nueva forma de trabajar a nivel de diseño, producción, gestión, etc. que dibuja las tendencias en el **ámbito metodológico**.

#### 6.1.1.- Crisis de responsabilidades.

*Montaje de piezas muy completas, de gran tamaño y con mecanismos de unión inequívocos.*

- componentes complejos multifuncionales
- componentes de gran formato (limitar número de juntas)
- mecanismos de unión inequívocos

La exigencia de calidad por parte del usuario final obliga a los industriales a definir y acotar sus responsabilidades. El fabricante puede fácilmente tener un control absoluto del producto en el momento de salir del taller, pero el control en obra es más complicado. Recurrir a montadores especialistas, formados por la propia empresa, ayuda



a garantiza la colocación, pero lógicamente las condiciones de trabajo “in situ” no son las mismas que en taller.

**De la misma manera que está pasando en otros sectores, la construcción tiende hacia la prefabricación en taller de componentes cerrados cuya puesta en obra no implique complejas operaciones de montaje.** La colocación no debe permitir la manipulación del producto ni depender de las capacidades del operario. Estos componentes tienden a ser cada vez más complejos.



Componente complejo “Caja Negra”.



Componente.

#### 6.1.1.1.- El componente complejo. “La caja negra”.

El componente se define como aquel elemento, en este caso constructivo, de gran formato y cuya dimensión se adapta a la requerida por su localización final en la obra, es decir que no admite cambios dimensionales “in situ”.

Cuando este componente lo integran elementos que habitualmente se montan por separado tiene un valor añadido ya que limita las sucesivas operaciones de montaje “in situ”. Pasa a ser un componente complejo que incluso puede agrupar elementos propios de distintos oficios.

Igual que pasa con otros productos de ramos diversos (aparatos electrónicos, electrodomésticos, etc.) el diseño de estos componentes sigue la filosofía “plug & play”: el fabricante suministra una pieza cerrada, “caja negra”, preparada para ser conectada a un sistema general. El usuario no debe manipularla ya que hacerlo supone la pérdida de la garantía.

#### 6.1.1.2.- El tamaño del componente.

La garantía del buen funcionamiento del componente viene dada por el fabricante e incorpora el sistema de resolución de juntas. Aun habiendo diseñado este sistema con sumo rigor, es precisamente en este punto donde, por deficiencias en la puesta en obra, se puede producir una discontinuidad en alguna de las envolventes. Minimizar el número de juntas limita los problemas. Los componentes tienden a ser lo más grandes posible dentro del límite que establecen las condiciones de transporte y puesta en obra.

Trabajar con piezas de gran formato reduce los trabajos en obra.

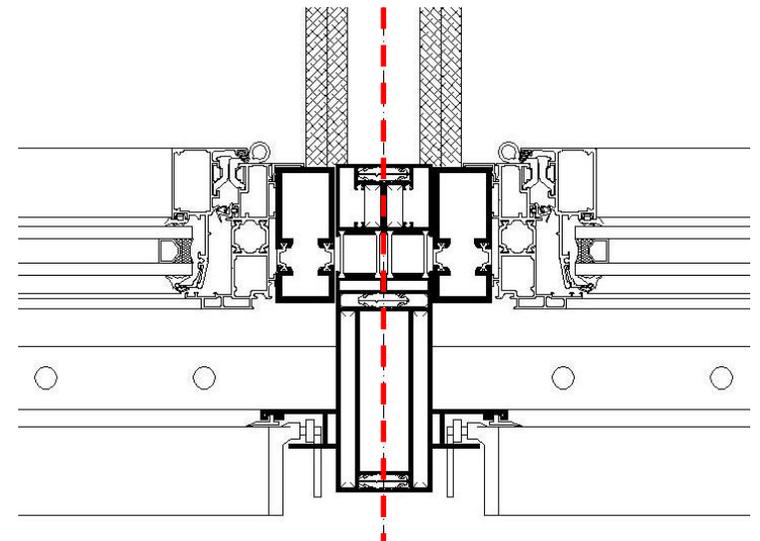
#### 6.1.1.3.- Encuentros entre elementos y sistemas. Nexos.

Esta nueva forma de entender la construcción tiene una clara repercusión en las técnicas de puesta en obra. Las uniones por adición con morteros que requieren de un tiempo de fraguado dejan paso a fijaciones en seco que acostumbran a ser reversibles, por lo que permiten el desmontaje y la reposición de piezas.

Resolver las uniones entre componentes o semiproductos introduce un nuevo campo de desarrollo y experimentación.

La unión entre piezas puede ser directa o precisar de la incorporación de elementos intermedios.

Las uniones directas suelen confiar en formas geométricas más o menos complejas para, por medio de enjarjes o burletes de goma a presión, dar continuidad a las funciones que se deben satisfacer.



Encuentro entre paneles de una fachada concebida a partir de componentes.  
Arq. Clotet y Paricio. Proyecto para la torre Europa.



Turning Torso. Malmö, Suecia. Fachada del Grupo Folcrá. Arq. S. Calatrava.



Los elementos de unión añadidos se diseñan con la voluntad de ser el punto de encuentro entre dos subsistemas diferentes.

**En ambos casos, los nexos o conexiones entre sistemas deben ser capaces de dar continuidad a las funciones básicas en la medida que el diseño, en este caso de la fachada, lo precise.**

La garantía de calidad sugiere que los mecanismos de unión sean inequívocos, es decir, que sólo exista una posibilidad de relacionar un elemento con el contiguo.

#### 6.1.2.- “Clientalización”. Diseño de componentes según las necesidades del cliente.

Esta tendencia hacia el empleo de componentes no implica limitar las posibilidades compositivas o diseñar pensando en la repetición.

Hasta no hace mucho los criterios de producción aún seguían el modelo industrial que nació a principios del siglo XX en el sector de la automoción con el “modelo T” de Ford. Hoy en día este modelo ha quedado caduco. Precisamente ha sido el sector del automóvil, en lo que se refiere a la producción para el gran público, el que ha vuelto a impulsar el cambio hacia una producción industrial pero no demasiado seriada y que evita la acumulación de “stocks”.

Los procesos industriales permiten adaptar el producto a las necesidades del usuario personalizándolo según sus deseos, es decir que los componentes que se emplean en la construcción de un determinado edificio se adecuan al diseño que propone el arquitecto.

Al iniciarse la fabricación del producto éste ya tiene un futuro usuario definido. El proceso de producción permite incorporar modificaciones sobre el objeto en base a las necesidades particulares del destinatario final, o en el caso de la arquitectura, del proyecto.

**No se fabrica para un mercado indefinido, sino para un cliente concreto. El producto se personaliza para cada cliente.**

#### 6.1.3.- Optimización de recursos.

*Aprovechamiento de los recursos tanto materiales como de energía.*

- minimizar coste económico
  - técnicas y materiales económicos
  - minimizar mano de obra (componentes complejos)
  - reducir la duración de la obra (componentes complejos)
  - optimización de la superficie edificable
- minimizar coste medioambiental
  - limitar el consumo de materia y energía
  - limitar las emisiones de gases contaminantes
  - limitar la generación de desperdicios

Cualquier solución constructiva no puede obviar en su formalización criterios de coste económico y medioambiental.

El coste económico incide tanto en aspectos materiales como de gestión y diseño. Se debe tener en cuenta la elección de la materia prima y sus técnicas de procesado más adecuadas; la organización del trabajo (plazos y mano de obra); así como la elaboración

de un proyecto arquitectónico que optimice el espacio edificable y los elementos construidos, es decir, diseñar soluciones de poco grueso y multifuncionales.

En cuanto al coste medioambiental, es importante el estudio del ciclo de vida del edificio contemplando todos los aspectos relacionados tanto con las fases de ejecución y desmontaje como con la vida útil.

## **6.2.- Ámbito metodológico.**

Los vectores de evolución ligados con aspectos metodológicos surgen de las tendencias evolutivas dentro del ámbito socioeconómico. Son consecuencia de ellas.

### **6.2.1.- Diseño convergente.**

Esta nueva manera de concebir la construcción sugiere una reflexión acerca del diseño de sistemas y los procesos de trabajo convencionales. El desarrollo lineal desde el anteproyecto hasta la construcción, y la progresiva incorporación de técnicos e industriales desaparece.

#### **6.2.1.1.- Reasignación de funciones.**

Durante la mayor parte del siglo XX la voluntad ha sido diseñar materiales específicos para la satisfacción de las distintas funciones exigidas a los elementos constructivos. Con ello se pretendía llegar a soluciones óptimas basadas en la superposición de capas especializadas. El resultado han sido sistemas muy triturados y de montaje lento a base de materiales añadidos unos sobre otros.



Colocación en obra de un componente complejo.

**La especialización del material no permite la optimización del elemento ya que cada capa tiene una única función asignada.**

Tras el desmembramiento de los sistemas, la voluntad actual es hacer una relectura de la asignación funcional buscando una combinatoria que permita, a demás de optimizar el material, optimizar el elemento. **Construir a partir de componentes complejos facilita la reasignación funcional al eliminar el habitual proceso secuencial de trabajar.**

La reasignación funcional entre las diversas capas que forman el cerramiento ha sido el criterio de análisis para elaborar este trabajo de investigación, entendiendo que de él dependen las distintas posibilidades de diseño de la hoja interior de la fachada ventilada, y en consecuencia del conjunto del cerramiento.

#### 6.2.1.2.- Replanteamiento del proceso global.

La construcción basada en componentes diseñados de forma específica para cada obra requiere modificar el proceso de trabajo desde el anteproyecto hasta el final.

Los oficios tradicionales, albañilería, yesería, etc. no requieren de una definición del proyecto muy rigurosa. Son sistemas por todos conocidos y asumidos que forman parte de nuestro lenguaje. La conformación del elemento constructivo “in situ” a partir de pequeños elementos y pastas amorfas permite fácilmente adaptarse a los cambios surgidos a lo largo del proceso. Son técnicas versátiles, flexibles.

Trabajar con componentes obliga a definir su diseño a la vez que se proyecta el conjunto del edificio. Nada se da por supuesto, todo debe estar claramente



Muro cortina modular de Coperfil. Zona Franca, Barcelona.



especificado. La concepción de estos componentes precisa del asesoramiento de los industriales que intervendrán en su fabricación, por lo que su presencia no se limita a la fase de ejecución sino que deben participar desde la gestación del proyecto.

Los plazos de obra obligan a fabricar los componentes en taller a la vez que se empiezan los primeros trabajos in situ, de manera que estén preparados cuando se requiera su colocación.

**El proceso secuencial de incorporación de los distintos trabajos a la obra queda obsoleto cuando el edificio no se descompone por oficios.**

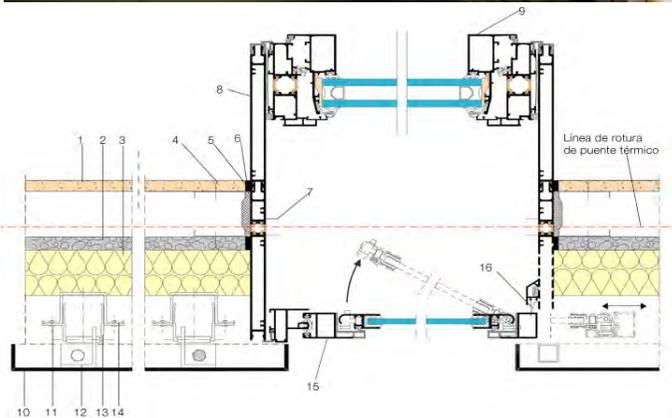
La concepción conjunta del edificio, basada en las aportaciones de los distintos actores que intervienen, es la vía para conseguir proyectos ricos y coherentes.

#### 6.2.2.- Soluciones versátiles.

La adaptación al cambio de los sistemas constructivos se puede entender como robustez o como versatilidad.

- Robustez: Adaptación a las condiciones cambiantes sin necesidad de intervenir sobre los sistemas para adecuarlos a los nuevos “inputs”.
- Versatilidad: Posibilidades de adaptabilidad que sí requieran de una intervención.

La primera está normalmente ligada al sobredimensionado del sistema mientras que la segunda depende de un adecuado diseño optimizado.



Fachada perfecta. Technal y Arq. Ignacio Paricio.

La crisis del consumo indiscriminado definitivamente ha hecho valorar conceptos como la reutilización, el cambio de uso y las posibilidades de implementación de las prestaciones de los objetos de consumo, entre los que podemos situar la arquitectura.

El proyecto debe contemplar la vida útil del edificio y el destino final de todos los elementos que lo forman. Plantear ciclos de vida cerrados donde la posibilidad de adaptación a los cambios forme parte del diseño de partida.

Este vector de evolución en el ámbito metodológico surge de dar respuesta a la optimización de recursos que plantea la evolución en el orden socioeconómico.

#### 6.2.2.1.- Perfectibilidad.

No únicamente se trata de reutilizar sino también de mejorar, y el concepto es tan válido para el edificio en su conjunto como para cada una de sus partes. Reutilizar o mejorar las prestaciones de la fachada, la cubierta, las instalaciones, etc. Cada una de las partes debe ser susceptible de incorporar cambios o mejoras desde su diseño de partida.

#### 6.2.2.2.- Flexibilidad.

El edificio en su conjunto debe permitir cambios de uso que conlleven alteraciones en su distribución interior, cerramientos, etc.

La reasignación funcional tiene mucho que ver en ello. Incorporar la función portante en elementos estratégicamente situados y adecuados para diversas propuestas de compartimentación interior permite diseñar plantas diáfanas. La

localización de pasos para instalaciones insertos en estos elementos a modo de tendido venoso permite dar servicio a todos los puntos de la planta.

#### 6.2.2.3.-Adecuación a cambios normativos.

Los sucesivos cambios y revisiones normativas es otro de los factores externos que repercute en la arquitectura dejando obsoletos edificios que, hasta la aprobación de la norma, habían funcionado bien. De hecho, no dejan de hacerlo cuando ésta entra en vigor, pero para cualquier pequeña reforma la administración acostumbra a exigir la puesta al día del conjunto. Esta situación favorece la ejecución de obras de reforma sin permisos municipales.

De nuevo depende del proyecto inicial que el edificio se adecue a diferentes requerimientos normativos de manera que las modificaciones puedan ser asumidas por el usuario.

### **6.3.- Escenarios que se dibujan en el sector.**

---

La incidencia de los vectores de evolución es distinta dependiendo de los diferentes entornos sociales, culturales y económicos. Son parámetros socioeconómicos los que dibujan los distintos escenarios ya que los metodológicos sólo tienen repercusión a nivel interno, en el marco de cada subsector profesional.

La principal diferencia entre los distintos sectores es su posición respecto a la innovación.

**El sector innovador es el motor del cambio. Estimula a la industria planteando necesidades a las que ésta debe dar respuesta.**

**El sector conservador va a remolque de la industria. No es un sector propositivo.**

En el primero, la fuerte concienciación de la problemática en cuanto a responsabilidades y costes, sumada a la competencia entre técnicos, obliga a repensar el sistema continuamente.

En el segundo, la falta de perspectiva global y el fuerte arraigo de las soluciones más convencionales, no deja paso a nuevas propuestas. La incursión de soluciones novedosas es lenta y fragmentada por lo que deben convivir con la construcción convencional.

Los escenarios se distinguen pues por su implicación en el cambio, mientras uno estira de la industria el otro va a remolque de ella.

- Conservador: *Push*.
- Innovador: *Pull*.

#### 6.3.1.- Conservador.

*Incorpora de forma lenta las novedades que aporta la industria – Push.*

El sector más conservador, ligado aún a la figura del albañil con oficio apto para realizar cualquier trabajo en obra, pide soluciones artesanales adaptables en el momento de la ejecución. Se trabaja con elementos constructivos de pequeño formato y con técnicas de puesta en obra húmedas.



Edificio Gas Natural, Barcelona. Arq.: E. Miralles & B. Tagliabue.



1 – Viviendas de protección oficial, Terrassa. RGA Arquitectos.



2 – Hotel AC, Barcelona. G.C.A S.L. Arquitectos y MAP Arquitectos.

Este proceso de construir, aún artesano, permite la adecuación del proyecto a los caprichos del cliente “in situ”, sin la necesidad de recurrir a ingeniosos procesos de prefabricación industrializada y “clientalizable”.

El proceso artesano, unido a la confluencia de industriales diversos en la ejecución de un único elemento constructivo, no permite acotar las responsabilidades.

Cuando la aplicación de criterios medioambientales incrementa el presupuesto de la obra, prima la economía inmediata por encima de cualquier consideración medioambiental. Estos dos parámetros sólo se invierten si se trabaja con dinero público o, aún siendo el promotor un particular, existe una financiación por parte de la administración.

La velocidad a la que se produce el desarrollo tecnológico nada tiene que ver con el ritmo al que se incorporan estos avances.

### 6.3.2.- Innovador. Motor del cambio – Pull.

Este sector, no sólo contempla todos los avances de la técnica y los incorpora, en mayor o menor medida, según requiera cada proyecto; sino que genera necesidades para las que la industria aún no tiene una respuesta.

La innovación viene motivada por dos objetivos principales:

- innovación para la mejora social, técnica y económica,
- innovación al servicio de la arquitectura simbólica o representativa.

En el primero prevalecen valores ligados con la optimización de recursos y la garantía de calidad. La adecuación de los sistemas constructivos a los requerimientos del cliente se plantea desde el punto de vista de la personalización en masa y no con el objetivo de construir proyectos singulares.

El segundo emplea la innovación para materializar alardes formales. Se caracteriza por la desmedida en el empleo de recursos y la completa personalización del proyecto según los deseos del cliente o del arquitecto.

En ambos casos, el reto de su materialización obliga a experimentar con procesos y productos que mueven al sector. Son el germen de los sistemas constructivos que la industria se adjudica y saca al mercado de forma generalizada.

Al contrario de lo que pudiera parecer, la construcción de edificios singulares no depende de técnicas distintas a las aplicadas en edificios más modestos desde el punto de vista formal. Son varios los ejemplos en la arquitectura actual donde se emplean soluciones constructivas similares en edificios con presupuesto e imagen muy distinta. Para todos ellos el arquitecto busca sistemas constructivos que no condicionen la imagen del edificio y donde el industrial pueda dar garantías del producto terminado y colocado.



3 - Caixa Forum, Madrid. Arq. Herzog & de Meuron.



4 - Viviendas de protección oficial, Guadalajara. Artefacto Arquitectos.

INTRODUCCIÓN	FUNCIONES Y REQUERIMIENTOS. PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS	TAXONOMÍA Y PROPUESTAS	ANÁLISIS DE LAS FACHADAS VENTILADAS RESULTANTES	CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA	
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>ESTADO DEL ARTE Y PROPÓSITO DEL TRABAJO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FUNCIONES Y REQUERIMIENTOS DE LA HOJA INTERIOR</li> <li>PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>TAXONOMÍA SEGÚN CRITERIOS FUNCIONALES</li> <li>DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y DEFINICIÓN DE PROPUESTAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>VECTORES DE EVOLUCIÓN Y ESCENARIOS</li> <li>ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES DE FACHADA VENTILADA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA</li> </ul>

## Capítulo 7.- ANÁLISIS DE LAS FACHADAS QUE RESULTAN DE LA APLICACIÓN DE CADA PROPUESTA DE PANEL.

*Ampliado en los documentos de Desarrollo 5 y 6*

### 7.1.- Criterios de análisis.

El análisis de las distintas soluciones de fachada no se puede realizar a partir de la satisfacción de las funciones de acondicionamiento interior ya que todas deben cumplirlas. **Lo que guía este análisis son los parámetros de diseño que se desprenden de los vectores de evolución.**

Dado que los vectores de evolución no repercuten de la misma manera en los distintos escenarios y según los condicionantes de cada proyecto, la relevancia de estos parámetros es variable. No existe pues una única solución de fachada ventilada, y por lo tanto de panel, adecuada.

VECTORES DE EVOLUCIÓN → CONSECUENCIAS:		PARÁMETROS QUE REPERCUTEN EN EL DISEÑO DE LA FACHADA VENTILADA			
ÁMBITO SOCIOECONÓMICO	CRISIS DE RESPONSABILIDADES. GARANTÍA DE CALIDAD	prefabricación	componentes complejos multifuncionales	MULTIFUNCIONALIDAD	
			componentes de gran formato (limitar número de juntas)	FORMATO	
			mecanismos de unión inequívocos	ENCUENTROS	
	CLIENTALIZACIÓN	personalización en masa	adecuación a cualquier propuesta	FORMA DEL MATERIAL	
	OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS	minimizar coste económico (€)		técnicas y materiales económicos	MATERIAL
				minimizar mano de obra (componentes complejos)	MULTIFUNCIONALIDAD
				reducir la duración de la obra (componentes complejos)	MULTIFUNCIONALIDAD
		minimizar coste medioambiental		optimización de la superficie edificable	FORMATO
				limitar el consumo de materia y energía	MATERIAL
			limitar las emisiones de gases contaminantes	MATERIAL	
		limitar la generación de desperdicios	FORMA DEL MATERIAL / ENCUENTROS		

7.1.1.- Forma del material.

*“Clientalización” y optimización de recursos.*

El panel de hoja interior no puede limitar la libertad compositiva en cuanto a la disposición de los huecos. La imagen de la fachada no se debe adaptar al ritmo del panel de soporte sino al revés. Para ello, el panel se tiene que poder cortar o producir según las medidas que requiera la obra.

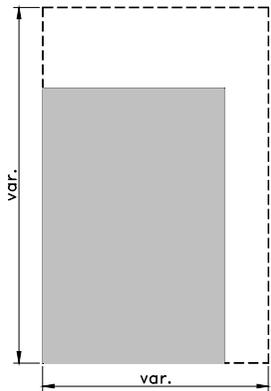
El panel de fachada, dependiendo de si admite adecuar sus dimensiones a las requeridas por cada proyecto, puede ser:

No permite adecuar las dimensiones		<b>componente estándar</b>	
Permite adecuar las dimensiones	Por corte	Según el ancho y largo	<b>semiproducto</b>
		Únicamente según el ancho o el largo	<b>semiproducto de ancho o largo fijo</b>
	En el proceso de fabricación		<b>componente a medida</b>

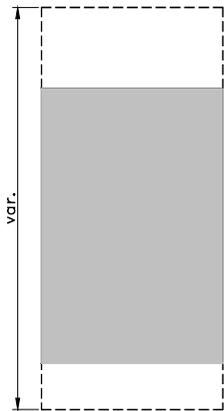
Los paneles que admiten modificar sus dimensiones por corte son fácilmente adaptables a los requerimientos dimensionales de la obra por lo que no tiene sentido el diseño a medida.

En muchas ocasiones estos paneles sólo admiten el corte en una de las dos direcciones principales. Los procesos de fabricación por laminado permiten generar geometrías elaboradas en los dos cantos paralelos a la dirección de laminación. Para no mermar las cualidades de la placa, el corte sólo se debería admitir en sentido transversal.

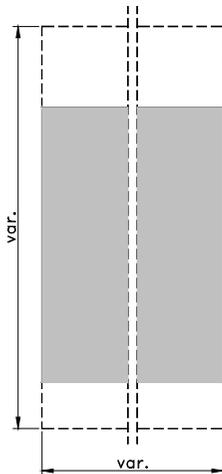
SEMIPRODUCTOS



Ej.: Placa de cemento;



Ej.: Sándwich de acero;



Ej.: Bandeja de acero.

No obstante, las chapas de poco espesor se pueden cortar por el tramo central, variando el ancho por medio de solapes. La solución no es muy adecuada ya que aparece una nueva junta de geometría distinta a las del resto del sistema.

La elaboración de componentes a medida supone disponer de un proceso de producción que permita esta libertad dimensional. Hoy en día no existe proceso de fabricación flexible en todas las áreas. Por ejemplo, el laminado de chapas está limitado, por los anchos de bobina y los procesos industriales, a módulos estándar. La conformación a partir de materiales amorfos como el hormigón permite mayor flexibilidad.

De entre las propuestas de panel son componentes aquellas que cumplen con uno de los siguientes condicionantes:

- consiguen la estanqueidad entre placas recurriendo al conformado de la junta. Si se corta el perímetro se dificulta la obtención de estanqueidad;
- el conjunto del panel se estructura de manera rítmica definiendo unos elementos portantes que se distinguen del conjunto. Sin alguno de ellos, el panel podría perder capacidad mecánica.

El resto de soluciones sí admiten el corte con mayor o menor dificultad en función de las características del material por lo que, en un principio, podríamos considerar que son semiproductos. No obstante, y como ya se ha dicho, algunos procesos industriales actuales permiten fabricar productos según las especificaciones del cliente, por lo que en muchos casos resulta más operativo producir componentes en lugar de semiproductos.



Semiproducto que admite el corte en sentido transversal y longitudinal por el centro de la bandeja.



Corte en obra de las placas de hormigón aireado.



Componente a medida. Panel de Kingspan.

Desde el punto de vista de la optimización de recursos, la producción a medida evita la generación de runa y todas las operaciones de transporte y manipulación que ésta conlleva.

#### 7.1.2.- Multifuncionalidad.

*Garantía de calidad y optimización de recursos.*

##### 7.1.2.1.- Mínimas operaciones de montaje.

Las propuestas de panel que resultan de este trabajo de investigación agrupan más o menos requerimientos dependiendo del tipo funcional al que pertenecen. Cuantas menos funciones resuelve el panel más capas añadidas habrá que colocar en obra por lo que menor será la posibilidad de un adecuado control del producto terminado por parte del fabricante.

Aún perteneciendo el panel al tipo funcional “5”, la hoja exterior se colocará “in situ” por lo que siempre existirá cierta falta de garantía.

Entre las propuestas homogéneas planteadas para los distintos tipos funcionales hallamos algunas adecuadas para resolver muchos requerimientos y otras limitadas a satisfacer pocas funciones. **La diferencia entre ambas está en el grueso. La plurifuncionalidad aplicada a materiales simples exige sobredimensionar la sección para adaptarla a la diversidad de requerimientos.**

La combinación de materiales especializados formando un semiproducto o componente da lugar a elementos multifuncionales de estructura mixta y por lo tanto heterogénea.

**Las propuestas mixtas se plantean principalmente para resolver el máximo número de funciones ya que, a medida que se segregan requerimientos del elemento portante, pierde sentido la complejidad de diseño o fabricación.**

Existen tres maneras de diseñar fachadas, a partir de los paneles propuestos, aptas para satisfacer todos los requerimientos que les son exigibles:

- por medio de paneles homogéneos multifuncionales normalmente gruesos;
- recurriendo a paneles compuestos multifuncionales de menor espesor formados por láminas especializadas;
- asumiendo procesos de montaje en obra para la colocación de las sucesivas capas que forman el conjunto;

Las dos primeras son las que ofrecen mayor garantía del buen funcionamiento de la fachada al requerir menos trabajos de montaje en obra y por consiguiente un mayor control del producto por parte del fabricante.

Para los tres casos, el panel portante tanto puede ser un semiproducto como un componente, es decir que, **la diferencia básica entre estas dos formas de los materiales, posibilidad de adecuar las dimensiones en obra, no afecta a la multifuncionalidad. Sí lo hace el hecho de trabajar con componentes simples o complejos.**

Ninguno de los paneles estudiados puede considerarse un componente complejo. A pesar de estar formados en muchos casos por varios materiales no reagrupan trabajos propios de distintos oficios.



Ruukki. 'Offsite solutions for the modern building envelope'.

Cuando el panel, pertenezca al tipo funcional que sea, se integra en un componente complejo, la satisfacción de los requerimientos puede ser total, aportando las máximas garantías del buen funcionamiento de la fachada. El éxito de la solución queda encomendado a las juntas.

Trabajar con componentes complejos permite incorporar cualquiera de las soluciones de panel planteadas a un sistema de fachada completamente prefabricado y multifuncional ya que, aun partiendo de un panel perteneciente al tipo funcional "2", la incorporación de las sucesivas capas añadidas en taller hace que el producto terminado satisfaga todas las funciones básicas del cerramiento.

**La multifuncionalidad del producto que sale de taller es pues una garantía de calidad ya que evita los trabajos "in situ". Para ello se puede trabajar a partir de soluciones de panel más o menos complejas, pero siempre colocando las capas añadidas en taller.**

La valoración de las soluciones de fachada, desde el punto de vista de la multifuncionalidad, debe contemplar la incorporación de las funciones de servicio. Será más multifuncional aquella solución que permita alojar instalaciones o dar el acabado al espacio interior sin que ello suponga incrementar el número de capas o su grueso.

Para cada solución de panel, dependiendo de su espesor y estructura interna, se puede plantear la incorporación del tendido de las instalaciones empotrado. Sí el panel pertenece a un tipo funcional que reagrupa pocas funciones, y por lo tanto

debe complementarse con varias capas añadidas, las instalaciones podrán alojarse en el grueso de alguna de estas.

La primera opción mejora la multifuncionalidad del panel mientras que la segunda reagrupa la función de alojar instalaciones en otra de las capas que forman la fachada. Desde el punto de vista de la multifuncionalidad del cerramiento ambas soluciones son buenas, pero si lo que se plantea es la multifuncionalidad del componente que llega a obra, la valoración cambia.

La misma situación se da con la función de acabado del espacio interior. Tanto la puede resolver el propio panel portante, como quedar encomendada a otra de las capas, normalmente a la de protección frente al fuego.

La valoración de las fachadas no se puede hacer en base a la multifuncionalidad ya que lógicamente todas deben cumplir las funciones básicas exigibles al cerramiento. La multifuncionalidad del panel se desprende del tipo funcional al que pertenece cada solución.

#### 7.1.2.2.- Mínima mano de obra y tiempo de ejecución.

**Los paneles multifuncionales reducen los trabajos in situ ya que evitan tener que añadir capas sobre el elemento soporte de la fachada. Es decir que, tanto el grueso excesivo de los paneles homogéneos, como la complejidad en la estructura de los heterogéneos, se ven compensadas por la optimización de recursos de mano de obra y tiempo.**

Trabaja con elementos que llegan a obra muy terminados, paneles multifuncionales o, en el extremo, componentes complejos, limita el tiempo y la mano de obra que se tiene que dedicar a labores de ejecución “in situ”. Se reduce la siniestralidad a la vez que se acorta el plazo de tiempo necesario para que el promotor recupere la inversión.

Construir en taller permite obviar el proceso secuencial habitual de trabajar en la obra, fabricando de forma más o menos simultánea los distintos componentes. La materialización de la fachada, o de cualquier otro de los subsistemas que forman parte del edificio, no está condicionada por la ejecución del resto de elementos, únicamente lo está el momento del montaje.

El correcto funcionamiento del sistema depende de la adecuada coordinación en la producción de los diversos componentes para evitar la acumulación de stocks en fábrica. La convivencia en un mismo proyecto de trabajos de ejecución “in situ”, sujetos a adversidades climáticas, etc. y sistemas prefabricados, puede acarrear desajustes en los plazos de montaje llegando a bloquear las cadenas de producción.

#### 7.1.3.- Formato.

*Garantía de calidad y optimización de recursos.*

##### 7.1.3.1.- Peso y tamaño. Minimizar el número de juntas.

El peso de la fachada terminada únicamente afecta a la sobrecarga aplicada a la estructura principal. El CTE, en el documento “DB-HR: Protección frente al ruido”, limita el peso para las fachadas ligeras a 200 kg/m<sup>2</sup>; aún así, ningún documento exige

que los cerramientos verticales deban satisfacer este valor. Trabajar con fachadas ligeras es un requerimiento no normativo que mejora la calidad del cerramiento al permitir trabajar con grandes formatos **minimizando el número de juntas a la vez que se acelera el proceso de montaje. Todo ello implica mayor garantía de calidad y economía del recurso tiempo.**

Las propuestas de panel planteadas rondan pesos de entre los 15,70 kg/m<sup>2</sup> de las bandejas de acero a los 152 kg/m<sup>2</sup> del panel homogéneo de sección maciza de hormigón ligero.

El peso de la fachada terminada dependerá de las capas añadidas para completar los requerimientos que no satisface el panel, dependiendo del tipo funcional al que pertenece. Esos valores pueden ser muy diversos. La hoja exterior, por ejemplo, puede ir de los 75 kg/m<sup>2</sup> de placas de piedra de 3 cm de grueso a los 23 kg/m<sup>2</sup> de un gres porcelánico de 9 mm.

Aún diseñando paneles de muy poco peso, el formato dependerá del proceso de fabricación aplicable a cada caso, el transporte y el montaje. Si nos limitamos a formatos que no precisen transportes especiales deberemos trabajar con paneles de no más de 12,5 m de longitud. Considerando el ancho de un metro, el peso de los paneles propuestos va de 190 kg a 1.900 kg aproximadamente.

La diferencia de peso entre las 14 propuestas de panel no plantea la necesidad de emplear maquinaria de elevación distinta según los casos.

Capacidad de carga de las grúas automontables: de 1.500 kg a 8.000 kg.  
Capacidad de carga de las grúas automontables con la carga se sitúa en el extremo de la pluma: de 500 kg a 1.450 kg



Si el peso de la fachada es relevante en cuanto al formato del semiproducto o componente que llega a obra, se entiende que la valoración se debe hacer en base al peso del panel y no de la fachada terminada por medio de la disposición del resto de capas “in situ”. Únicamente trabajando con componentes complejos deberemos contemplar el peso total. En estos casos, la repercusión que el incremento de peso pueda tener en la maquinaria de montaje se ve compensada por los beneficios en cuanto al tiempo de ejecución en obra, la calidad del producto terminado, etc. Los componentes complejos acostumbran a ser de gran formato.

#### 7.1.3.2.- Espesor. *Optimizar la superficie edificable.*

Pasar de una envolvente de 30 cm de espesor a una de 20 cm implica un aumento en la superficie útil que puede ser relevante en tipologías edificatorias donde los metros cuadrados de fachada son considerables. Dependiendo de la ubicación del edificio, el precio de venta del metro cuadrado compensa el posible sobrecoste de una solución de fachada de alto nivel tecnológico pero de poco espesor.

La crisis actual, que afecta entre otros al sector de la construcción, puede ser que haga variar los costes y precios de venta al público. Resulta imposible saber que pasará una vez superada la crisis y cuál será la tendencia del sector, pero **optimizar los metros cuadrados de parcela, ya sea como espacio útil, o como grueso construido que alberga el máximo de funciones al servicio de éste, debería ser siempre uno de los objetivos a la hora de diseñar sistemas constructivos.**

Las soluciones de panel planteadas van de los 200 mm del hormigón aireado o de la madera contrachapada, a los 50 mm del panel de hormigón de alta resistencia

armado con fibras. En realidad estos gruesos son poco relevantes, los que interesan son los de las soluciones de fachada terminadas. Estos oscilan entre los 320 mm que requiere el cerramiento a base de bandejas de acero, a los 140 del que incorpora como panel portante un sándwich de chapa de acero.

La bandeja, siendo la placa más delgada empleada para formar un panel, es la que por medio del doblado adquiere un grueso total mayor. Este exceso de espesor alberga una cámara de ancho suficiente para desempeñar la función drenante y alojar parte de las instalaciones generales añadiendo una nueva función al cerramiento.

Los paneles sándwich, tanto el de chapa de acero como el de hormigón ligero, se perfilan como dos de las soluciones más adecuadas ya que, perteneciendo al tipo funcional que más requisitos satisface, permiten resolver la fachada con poco grueso.

#### 7.1.4.- Encuentros entre elementos y sistemas. *Garantía de calidad y optimización de recursos.*

De la resolución de los encuentros entre elementos de un mismo sistema o de sistemas distintos depende en gran parte la calidad del producto final. Si bien la fachada al completo puede realizarse en taller, la junta entre componentes siempre se ejecutará “in situ”.

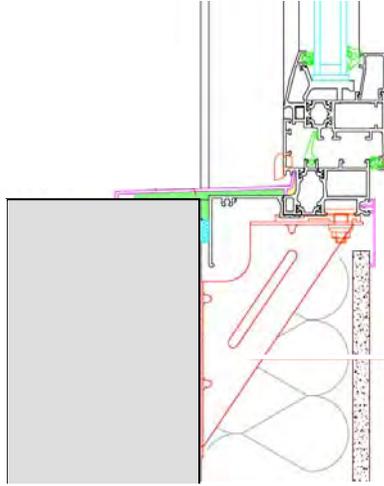
El diseño de encuentros debe asegurar la continuidad de las distintas envolventes impidiendo la entrada en carga de los elementos que no hayan sido concebidos para tal fin, evitar errores de ejecución y permitir el fácil montaje y desmontaje.



Ruukki. 'Offsite solutions for the modern building envelope'.



Fijación de ventana sin premarco. Technal.



Continuidad de las envolventes	ENCUENTROS DURADEROS
Evitar errores de ejecución	ENCUENTROS INEQUÍVOCOS
Permitir el fácil montaje y desmontaje	ENCUENTROS REVERSIBLES

Los criterios que intervienen en el diseño de las juntas son: el grueso del panel, la homogeneidad en los materiales que se muestran en las testas y las posibilidades de conformación del material.

Cuando los encuentros no se producen entre elementos del mismo sistema su diseño es más complejo ya que se desconoce cómo será la geometría que reciba al panel. Lo más habitual es que este encuentro se produzca con una carpintería.

La condición del panel de elemento prefabricado acota el margen de tolerancia en cuanto a las variaciones dimensionales que puedan existir entre éste y el resto de prefabricados. En el caso de las carpinterías no será necesario un cerco perimetral continuo. Para dar continuidad a la envolvente de soporte bastará con situar fijaciones puntuales que transmitan las acciones que recaen sobre la ventana al panel portante de fachada. El resto de envolventes sí precisan continuidad a lo largo de la junta.



Sellado en el encuentro con el hueco.

La adición de nuevos elementos sobre la fachada a lo largo de la vida útil del edificio para mejorar sus prestaciones puede estar también ligada al diseño de la junta o depender de previsiones para futuras fijaciones incorporadas en el panel. Los criterios para el diseño de estas uniones serán los mismos que los de las juntas, teniendo presente que los requerimientos a los que se debe dar continuidad posiblemente serán distintos.

**7.1.4.1.- Encuentros duraderos. Garantía de calidad.**

Las juntas deben garantizar la continuidad en la satisfacción de las funciones que resuelve el panel. La función que mayor repercusión tiene en el diseño de estas juntas es la estanca, entendiendo la estanquidad tanto al agua como al aire. Su interrupción provoca desperfectos muy aparentes en el caso del agua; y la disminución del confort térmico y acústico así como la interrupción de la barrera frente a la propagación del fuego en el caso del aire.

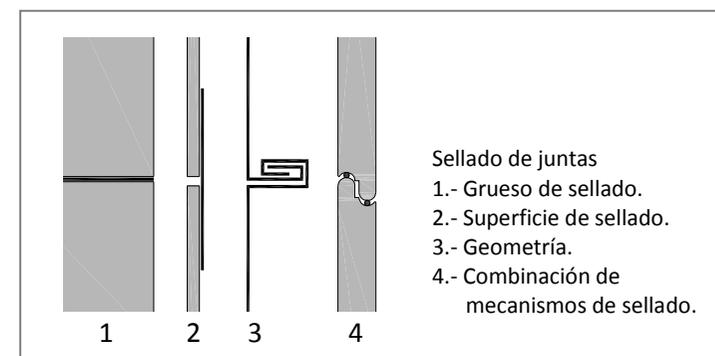
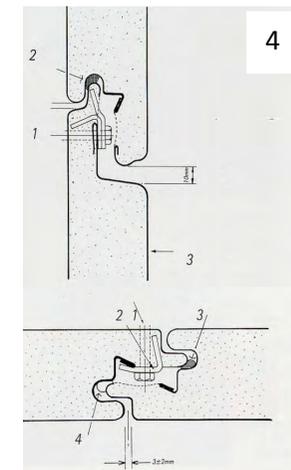
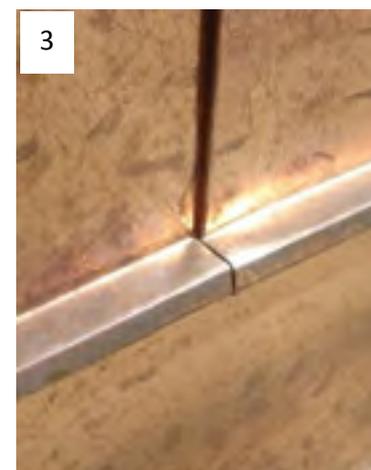
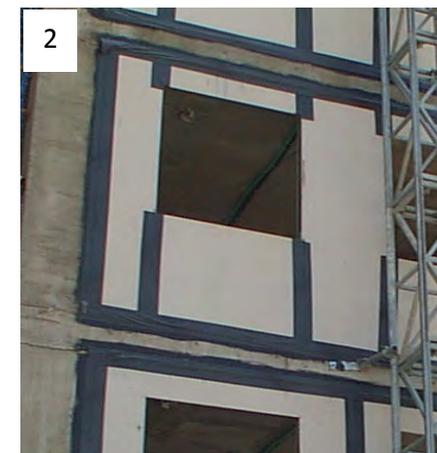
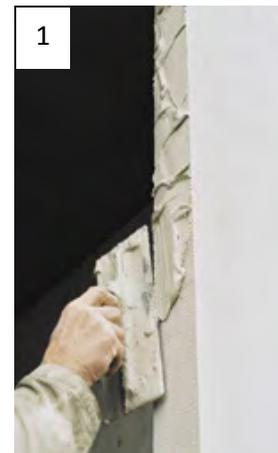
Para conseguir la estanquidad de las uniones tanto se puede recurrir al sellado como a la elaboración de geometrías complejas. Resulta habitual la combinación de diversos de estos mecanismos en una junta.

Diseño	Precisión	Garantía de calidad a largo plazo	Img.
Canto recto	Poco precisa	Por profundidad del sellado	1
		Por superficie del sellado	2
Geometría elaborada	Muy precisa	Por geometría	3
		Por la combinación de mecanismos de sellado	4

Los paneles gruesos de un solo material presentan suficiente superficie continua en los cantos para permitir resolver la junta por sellado en las testas. (img.1)

Los paneles de poco grueso recurren tanto a sellados en superficie (img.2), como a solapes, plegados y engatillados. Estos últimos confían en la geometría y en la presión que se ejerce sobre la junta al ejecutar el engatillado. (img.3)

El encuentro entre paneles de sección relativamente gruesa y heterogénea acostumbra a ser más complejo. Normalmente incorpora mecanismos geométricos





Encuentro en esquina de una hoja interior de chapa grecada de acero galvanizado.



Encuentro inequívoco entre un pilar y una jácena de hormigón prefabricado.

reforzados con sellados. Estos mecanismos imposibilitan el corte del panel que deja de ser un semiproducto para entenderse como un componente. (img.4)

Cuando el encuentro se produce en una esquina o en un rincón de la fachada, la geometría de la placa cobra gran relevancia. Las chapas plagadas son las que presentan mayor complejidad en la resolución de este tipo de juntas, dependiendo de la dirección del plegado en relación con la arista donde se produce el giro.

#### 7.1.4.2.- Encuentros inequívocos. Garantía de calidad.

Los encuentros inequívocos son aquellos regidos por una geometría concreta de gran precisión y que únicamente permite que la unión se realice en una posición. No sólo garantizan el buen comportamiento de la junta sino también la correcta disposición de las piezas a unir.

Todos los paneles propuestos admiten tener juntas inequívocas en, al menos, dos de sus cantos paralelos. Recurrir a estas geometrías dependerá de si se desea trabajar con semiproductos o componentes.

#### 7.1.4.3.- Encuentros reversibles. Soluciones versátiles. Optimización de recursos.

El diseño de las juntas y de los mecanismos de anclaje tiene una especial relevancia en la posibilidad de mejora de la fachada a lo largo del tiempo, su adecuación a cambios normativos, de uso, etc. La fácil sustitución de piezas, así como el posible desmontaje total del cerramiento, depende tanto de la reversibilidad del anclaje como de la junta. Si las uniones entre paneles contribuyen a la estabilidad del

conjunto de la fachada, la reposición de una placa no se puede realizar sin contemplar el comportamiento del conjunto.

Las fijaciones en seco desligadas de la resolución de la junta son las más adecuadas desde el punto de vista de la reposición.

Las posibilidades para la resolución de las juntas son:

Comportamiento mecánico	Forma del material de la junta	Reversibilidad	Ejemplos
Transmite acción mecánica (img.4)	amorfa	No	Mortero
	conformada	Si	Neopreno
No transmite acción mecánica (img.5)	amorfa	Si	Silicona de sellado
	conformada	Si	Burlete polimérico

La mejora de las prestaciones del cerramiento puede depender de la implementación de únicamente una de las funciones que satisface. Si esta función se resuelve por medio de un panel multifuncional, ya sea homogéneo o heterogéneo, se deberá remplazar el panel entero o añadir nuevas capas. La sustitución del panel implica desmontar todo el tramo de fachada ya que éste es el soporte del resto de elementos.

Cuando la función a implementar la resuelve una capa independiente al panel, su sustitución es más sencilla.

**El diseño de un panel componente complejo con uniones en seco entre las diversas láminas que lo forman permitiría el montaje rápido de un elemento complejo con la posibilidad de una futura reposición de láminas de forma independiente.**



### 7.1.5.- Materiales.

#### *Repercusión económica y medioambiental.*

##### 7.1.5.1.- Valoración económica.

La valoración económica hace referencia al conjunto del cerramiento, ya que las capas añadidas que se deben incorporar en aquellas soluciones donde el panel satisface pocas funciones pueden llegar a igualar el precio de éste. El caso de la bandeja de chapa de acero es uno de los más significativos.

Por lo general, el hormigón y el acero van relacionados con costes bajos, mientras que los distintos paneles de madera encarecen el sistema.

Si se trabaja con hormigón de alta resistencia armado con fibras de acero el coste del material aumenta pero disminuye la sección de panel necesaria para satisfacer los requerimientos planteados por lo que el precio total del cerramiento no varía ostensiblemente.

La fachada que incorpora el sándwich de chapa de acero es la solución que, requiriendo una mano de obra mínima, consigue ligereza, economía y delgadez. Recordemos que este panel pertenece al tipo funcional “5” que incorpora todas las funciones esenciales.

La fachada construida sobre la bandeja de acero es algo más cara aunque igualmente ligera. El grueso excesivo de esta solución permite incorporar una nueva función: el paso de instalaciones generales por la cara exterior; es decir que se ve compensado por el espacio liberado en la parte interior de la planta.

#### CAPAS AÑADIDAS CONSIDERADAS EN LA VALORACIÓN ECONÓMICA:

*(Ordenadas desde la cara interior del cerramiento hacia la exterior)*

- Pintura plástica lisa sobre capa de imprimación.
- Trasdoso directo con placa de yeso laminado estándar sobre omegas de acero galvanizado (función de acabado).  
ó
- Trasdoso arriostrado con perfiles de 48 mm situados cada 400 mm. Doble placa de yeso laminado resistente al fuego (función de protección al fuego).  
ó
- Trasdoso arriostrado con perfiles de 48 mm situados cada 400 mm. Doble placa de yeso laminado estándar. (función de acabado y de protección al fuego junto con la lana de roca)  
ó
- Trasdoso autoportante con perfiles de 70 mm situados cada 400 mm. Doble placa de yeso laminado estándar. (función de acabado, de protección al fuego junto con la lana de roca y de amortiguación acústica)
- Placa rígida de lana de roca de densidad 106 a 115 kg/m<sup>3</sup> de 40 mm de grueso entre montantes del trasdoso.

#### **((PANEL))**

- Placa semirígida de lana de roca de densidad 36 a 40 kg/m<sup>3</sup> de 50 mm de grueso con velo negro como aislante térmico por el exterior.

Los precios por metro cuadrado de fachada no contemplan que, en función del tamaño del panel, el edificio se cerrará más o menos rápido. El tiempo es dinero. Cuanto antes se cierre el edificio antes se podrá comenzar a trabajar los interiores.

Los formatos de panel contemplados son todos de gran tamaño, limitado por el transporte. Se han considerado paneles de no más de 12,5 m de largo y del orden de un metro de ancho, con variaciones según formatos comerciales para las bandejas o los sándwiches.

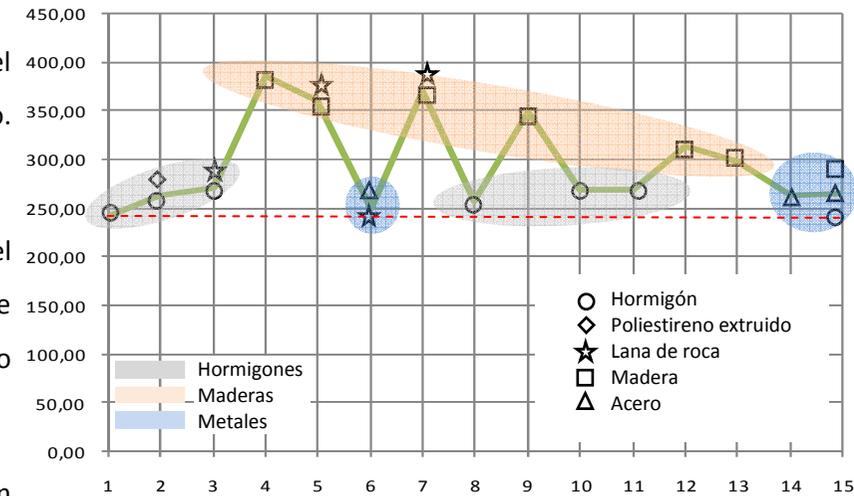
La valoración económica es orientativa ya que los precios son relativos. Están relacionados con variables de mercado, disponibilidad, transporte, etc. que fácilmente pueden oscilar. No existe una relación directa entre el producto y su precio, los factores implicados son tan diversos y poco sólidos que obligan a contemplar el coste como algo fluctuante.

#### 7.1.5.2.- Valoración medioambiental.

Igual que pasa con la valoración económica, es la repercusión medioambiental del conjunto de la fachada lo que interesa.

En la formalización de las propuestas planteadas aparecen cinco materiales principales: hormigón, madera, acero, lana de roca y poliestireno expandido. La diversidad del hormigón en cuanto a áridos, armados, etc. aumenta la variedad de materiales a contemplar desde el punto de vista medioambiental.

PRECIO €/m<sup>2</sup>

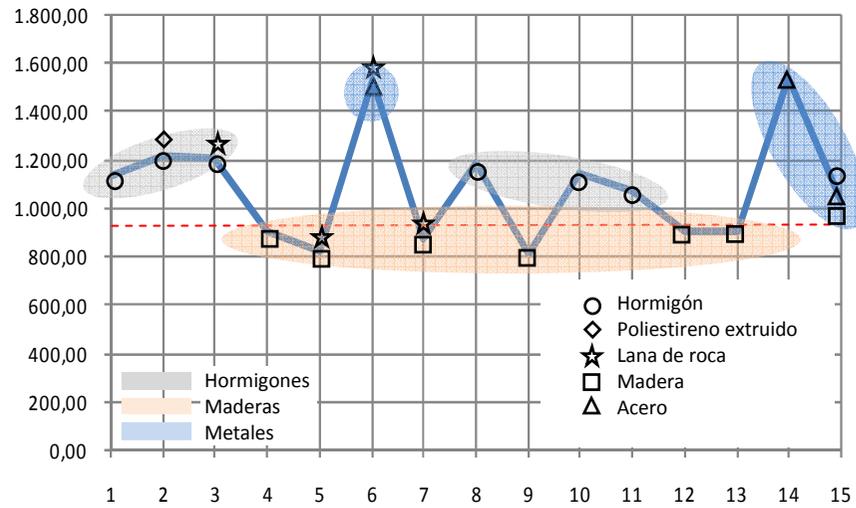


Nota:

- La numeración en el eje de abscisas corresponde a cada una de las soluciones de panel aplicado en fachada.
- La línea de trazos marca el **precio de la fachada resuelta con hoja interior de fábrica de ladrillo hueco.**

PROPUESTA DE PANEL	
Panel de hormigón aireado tratado en autoclave.	1 (5)
Sándwich de hormigón y poliestireno extruido.	2 (5)
Panel nervado de hormigón y lana de roca.	3 (5)
Panel contrachapado de madera. 200 mm	4 (5)
Panel hueco de madera relleno de lana de roca. 160 mm	5 (5)
Sándwich de acero y lana de roca.	6 (5)
Panel hueco de madera relleno de lana de roca. 120 mm	7 (4T)
Panel de hormigón de árido ligero.	8 (4F)
Panel contrachapado de madera. 117 mm	9 (4F)
Panel de hormigón de alta resistencia armado con fibras de acero.	10 (3)
Panel nervado de hormigón de alta resistencia.	11 (3)
Panel contrachapado de madera. 94 mm	12 (3)
Panel contrachapado de madera. 60 mm	13 (2)
Bandejas de acero galvanizado.	14 (2)
Tablero de cemento con entramado de acero galvanizado.	15 (2)

## COSTE ENERGÉTICO



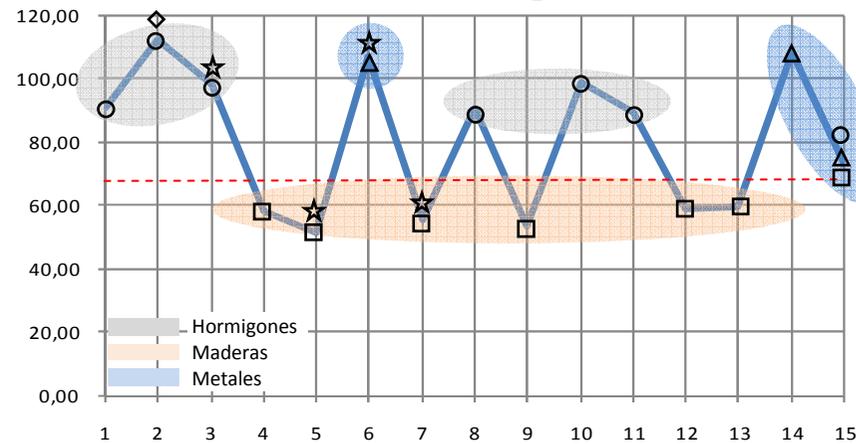
Las soluciones de fachada que incorporan un panel de madera como elemento de soporte son las que tienen un mejor comportamiento desde el punto de vista medioambiental.

El acero es el material que más consumo y emisiones genera, mientras que el hormigón se sitúa en una posición intermedia pero por encima de la fábrica de ladrillo.

El panel formado por un tablero de cemento sobre un entramado de perfiles de acero galvanizado, a pesar de emplear materiales con un impacto medioambiental considerable, optimiza las secciones hasta tal punto que en las gráficas comparativas que acompañan este texto se sitúa próximo a la fábrica de ladrillo.

La relación entre coste económico y coste medioambiental es prácticamente la inversa para todas las propuestas salvo para esta última.<sup>22, 23</sup>

## EMISIONES CO<sub>2</sub>



Nota:

- La numeración en el eje de abscisas corresponde a cada una de las soluciones de panel aplicado en fachada.
- La línea de trazos indica la valoración **de la fachada resuelta con hoja interior de fábrica de ladrillo hueco**.

<sup>22</sup> Tanto la valoración económica como la medioambiental se han realizado a partir de la base de datos del Instituto de tecnología de la construcción de Cataluña –ITeC- Algunas partidas han sido modificadas para adaptarse a las soluciones constructivas que plantea la tesis pero siempre buscando datos equiparables en esta misma base de datos.

<sup>23</sup> Desarrollo 5: Justificación de los valores contemplados en el análisis.  
Desarrollo 6: Consideraciones constructivas.

## **7.2.- Análisis de las soluciones de fachada que resultan de la aplicación de las propuestas de panel.**

---

No todos los parámetros que repercuten en el diseño de la fachada establecen criterios valorativos que permitan destacar una solución frente a las otras. El peso o el tamaño (ancho y largo), por ejemplo, son parámetros importantes según los vectores de evolución pero para los que se dan valores similares en las distintas propuestas planteadas.

En cuanto a la resolución de los encuentros: duraderos, inequívocos y reversibles; todas las propuestas admiten una resolución de las juntas duradera ya sea recurriendo a uno u otro mecanismo. Por otra parte, al no transmitir en ningún caso acción mecánica, la unión puede ser siempre reversible. Únicamente la posibilidad de conformar la junta por geometría para asegurar el ensamblaje inequívoco puede establecer una diferenciación entre las propuestas de panel en este sentido.

El cuadro de la página 99 resume los criterios de análisis vistos en este capítulo y destaca aquellos con mayor repercusión a la hora de elegir entre las propuestas de panel. El listado que se incluye a continuación engloba estos mismos criterios y les suma los que derivan de la satisfacción de las funciones de servicio planteadas al inicio del trabajo y que no se han contemplado a la hora de hacer la taxonomía, así como los parámetros relacionados con la viabilidad de cada solución.

En base a los vectores de evolución:

- Forma del material → libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Formato → espesor
- Encuentros → diseño de uniones inequívocas
- Materiales → coste económico y medioambiental

VECTORES DE EVOLUCIÓN → CONSECUENCIAS:		PARÁMETROS QUE REPERCUTEN EN EL DISEÑO DE LA FACHADA VENTILADA		
ÁMBITO SOCIOECONÓMICO	CRISIS DE RESPONSABILIDADES. GARANTÍA DE CALIDAD	prefabricación	componentes complejos multifuncionales	MULTIFUNCIONALIDAD
			componentes de gran formato (limitar número de juntas)	FORMATO
			mecanismos de unión inequívocos	ENCUENTROS
	CLIENTALIZACIÓN	personalización en masa	adecuación a cualquier propuesta	FORMA DEL MATERIAL
	OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS	minimizar coste económico (€)	técnicas y materiales económicos	MATERIAL
			minimizar mano de obra (componentes complejos)	MULTIFUNCIONALIDAD
			reducir la duración de la obra (componentes complejos)	MULTIFUNCIONALIDAD
			optimización de la superficie edificable	FORMATO
		minimizar coste medioambiental	limitar el consumo de materia y energía	MATERIAL
			limitar las emisiones de gases contaminantes	MATERIAL
limitar la generación de desperdicios			FORMA DEL MATERIAL / ENCUENTROS	

En base a las funciones de servicio:

- Posibilidad de alojar instalaciones
- Acabado interior

En base a la viabilidad de cada solución:

- Complejidad de fabricación
- Disponibilidad del material en el ámbito nacional

### 7.1.1.- FORMA DEL MATERIAL

La forma del material hace referencia a las posibilidades de adecuación dimensional del panel. Parte del los conceptos de “semiproducto y componente” ya conocidos y les añade dos caracterizadores:

- la posibilidad de modificación dimensional en una o las dos direcciones del plano;
- la “cientalización” del componente.

Para ello se contempla: cuál es la geometría del canto del panel y su estructura interna (morfología).

No permite adecuar las dimensiones			componente estándar
Permite adecuar las dimensiones	Por corte	Según el ancho y largo	semiproducto
		Únicamente según el ancho o el largo	semiproducto de ancho o largo fijo
	En el proceso de fabricación		componente a medida

### 7.1.2.- MULTIFUNCIONALIDAD

La mayor o menor multifuncionalidad del panel está implícita en la ordenación de las propuestas. Es precisamente la reagrupación funcional sobre este elemento de fachada el criterio que ha guiado la taxonomía del trabajo de investigación.

7.1.2.1.- Mínimas operaciones de montaje:

Posibilidades de montaje a partir de:

- Paneles homogéneos multifuncionales normalmente gruesos
- Paneles compuestos multifuncionales
- Asumir procesos de montaje en obra

7.1.2.2.- Mínima mano de obra y tiempo de ejecución

### 7.1.3.- FORMATO

7.1.3.1.- Peso: Todas las propuestas de fachada que surgen de la aplicación de los distintos paneles tienen pesos inferiores a los 200 kg/m<sup>2</sup>.

Tamaño (largo y ancho): Las dimensiones del panel en cuanto al largo y al ancho dependen de las posibilidades de transporte y fabricación. El transporte no permite establecer diferencias entra una propuesta de panel u otra. Es el proceso de fabricación lo que puede aportar datos relevantes. Para establecer la comparación se han buscado las dimensiones máximas de diversos productos de mercado asimilables a los propuestos.

7.1.3.2.- Espesor: El espesor de fachada que surge de la aplicación de cada solución de panel se determina a partir de propuestas que satisfacen las mismas prestaciones

### 7.1.4.- ENCUENTROS ENTRE ELEMENTOS Y SISTEMAS

7.1.4.1.- Encuentros duraderos

7.1.4.2.- Encuentros inequívocos

7.1.4.3.- Encuentros reversibles

	7.1.4.2.	7.1.4.1.	7.1.4.3					
	Diseño	Precisión	Garantía de calidad a largo plazo		Comportamiento mecánico	Forma del material de la junta	Reversibilidad	Ejemplos
	Canto recto	Poco precisa	Por profundidad del sellado		Transmite acción mecánica	amorfa	No	Mortero
			Por superficie del sellado			conformada	Si	Neopreno
	Geometría elaborada	Muy precisa	Por geometría		No transmite acción mecánica	amorfa	Si	Silicona de sellado
			Por la combinación de mecanismos de sellado			conformada	Si	Burlete polimérico

### 7.1.5.- MATERIALES

Tanto la valoración económica (7.1.5.1.-) como la medioambiental (7.1.5.2.-) se han hecho contemplando el conjunto de la fachada que resulta de la aplicación de cada una de las propuestas de panel. El nivel de prestaciones es equivalente para todas ellas.

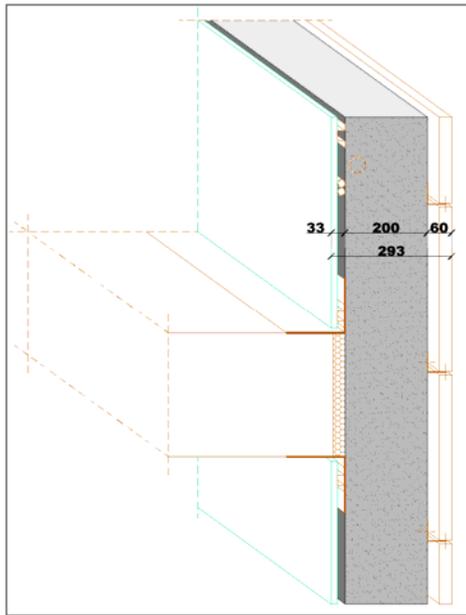
## 1 (5) PANEL DE HORMIGÓN AIREADO TRATADO EN AUTOCLAVE

- **Panel:** Semiproducto multifuncional de cantos rectos que permiten una resolución de encuentros no muy precisa pero duradera gracias a la profundidad del sellado. Las características del material lo hacen fácil de cortar.

Aprovechando las posibilidades de conformación por moldeo del hormigón, es posible diseñar paneles a medida (componentes) con cantos de geometría elaborada. Estos permiten una resolución de encuentros inequívoca y duradera al complementarse con un sellado en profundidad. El material es barato y tienen un impacto medioambiental medio.

- **Fachada:** Este panel de hoja interior no condiciona la formalización de la fachada en cuanto a la disposición de huecos. El excesivo grosor del cerramiento sólo se ve compensado si el panel forma parte de la estructura del conjunto del edificio.

La satisfacción de todos los requerimientos del cerramiento se consigue con un mínimo número de operaciones de montaje en obra al recurrir a un panel multifuncional homogéneo.



### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Multifuncional
- Grosor excesivo sólo justificado si forma parte del conjunto de la estructura del edificio.
- Posibilidad de diseñar uniones inequívocas en componentes a medida
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental medio
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas
- Acabado interior sin necesidad de trasdosado pero con tratamiento superficial
- Versatilidad del material gracias al proceso de conformación por moldeo. Permite trabajar tanto con componentes a medida como semiproductos. Gran facilidad de corte.

## 2(5) PANEL SÁNDWICH DE HORMIGÓN LIGERO ARMADO CON FIBRAS DE ACERO Y POLIESTIRENO EXTRUIDO EN EL NÚCLEO

- **Panel:** Componente a medida multifuncional de cantos rectos o diseñados con una geometría elaborada. El primer caso permite una resolución de encuentros no muy precisa pero duradera gracias a la superficie de sellado. El segundo facilita la colocación inequívoca de los paneles y la resolución de encuentros por geometría y varios planos de sellado.

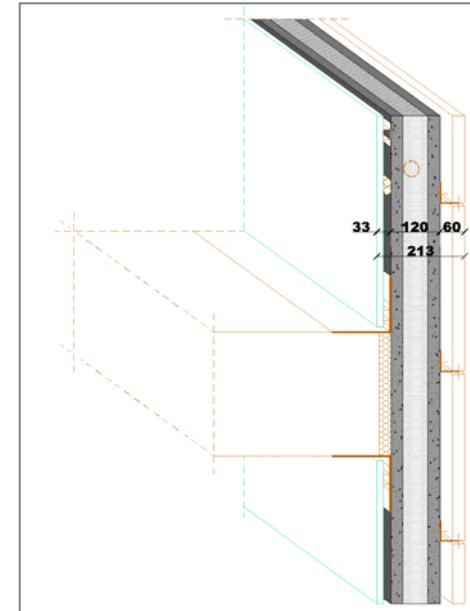
Las características del hormigón y las posibilidades que ofrecen las técnicas de moldeo actuales favorecen diseñar componentes a medida en lugar de semiproductos. Es una solución barata ya que, a pesar de que el armado con fibras de acero es caro, la sección de hormigón es pequeña. Tiene un impacto medioambiental medio.

El empleo de hormigón facilita la colocación de conectores insertos en el panel de forma previa al hormigonado asegurando el correcto empotramiento en las dos láminas perimetrales.

- **Fachada:** Permite realizar cerramientos de poco espesor y con absoluta libertad compositiva en cuanto a la localización de los huecos.

El proceso de conformación del panel permite prever pasos para instalaciones en su núcleo evitando las rozas o los tendidos vistos.

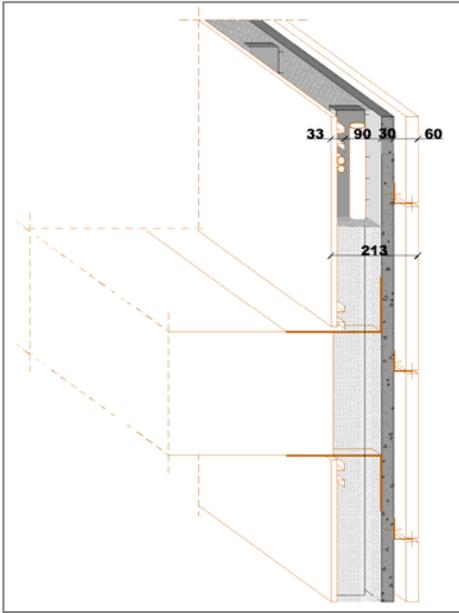
La satisfacción de todos los requerimientos del cerramiento se consigue con un mínimo número de operaciones de montaje en obra al recurrir a un panel multifuncional heterogéneo.



### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Espesor medio
- Posibilidad de diseñar uniones inequívocas
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental medio/alto
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas
- Precisa trasdosado interior (las fibras del armado impiden un acabado aceptable).
- Complejidad de fabricación media
- Materiales comunes

### 3 (5) PANEL NERVADO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ARMADO CON FIBRAS DE ACERO Y LANA DE ROCA ENTRE LOS NERVIOS



#### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Espesor medio
- Posibilidad de diseñar uniones inequívocas
- Coste económico bajo. (La complejidad de fabricación puede encarecer el panel. El precio bajo está sujeto al desarrollo de un sistema de producción industrializado).
- Coste medioambiental medio/alto
- Dentro del grueso del panel sólo permite pasos de instalaciones en sentido vertical.
- Precisa trasdosado interior.
- Complejidad de fabricación que no se ve compensada ya que no aporta ventajas sobre otras propuestas de panel para el mismo tipo funcional.
- Materiales comunes

- **Panel:** Componente a medida multifuncional. Los cantos pueden ser conformados o rectos. La primera opción permite una resolución de encuentros inequívoca por geometría y varios planos de sellado; mientras que la segunda confía la estanquidad al sellado en superficie por la cara exterior.

Es una solución barata ya que, a pesar de que el hormigón de alta resistencia armado con fibras de acero es caro, se emplea poco grueso de material. El impacto medioambiental es medio.

Presenta cierta complejidad de fabricación que no se ve compensada ya que no aporta ventajas sobre otras propuestas de panel para el mismo tipo funcional.

- **Fachada:** Al ser un componente a medida la libertad compositiva es prácticamente total. La fachada que resulta de su aplicación es de poco grueso.

A diferencia del resto de propuestas incluidas en este tipo funcional, precisa la colocación de un trasdosado interior para dar un correcto acabado al espacio habitable y poder disponer la barrera de vapor sobre un soporte continuo.

La satisfacción de todos los requerimientos del cerramiento se consigue con un mínimo número de operaciones de montaje en obra al recurrir a un panel multifuncional heterogéneo.

#### 4 (5) PANEL CONTRACHAPADO DE MADERA 200mm

- **Panel:** Componente a medida, multifuncional, de cantos rectos o conformados.

La geometría elaborada de las testas permite una resolución de encuentros inequívoca y duradera gracias a la combinación de varios mecanismos de sellado.

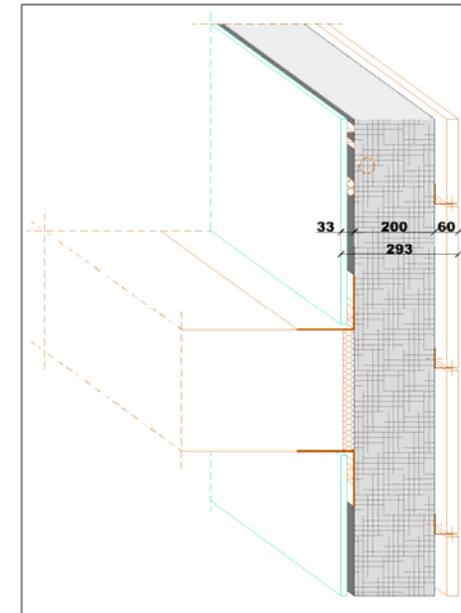
El material es caro pero tienen un impacto medioambiental bajo. No es de uso habitual en nuestro país (apenas se produce).

- **Fachada:** Este panel de hoja interior no condiciona la formalización de la fachada en cuanto a la disposición de huecos.

El excesivo grosor del cerramiento sólo se ve compensado si el panel forma parte de la estructura del conjunto del edificio.

De todas las propuestas para el tipo funcional "5", es la que mejor justifica no disponer una capa añadida de acabado interior. La calidez de la madera y la posibilidad de ejecutar rozas en el interior sin que se dibuje todo el trazado del tendido en la superficie del panel, lo convierten en un adecuado acabado.

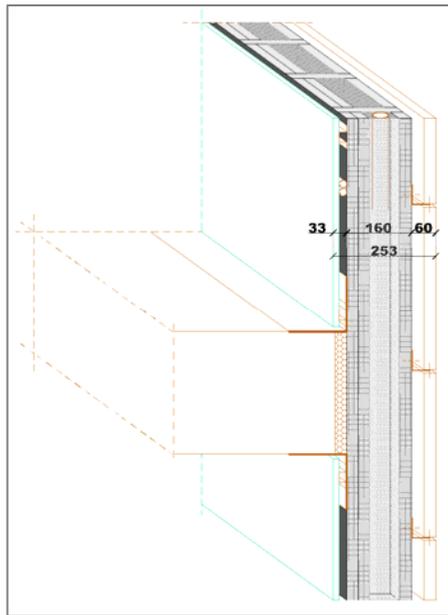
La satisfacción de todos los requerimientos del cerramiento se consigue con un mínimo número de operaciones de montaje en obra al recurrir a un panel multifuncional homogéneo.



#### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Grosor excesivo sólo justificado si forma parte del conjunto de la estructura del edificio.
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico elevado
- Coste medioambiental bajo
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas
- Calidad del acabado interior, no precisa trasdosado
- Poca complejidad de fabricación
- Material poco habitual a nivel nacional

## 5 (5) PANEL HUECO DE MADERA CON RELLENO DE LANA DE ROCA 160mm



### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Grosor excesivo sólo justificado si forma parte del conjunto de la estructura del edificio.
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico elevado
- Coste medioambiental bajo
- Dentro del grueso del panel sólo permite pasos de instalaciones en sentido vertical
- Calidad del acabado interior, no precisa trasdosado
- Poca complejidad de fabricación
- Material poco habitual a nivel nacional

- Panel: Componente multifuncional estándar o a medida. Los cantos conformados permiten una resolución de encuentros inequívoca y duradera gracias a la geometría y profundidad del sellado.

El material es caro pero tienen un impacto medioambiental bajo. No es de uso habitual en nuestro país (apenas se produce).

- **Fachada:** Este panel de hoja interior condiciona la formalización de la fachada en cuanto a la disposición de huecos en el caso de recurrir al componente estándar. El diseño del panel a medida es viable pero lógicamente encarece el sistema.

La fachada que resulta de su aplicación es gruesa. Este excesivo grosor sólo se justifica si el panel forma parte de la estructura del edificio.

Las cualidades de la madera permiten dejar el panel como acabado interior siempre que se prevea el tendido de instalaciones visto, o empotrado en recorridos verticales entre los nervios.

La satisfacción de todos los requerimientos del cerramiento se consigue con un mínimo número de operaciones de montaje en obra al recurrir a un panel multifuncional heterogéneo.

## 6 (5) PANEL SÁNDWICH DE ACERO Y LANA DE ROCA

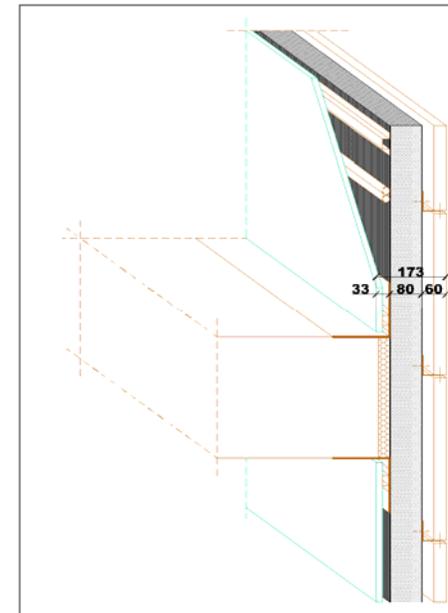
- **Panel:** Semiproducto multifuncional de ancho fijo con dos de sus cantos conformados permitiendo una resolución de encuentros inequívoca y duradera gracias a la geometría y varios planos de sellado. Los cantos no conformados pueden ser manipulados para garantizar la estanqueidad por solape y sellado, o simplemente sellarse en superficie manteniendo el corte recto propio del proceso de fabricación.

Material barato pero de impacto medioambiental alto. El acero es adecuado por la relación entre capacidad mecánica y espesor. Con poco grueso, y la posibilidad de mejorar la inercia recurriendo a geometrías plegadas, se consiguen chapas óptimas para satisfacer la función portante respecto acciones horizontales. Su combinación con otros materiales puede mejorar sus prestaciones.

- **Fachada:** El cerramiento que resulta de la colocación de este panel es de poco grueso pero presenta un gran inconveniente, la modularidad en una dirección. El proceso de fabricación de estos paneles fija los anchos a módulos estándar que obligan a considerar esta dimensión a la hora de diseñar la fachada.

El proceso industrial de fabricación de paneles ya consolidado no contempla la inclusión de pasatubos para instalaciones en el núcleo.

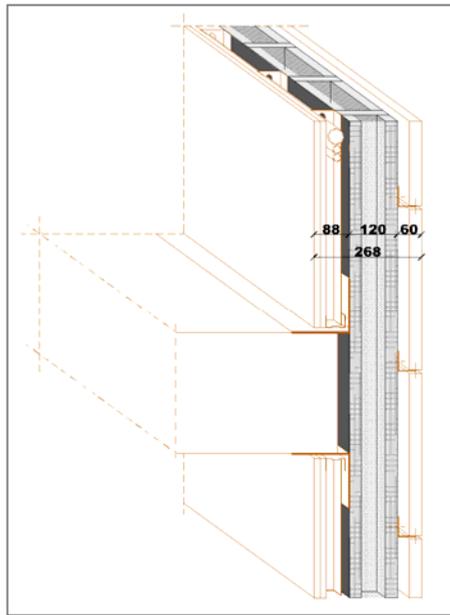
La satisfacción de todos los requerimientos del cerramiento se consigue con un mínimo número de operaciones de montaje en obra al recurrir a un panel multifuncional heterogéneo.



### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva limitada
- Multifuncionalidad
- Espesor muy reducido
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental alto
- Dificultad de alojar instalaciones insertas
- Acabado interior correcto pero socialmente poco aceptado
- Poca complejidad de fabricación
- Material muy habitual

#### 7 (4T) PANEL HUECO DE MADERA CON RELLENO DE LANA DE ROCA 120mm



##### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Grosor excesivo sólo justificado si forma parte del conjunto de la estructura del edificio.
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico elevado
- Coste medioambiental bajo
- Dentro del grueso del panel sólo permite pasos de instalaciones en sentido vertical
- Calidad del acabado interior aunque sólo aprovechable cuando no se precisa sectorización al paso del fuego.
- Poca complejidad de fabricación
- Material poco habitual a nivel nacional

- **Panel:** Componente estándar o a medida. Los cantos conformados permiten una resolución de encuentros inequívoca y duradera gracias a la geometría y profundidad de sellado.

El material es caro pero tienen un impacto medioambiental bajo. No es de uso habitual en nuestro país (apenas se produce).

- **Fachada:** Este panel de hoja interior condiciona la formalización de la fachada en cuanto a la disposición de huecos en el caso de recurrir al componente estándar. El diseño del panel a medida es viable pero lógicamente encarece el sistema.

La fachada que resulta de su aplicación es gruesa y no permite aprovechar las cualidades de la madera como acabado interior salvo en el caso de no precisar sectorización frente al paso del fuego.

Si se prescindiera de la capa de trasdosado se deberá prever un tendido de instalaciones visto, o empotrado en recorridos verticales entre los nervios.

El excesivo grosor sólo se justifica si el panel forma parte de la estructura del edificio.

La satisfacción de todos los requerimientos del cerramiento precisa añadir capas desde el interior además de la hoja exterior propia de la fachada ventilada.

## 8 (4F) PANEL DE HORMIGÓN LIGERO ARMADO CON REDONDOS DE ACERO

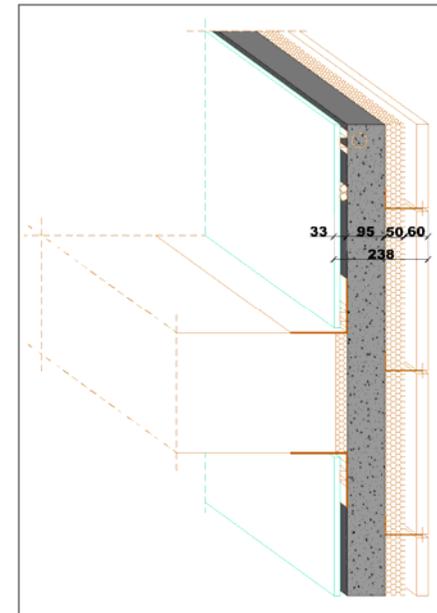
- **Panel:** Semiproducto de cantos rectos que permiten una resolución de encuentros no muy precisa pero duradera gracias a la profundidad del sellado.

Aprovechando las posibilidades de conformación por moldeo del hormigón es posible diseñar paneles a medida (componentes). Los cantos de geometría elaborada permiten una resolución de encuentros inequívoca y robusta al complementarse con un sellado en profundidad.

El material es barato y tienen un impacto medioambiental medio.

- **Fachada:** Este panel de hoja interior no condiciona la formalización de la fachada en cuanto a la disposición de huecos permitiendo realizar fachadas de espesor medio.

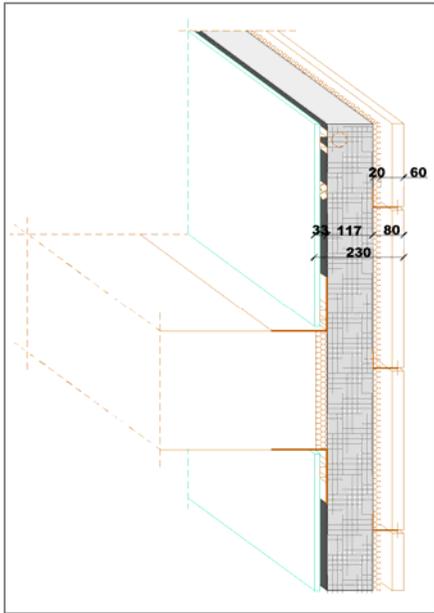
La satisfacción de todos los requerimientos del cerramiento precisa añadir una capa de aislamiento térmico ya sea por el interior con barrera de vapor o por el exterior además de la hoja exterior propia de la fachada ventilada.



### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Espesor medio
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental medio
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas
- Acabado interior correcto pero socialmente poco aceptado
- Poca complejidad de fabricación
- Materiales comunes

## 9 (4F) PANEL CONTRACHAPADO DE MADERA 117mm



### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Grosor medio
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico elevado
- Coste medioambiental bajo
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas
- Calidad del acabado interior
- Poca complejidad de fabricación
- Material poco habitual a nivel nacional

- **Panel:** Semiproducto de cantos rectos que permiten una resolución de encuentros no muy precisa pero duradera gracias a la profundidad del sellado. Trabajar los cantos por medio del tallado convierte este panel en un componente a medida. La geometría elaborada de las testas permite una resolución de encuentros inequívoca y duradera por la combinación de varios mecanismos de sellado.

El material es caro pero tienen un impacto medioambiental bajo. No es de uso habitual en nuestro país (apenas se produce).

- **Fachada:** Este panel de hoja interior no condiciona la formalización de la fachada en cuanto a la disposición de huecos. El grosor no es excesivo pero suficiente para permitir, en edificios de poca altura, que el panel forme parte de la estructura principal.

La calidez de la madera y la posibilidad de ejecutar rozas por el interior sin que se dibuje todo el trazado del tendido en la superficie del panel lo convierten en un adecuado acabado. De hecho, las características de este cerramiento son idénticas a las del formado por el panel contrachapado de madera de 200 mm salvo por que, para conseguir satisfacer la transmitancia planteada en la hipótesis inicial con 117 mm de madera se requiere añadir una capa específica de aislamiento térmico. En ubicaciones donde las condiciones térmicas no sean extremas (todas menos la E1) esta capa añadida no es precisa así que ambas soluciones son idénticas pero con distinto espesor.

## 10 (3) PANEL DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ARMADO CON FIBRAS DE ACERO

- **Panel:** Componente a medida de cantos rectos o diseñados con geometrías elaboradas. El primer caso permite una resolución de encuentros no muy precisa pero duradera gracias a la superficie de sellado. El segundo, facilita la colocación inequívoca de los paneles y la resolución de encuentros por geometría y sellado.

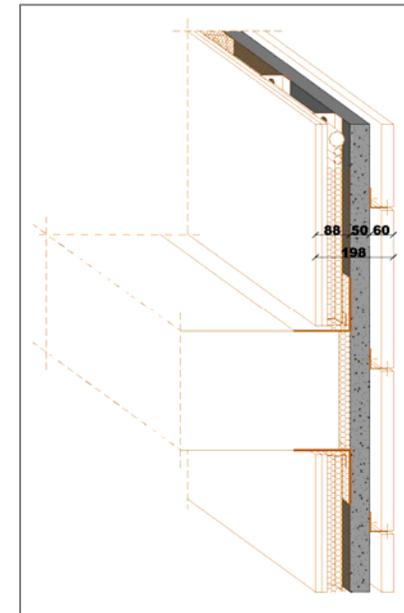
De nuevo las características del hormigón y las posibilidades que ofrecen las técnicas de moldeo actuales favorecen diseñar componentes a medida.

El material es ligeramente caro pero se emplea en secciones de poco espesor. Tiene un impacto medioambiental medio.

- **Fachada:** Este panel de hoja interior no condiciona la formalización de la fachada en cuanto a la disposición de los huecos, permitiendo realizar cerramientos de muy poco grueso.

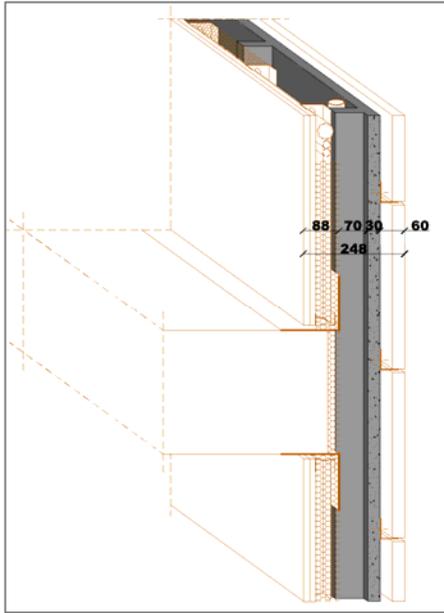
La satisfacción de todos los requerimientos del cerramiento precisa añadir capas para el aislamiento térmico, de protección al fuego, etc. Reagrupar estas dos funciones añadidas en un único material implica que deba disponerse por el interior. De no producirse esta reagrupación el cerramiento verá incrementada su sección de forma innecesaria.

Esta solución precisa diversas operaciones de montaje en obra.



### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Sucesivas operaciones de montaje en obra (capas añadidas)
- Poco espesor
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental medio
- No admite instalaciones insertas en el panel pero si en el grueso del trasdosado que completa la solución de fachada
- Trasdoso interior con funciones añadidas a la del simple acabado
- Poca complejidad de fabricación
- Material cada vez más habitual ya que permite optimizar mucho la sección del elemento constructivo. Evita el proceso de armado (armado en la propia masa amorfa del hormigón)



### 11 (3) PANEL NERVADO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ARMADO CON FIBRAS DE ACERO

- **Panel:** Componente a medida de cantos conformados que permiten una resolución de encuentros inequívoca y duradera gracias a la geometría y la superficie de sellado.

El material es ligeramente caro pero se emplea en secciones de poco espesor. Tiene un impacto medioambiental medio.

- **Fachada:** Al ser un componente a medida no condiciona el diseño de la fachada en cuanto a la disposición de huecos.

La geometría nervada dificulta la ejecución y no aporta ventajas respecto a la solución anterior sino todo lo contrario ya que incrementa el grueso de la sección.

Como en el caso anterior, la satisfacción de todos los requerimientos del cerramiento precisa añadir nuevas capas ya sea por la cara interior y la exterior o sólo por el interior además de la hoja exterior propia de la fachada ventilada.

Esta solución precisa diversas operaciones de montaje en obra.

#### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Sucesivas operaciones de montaje en obra (capas añadidas)
- La geometría nervada dificulta la ejecución y no aporta ventajas respecto a otras soluciones sino todo lo contrario ya que incrementa el grueso de la sección.
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico bajo. (La complejidad de fabricación puede encarecer el panel. El precio bajo está sujeto al desarrollo de un sistema de producción industrializado).
- Coste medioambiental medio
- Admite instalaciones alojadas en el ámbito del panel en recorridos verticales; y en el grueso del trasdosado que completa la solución de fachada en cualquier dirección
- Trasdosado interior con funciones añadidas a la del simple acabado
- Complejidad de fabricación que no se ve compensada ya que no aporta ventajas sobre otras propuestas de panel para el mismo tipo funcional.
- Material cada vez más habitual ya que permite optimizar mucho la sección del elemento constructivo. Evita el proceso de armado (armado en la propia masa amorfa del hormigón)

## 12 (3) PANEL CONTRACHAPADO DE MADERA 94mm

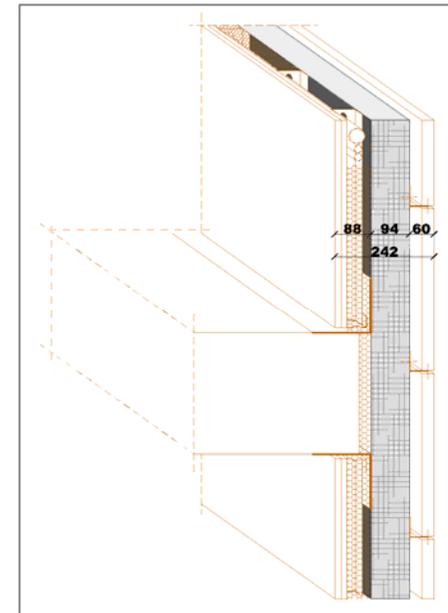
- **Panel:** Semiproducto de cantos rectos que permiten una resolución de encuentros no muy precisa pero duradera gracias a la profundidad del sellado. Trabajar los cantos por medio del tallado convierte este panel en un componente a medida. La geometría elaborada de las testas permite una resolución de encuentros inequívoca y robusta por la combinación de varios mecanismos de sellado.

El material es caro pero tienen un impacto medioambiental bajo. No es de uso habitual en nuestro país (apenas se produce).

- **Fachada:** No condiciona la formalización de la fachada en cuanto a la disposición de huecos. Esta solución no permite aprovechar la madera como material de acabado salvo en el caso de que no exista requerimiento de sectorización frente al fuego. En este caso, la manta térmica se dispondrá por el exterior. El tendido de instalaciones deberá ser visto para tubos de dimensión media. El grosor de 94 mm sólo permite alojar insertos pasatubos para cableado de pequeña sección.

En caso de ser precisa la sectorización en caso de incendio, el empleo de este panel sólo mejora la solución resuelta con placa plana de hormigón de alta resistencia desde el punto de vista medioambiental.

La satisfacción de todos los requerimientos del cerramiento precisa añadir nuevas capas ya sea por la cara interior y la exterior o sólo por el interior además de la hoja exterior propia de la fachada ventilada. Esta solución precisa diversas operaciones de montaje en obra.



### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Sucesivas operaciones de montaje en obra (capas añadidas)
- Grosor medio/alto
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico medio
- Coste medioambiental bajo
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas
- Trasdosado interior con funciones añadidas a la del simple acabado. En caso de no precisarse sectorización al paso del fuego, el aislamiento térmico se puede colocar en la cara exterior aprovechando la calidad de la madera como acabado interior
- Poca complejidad de fabricación
- Material poco habitual a nivel nacional

### 13 (2) PANEL CONTRACHAPADO DE MADERA 60mm

- **Panel:** Semiproducto de cantos rectos que permiten una resolución de encuentros no muy precisa pero duradera gracias a la superficie de sellado.

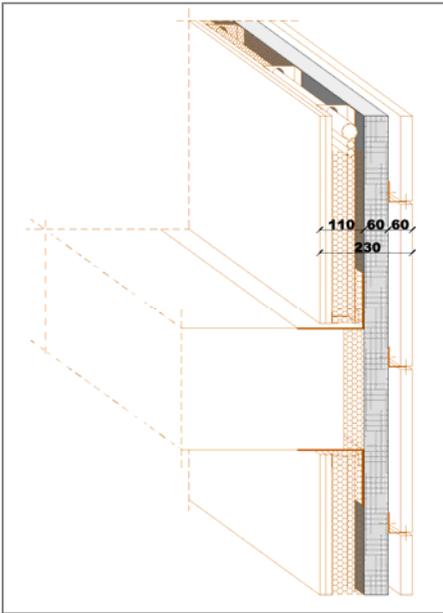
Trabajar los cantos por medio del tallado convierte este panel en un componente a medida. La geometría elaborada de las testas permite una resolución de encuentros inequívoca y robusta por la combinación de varios mecanismos de sellado.

El material es caro pero se emplea poco grueso. Tiene un impacto medioambiental bajo. No es de uso habitual en nuestro país (apenas se produce).

- **Fachada:** No condiciona la formalización de la fachada en cuanto a la disposición de huecos.

Esta solución no permite aprovechar la madera como material de acabado. Si la sectorización frente al fuego puede no ser un requerimiento, sí lo es la reducción acústica, por lo que no se puede prescindir del trasdosado interior.

Esta solución precisa diversas operaciones de montaje en obra.



#### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Sucesivas operaciones de montaje en obra (capas añadidas)
- Grosor medio
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico medio/bajo
- Coste medioambiental bajo
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas en el grueso del trasdosado que completa la solución de fachada
- Trasdoso interior con funciones añadidas a la del simple acabado.
- No se aprovecha la calidad de la madera como material de acabado.
- Poca complejidad de fabricación
- Material poco habitual a nivel nacional

## 14 (2) BANDEJA DE ACERO GALVANIZADO

- **Panel:** Semiproducto de ancho fijo con dos de sus cantos conformados permitiendo una resolución de encuentros inequívoca y duradera gracias a la geometría. Los cantos no conformados se resuelven por solape y sellado.

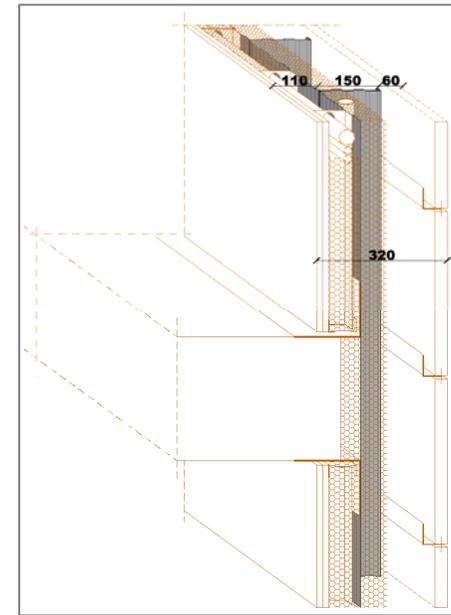
El material es barato pero tienen un impacto medioambiental alto.

- **Fachada:** El cerramiento que resulta de la colocación de este panel es grueso pero permite alojar instalaciones de carácter comunitario entre la hoja interior y la exterior sin interrumpir el drenaje de la cámara. El excesivo espesor causado por el nervio que rigidiza la placa se aprovecha para otra función a parte de la mecánica.

Esta placa es modular en una dirección. El proceso de fabricación de estos paneles fija los anchos a módulos estándar que obligan a considerar esta dimensión a la hora de diseñar la fachada.

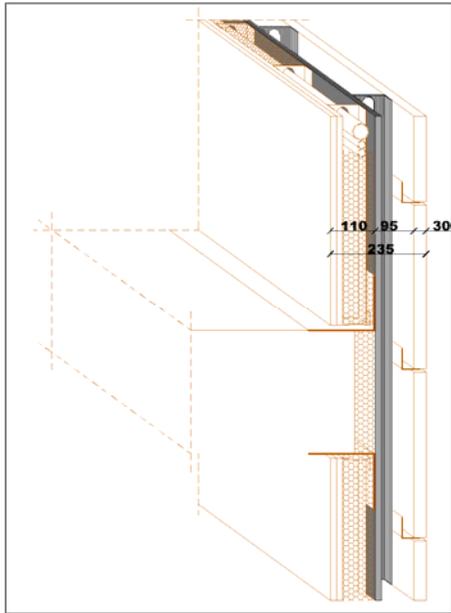
Cortar el panel por la parte central manteniendo la geometría de los bordes genera una nueva junta a medio tramo donde la estanquidad se debe resolver por sellado y solape igual que se hace con los encuentros transversales.

La geometría no plana de la cara exterior del panel obliga a disponer rastreles horizontales para desligar el despiece del aplacado de la hoja exterior del módulo de la interior. Es la solución que más operaciones de montaje precisa hacer en obra.



### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva limitada
- Necesidad de disponer rastreles horizontales para desligar el despiece del aplacado de la hoja exterior del módulo de la interior.
- Sucesivas operaciones de montaje en obra (capas añadidas)
- Grosor excesivo sólo justificado si se aprovecha la cámara para otros usos.
- Juntas longitudinales inequívocas (las juntas transversales son pocas y normalmente no precisan de una colocación inequívoca)
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental alto
- Posibilidad de alojar instalaciones en sentido vertical en el ámbito de la bandeja, e insertas en el grueso del trasdosado que completa la solución de fachada
- Trasdoso interior con funciones añadidas a la del simple acabado
- Poca complejidad de fabricación
- Material muy habitual



## 15 (2) TABLERO DE CEMENTO CON ENTAMADO DE ACERO GALVANIZADO

- **Panel:** Componente a medida realizado a partir de diversos semiproductos. El poco espesor del tablero no permite conformar los cantos pero, aún así, es posible diseñar encuentros inequívocos situando los perfiles del entramado en los extremos de la placa. De esta manera aumenta la sección del canto y con ello la superficie de contacto entre placas.

El panel es barato y, debido a la optimización de las secciones, tienen un impacto medioambiental bajo a pesar de que los materiales empleados (cemento y acero principalmente) van acompañados de un alto nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo energético en su procesado.

- **Fachada:** El cerramiento que resulta de la colocación de este panel no es excesivamente grueso.

El nervado tanto se puede situar en la cara exterior como en la interior.

En el primer caso, a los nervios se les suma la función de montantes de la hoja exterior, debiéndose disponer un rastrelado horizontal para desligar el ritmo de los primeros (establecido según criterios mecánicos) del despiece de la hoja exterior. En el segundo caso, la existencia del nervado no evita disponer un subentramado propio del trasdosado interior. La discontinuidad mecánica mejora el comportamiento acústico.

Esta solución precisa sucesivas operaciones de montaje en obra.

### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Necesidad de disponer rastreles horizontales para desligar el despiece del aplacado de la hoja exterior del módulo de la interior.
- Colocar el panel con el nervado hacia el interior aportaría un plano continuo donde fijar la hoja exterior pero entonces sería necesario el rastrelado vertical para evitar la proliferación de fijaciones puntuales
- Sucesivas operaciones de montaje en obra (capas añadidas)
- Grosor medio
- Posibilidad de diseñar juntas inequívocas colocando los perfiles en los extremos de la placa de cemento
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental bajo
- Posibilidad de alojar instalaciones en el ámbito del panel (entre nervios), e insertas en el grueso del trasdosado que completa la solución de fachada
- Trasdosado interior con funciones añadidas a la del simple acabado
- Poca complejidad de fabricación
- Materiales muy habituales

## CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA



INTRODUCCIÓN	FUNCIÓNES Y REQUERIMIENTOS. PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS	TAXONOMÍA Y PROPUESTAS	ANÁLISIS DE LAS FACHADAS VENTILADAS RESULTANTES	CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA
1 • ESTADO DEL ARTE Y PROPÓSITO DEL TRABAJO	2 • FUNCIONES Y REQUERIMIENTOS DE LA HOJA INTERIOR 3 • PROPIEDADES FÍSICAS RELACIONADAS	4 • TAXONOMÍA SEGÚN CRITERIOS FUNCIONALES 5 • DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y DEFINICIÓN DE PROPUESTAS	6 • VECTORES DE EVOLUCIÓN Y ESCENARIOS 7 • ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES DE FACHADA VENTILADA	8 • CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA

## Capítulo 8.- CONCLUSIONES Y PROSPECTIVA

### 8.1.- Conclusiones.

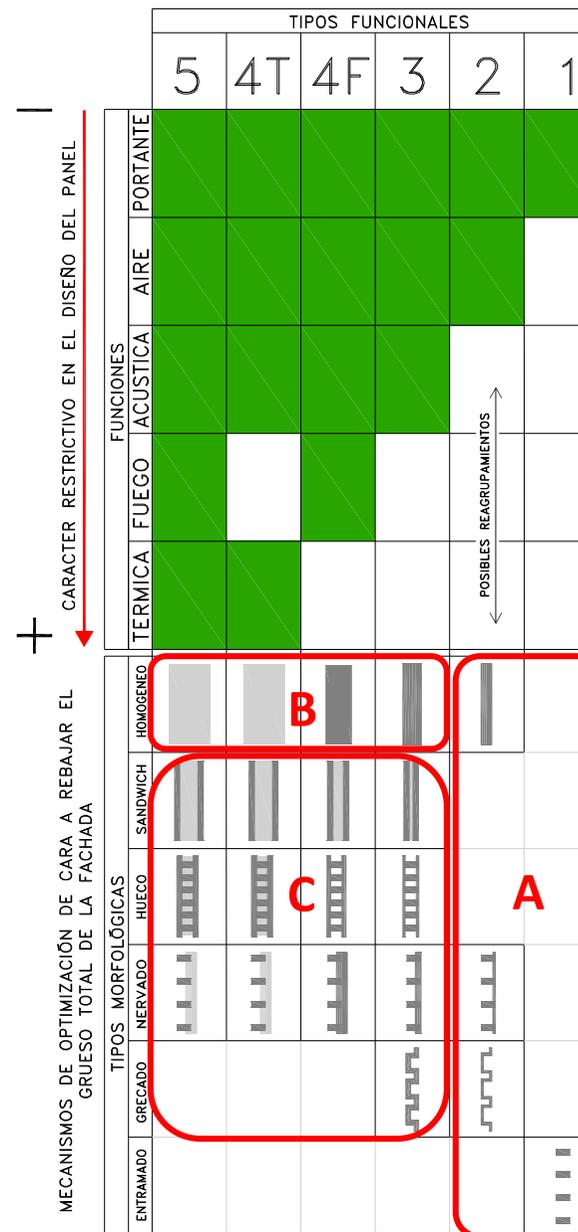
#### 8.1.1.- Soluciones de panel agrupadas según su aportación al conjunto de la fachada.

Las soluciones de panel planteadas se resumen en tres grupos dependiendo del grado de multifuncionalidad y la optimización en la satisfacción de estas funciones:

- A: Paneles soporte (monofuncionales y optimizados)
- B: Paneles homogéneos (multifuncionales y poco optimizados)
- C: Paneles heterogéneos (multifuncionales y optimizados)

**A:** Paneles de poco espesor formados normalmente por un único material especializado que satisface pocas funciones. Requieren la incorporación en obra de capas adosadas tanto en la cara exterior como en la interior para conseguir que el cerramiento satisfaga todos los requerimientos exigidos.

Por lo general permiten adecuar sus dimensiones a las establecidas por el proyecto ya sea por corte o por conformación a medida. Las juntas y encuentros con otros sistemas



precisan una ejecución cuidada a pesar de quedar protegidas por las capas añadidas. Se acostumbra a recurrir a sellados en superficie o a geometrías elaboradas.

Al ser un sistema que se realiza por adición de capas en obra permite flexibilidad en la combinatoria así como la sustitución de capas deterioradas.

Requieren trabajos de ejecución “in situ”.

**B:** Paneles gruesos, multifuncionales, formados por un único material de amplio espectro. Permiten la adecuación a las dimensiones del proyecto ya sea en el proceso de fabricación o mediante su posterior manipulación en obra o en taller. Son de fácil montaje y permiten el sellado de las juntas en profundidad garantizando la durabilidad de los encuentros tanto entre placas como con el resto de elementos.

Los materiales multifuncionales son capaces de dar respuesta a varios requerimientos de forma satisfactoria y dentro de un rango de valores para la acción bastante amplio. Esto es debido al dimensionado de la sección en base a la exigencia más restrictiva.

La multifuncionalidad y el diseño poco especializado las convierten en soluciones adecuadas para muchos tipos de obra y entornos.

Requieren pocos trabajos de ejecución “in situ”.

**C:** Paneles multifuncionales de relativamente poco grueso y estructura compleja formada por más de un material. Requieren pocas capas añadidas de manera que el panel queda muy expuesto. Tanto pueden ser componentes como semiproductos por lo que en

algunos casos la garantía de estanquidad depende de la profundidad o superficie del sellado mientras que en otros está encomendada al diseño de la junta.

Al ser paneles formados por varias láminas de materiales especializados son soluciones en principio poco robustas.

Por una parte, la especialización de las láminas no permite la respuesta a acciones variables no previstas. Cada material se optimiza al máximo. Por la otra, la estructura cerrada del panel dificulta la modificación de las láminas especializadas. Siempre se pueden añadir capas, pero difícilmente modificar las del panel compuesto. Es una solución poco flexible.

Su incorporación en un determinado proyecto requiere un conocimiento riguroso de las exigencias de la fachada, así como de las prestaciones del panel, para que la elección sea la adecuada.

La especialización de funciones precisa la cuantificación de la acción incidente y el conocimiento preciso de las posibilidades de respuesta del material o mecanismo sobre el que recae dicha acción. A mayor especialización menos margen de adaptación tanto si la especialización se produce en el propio panel o por medio de capas añadidas.

Las soluciones de panel especializadas en muchas funciones no se pueden considerar robustas aun siendo elementos constructivos multifuncionales. La especialización de la función acostumbra a acotar la respuesta dejando poco margen de adaptación.

		TIPOS FUNCIONALES						
		5	4T	4F	3	2	1	
+ MECANISMOS DE OPTIMIZACIÓN DE CARA A REBAJAR EL GRUESO TOTAL DE LA FACHADA	 CARACTER RESTRICTIVO EN EL DISEÑO DEL PANEL	PORTANTE	█	█	█	█	█	
		AIRE	█	█	█	█	█	
		ACUSTICA	█	█	█	█	█	
		FUEGO	█		█			
		TERMICA	█	█				
							↑ POSIBLES REAGRUPAMIENTOS ↓	
		HOMOGENEO	(1)	█	█	█		
		SANDWICH	█	█	█	█		
		HUECO	█	█	█	█		
		NERVADO	(3)	█	(2)	█		
		GRECADO			(4)	█		
		ENTRAMADO					(5)	

Existe la posibilidad de que esta combinación de láminas especializadas y de distintos materiales en un solo panel no se produzca por medio de la adhesión sino recurriendo a mecanismos de unión en seco. En este caso sí sería viable la sustitución de láminas recurriendo al desmontaje. Sería una solución multifuncional especializada y robusta. No es la habitual ni se da en ninguna de las propuestas de panel multifuncional heterogéneo planteadas.

### 8.1.2.- Idoneidad de las soluciones de panel.

La ordenación anterior define tres grupos de paneles dependiendo del número de funciones que resuelven y la mayor o menor optimización en su diseño. Dentro de cada grupo se destacan las propuestas morfológicas más adecuadas para la resolución del panel.

#### 8.1.2.1.- Morfologías poco adecuadas a determinados tipos funcionales.

##### ➤ A: Paneles soporte (monofuncionales y optimizados)

Las técnicas de conformación de paneles grecados sugieren trabajar con metales o polímeros, es decir materiales que satisfacen pocas funciones. Si se aumenta el espesor para aumentar las funciones satisfechas pierde sentido el grecado ya que los paneles planos ya dan una adecuada respuesta mecánica (4). El grecado es un mecanismo para aumentar la inercia de placas de poco espesor. No tiene sentido a partir de determinados groesos.

Para el entramado no se ha planteado ninguna propuesta de materialización. La facilidad con la que una lámina continua añadida en una de las caras lo convierte en un panel nervado capaz de resolver la estanqueidad al aire y dar soporte al resto de las capas añadidas hace que pierda todo sentido (5).

➤ **B:** Paneles homogéneos (multifuncionales y poco optimizados).

Los paneles homogéneos resultan adecuados cuando se segrega la función térmica. Esta función precisa para su satisfacción gruesos excesivos.

Una alternativa a la segregación es la inclusión en la solución de panel de una lámina específica. En este caso la solución de panel ya no será homogénea sino que corresponderá a alguna de las morfologías heterogéneas.

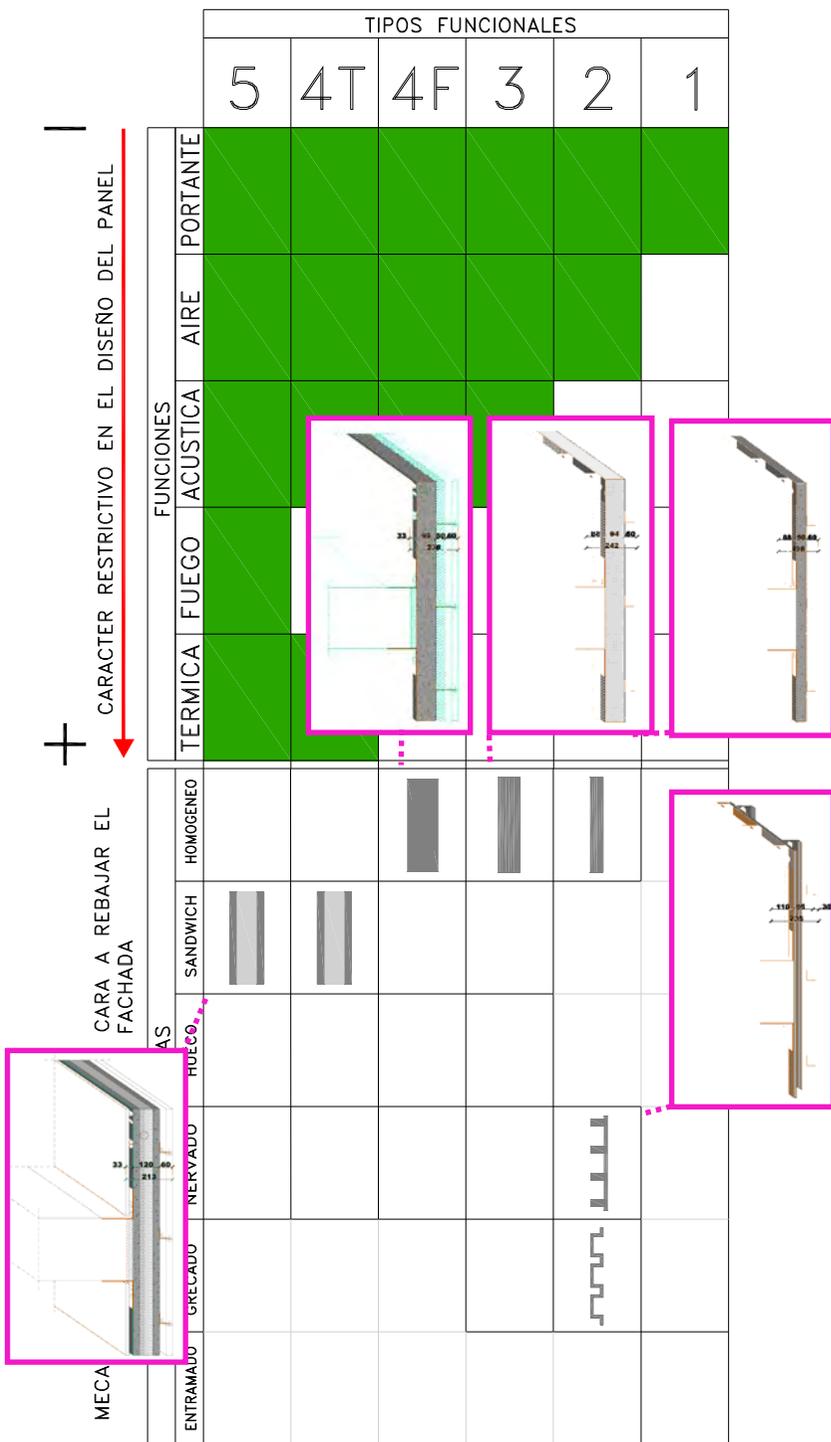
Cuando la función térmica se segrega, los paneles homogéneos dan una buena respuesta al resto de requerimientos (1).

➤ **C:** Paneles heterogéneos (multifuncionales y optimizados)

Los paneles de estructura compleja no tienen sentido cuando resuelven pocas funciones. La posible dificultad de fabricación no se ve compensada por las prestaciones que ofrece la placa (2).

Los paneles de estructura nervada o huecos requieren, en el primer caso de un diseño complejo, y en el segundo de un relleno de huecos, para poder satisfacer funciones que precisan un espesor continuo en todo el plano de fachada. El panel sándwich resulta más adecuado (3).

		TIPOS FUNCIONALES					
		5	4T	4F	3	2	1
+	CARACTER RESTRICTIVO EN EL DISEÑO DEL PANEL	FUNCIONES					
		PORTANTE	■	■	■	■	■
		AIRE	■	■	■	■	■
		ACUSTICA	■	■	■	■	■
		FUEGO	■	■	■	■	■
+	MECANISMOS DE OPTIMIZACIÓN DE CARA A REBAJAR EL GRUESO TOTAL DE LA FACHADA	TIPOS MORFOLÓGICAS					
		TERMICA	■	■	■	■	■
		HOMOGENEO			■	■	■
		SANDWICH	■	■			
		HUECO					
		POSIBLES REAGRUPAMIENTOS					
		ENTRAMADO					
		GRECADO					■
		NERVADO					■



Existe una relación entre las morfologías y las funciones agrupadas en el panel de manera que las estructuras sándwich son adecuadas para diseñar paneles multifuncionales y optimizados; las homogéneas se optimizan cuando se segrega la función térmica; y las grecadas o nervadas en los casos en que los únicos requerimientos son la estanquidad al aire y la estabilidad.

#### 8.1.2.2.- Soluciones de panel óptimas para los distintos tipos funcionales.

**Tipo funcional 5 y 4T** - El panel sándwich de hormigón ligero y núcleo de poliestireno extruido es muy adecuado como soporte que satisface las cinco funciones básicas en aquellos casos en que se requiera un montaje rápido y un grueso de fachada reducido.

**Tipo funcional 4F** - Si la función de retención del fuego es una de las exigencias de la fachada lo más adecuado es recurrir a soluciones que incorporen esta función entre las propias. El panel de hormigón ligero de 95 mm es la opción más adecuada para conseguir un montaje rápido, sencillo, no modular y que conlleve pocos trabajos en obra. Solamente precisa de la colocación de un material de aislamiento térmico sobre la cara exterior para satisfacer las cinco funciones básicas.

**Tipo funcional 3** - El panel contrachapado de madera de 94 mm es una solución muy válida para aquellos casos en que no se precise sectorización para evitar la propagación del fuego. La madera puede quedar vista en el interior al no precisarse ninguna capa añadida en esta cara. La función térmica requiere un doblado por la cara exterior.

En los casos en que el trasdosado de protección al fuego no permite aprovechar la calidez de la madera como acabado interior, el panel de 50 mm de hormigón de alta resistencia armado con fibras es la solución más adecuada.

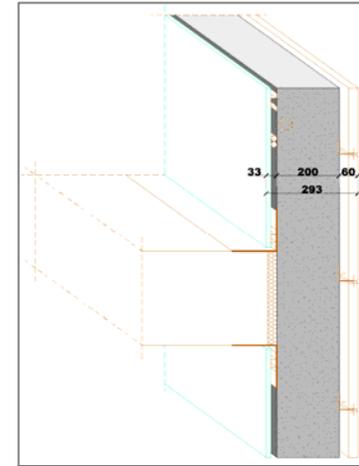
**Tipo funcional 2** – La propuesta perteneciente a este último tipo funcional y que mejor resuelve los requerimientos del cerramiento de fachada es la formada por un tablero de cemento sobre un entramado de perfiles de acero galvanizado. Es una solución sencilla, barata y adaptable a cualquier formalización de fachada.



## 1 (5) PANEL DE HORMIGÓN AIREADO TRATADO EN AUTOCLAVE

### Ventajas e inconvenientes destacables:

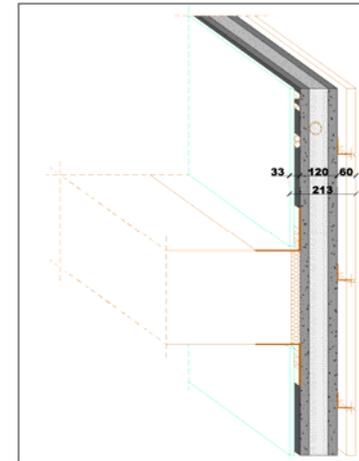
- Libertad compositiva
- Multifuncional
- Grosor excesivo sólo justificado si forma parte del conjunto de la estructura del edificio.
- Posibilidad de diseñar uniones inequívocas en componentes a medida
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental medio
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas
- Acabado interior sin necesidad de trasdosado pero con tratamiento superficial
- Versatilidad del material gracias al proceso de conformación por moldeo. Permite trabajar tanto con componentes a medida como semiproductos. Gran facilidad de corte.



## 2(5) PANEL SÁNDWICH DE HORMIGÓN LIGERO ARMADO CON FIBRAS DE ACERO Y POLIESTIRENO EXTRUIDO EN EL NÚCLEO

### Ventajas e inconvenientes destacables:

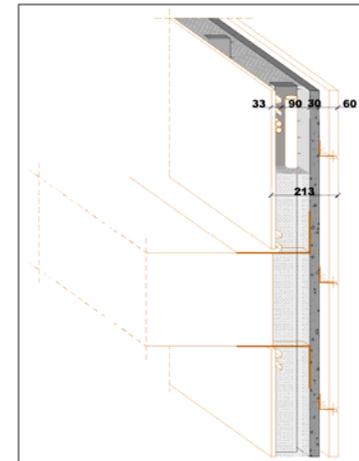
- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Espesor medio
- Posibilidad de diseñar uniones inequívocas
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental medio/alto
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas
- Precisa trasdosado interior (las fibras del armado impiden un acabado aceptable).
- Complejidad de fabricación media
- Materiales comunes

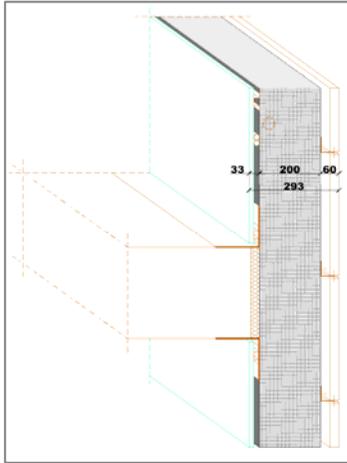


## 3 (5) PANEL NERVADO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ARMADO CON FIBRAS DE ACERO Y LANA DE ROCA ENTRE LOS NERVIOS

### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Espesor medio
- Posibilidad de diseñar uniones inequívocas
- Coste económico bajo. (La complejidad de fabricación puede encarecer el panel. El precio bajo está sujeto al desarrollo de un sistema de producción industrializado).
- Coste medioambiental medio/alto
- Dentro del grueso del panel sólo permite pasos de instalaciones en sentido vertical.
- Precisa trasdosado interior.
- Complejidad de fabricación que no se ve compensada ya que no aporta ventajas sobre otras propuestas de panel para el mismo tipo funcional.
- Materiales comunes

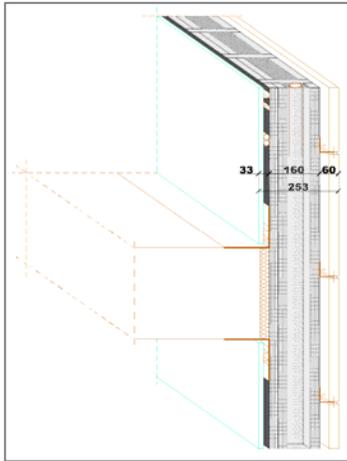




#### 4 (5) PANEL CONTRACHAPADO DE MADERA 200mm

Ventajas e inconvenientes destacables:

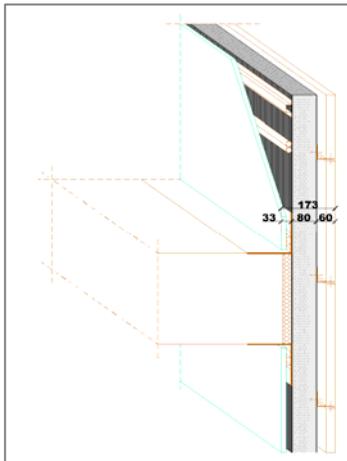
- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Grosor excesivo sólo justificado si forma parte del conjunto de la estructura del edificio.
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico elevado
- Coste medioambiental bajo
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas
- Calidad del acabado interior, no precisa trasdosado
- Poca complejidad de fabricación
- Material poco habitual a nivel nacional



#### 5 (5) PANEL HUECO DE MADERA CON RELLENO DE LANA DE ROCA 160mm

Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Grosor excesivo sólo justificado si forma parte del conjunto de la estructura del edificio.
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico elevado
- Coste medioambiental bajo
- Dentro del grueso del panel sólo permite pasos de instalaciones en sentido vertical
- Calidad del acabado interior, no precisa trasdosado
- Poca complejidad de fabricación
- Material poco habitual a nivel nacional



#### 6 (5) PANEL SÁNDWICH DE ACERO Y LANA DE ROCA

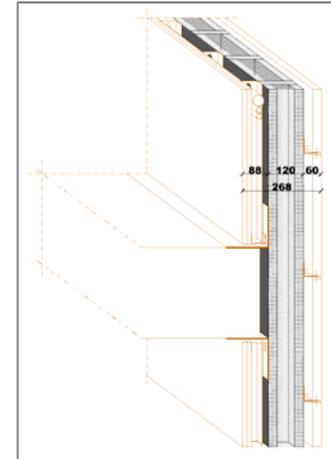
Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva limitada
- Multifuncionalidad
- Espesor muy reducido
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental alto
- Dificultad de alojar instalaciones insertas
- Acabado interior correcto pero socialmente poco aceptado
- Poca complejidad de fabricación
- Material muy habitual

### 7(4T) PANEL HUECO DE MADERA CON RELLENO DE LANA DE ROCA 120mm

#### Ventajas e inconvenientes destacables:

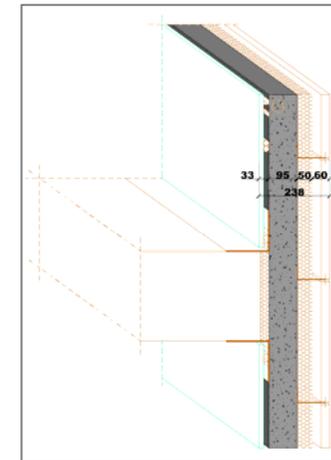
- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Grosor excesivo sólo justificado si forma parte del conjunto de la estructura del edificio.
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico elevado
- Coste medioambiental bajo
- Dentro del grueso del panel sólo permite pasos de instalaciones en sentido vertical
- Calidad del acabado interior aunque sólo aprovechable cuando no se precisa sectorización al paso del fuego.
- Poca complejidad de fabricación
- Material poco habitual a nivel nacional



### 8 (4F) PANEL DE HORMIGÓN LIGERO ARMADO CON REDONDOS DE ACERO

#### Ventajas e inconvenientes destacables:

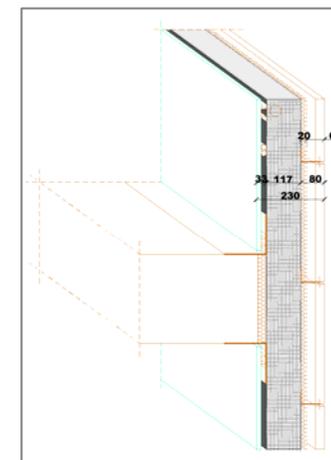
- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Espesor medio
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental medio
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas
- Acabado interior correcto pero socialmente poco aceptado
- Poca complejidad de fabricación
- Materiales comunes

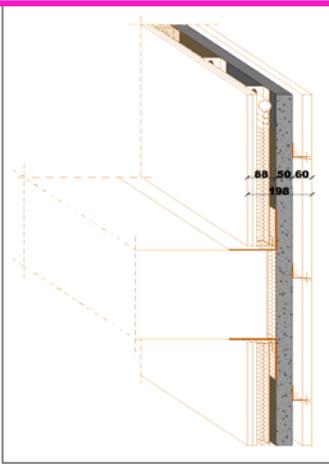


### 9 (4F) PANEL CONTRACHAPADO DE MADERA 117mm

#### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Multifuncionalidad
- Grosor medio
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico elevado
- Coste medioambiental bajo
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas
- Calidad del acabado interior
- Poca complejidad de fabricación
- Material poco habitual a nivel nacional

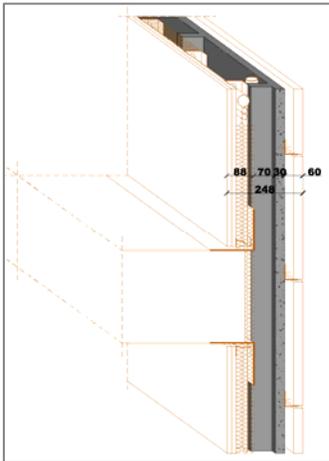




### 10 (3) PANEL DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ARMADO CON FIBRAS DE ACERO

#### Ventajas e inconvenientes destacables:

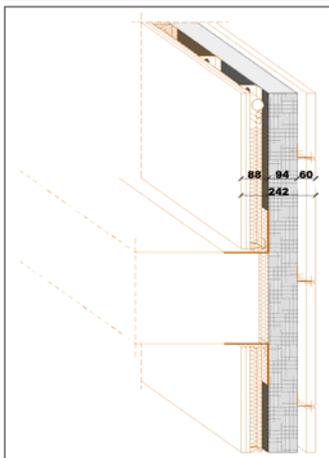
- Libertad compositiva
- Sucesivas operaciones de montaje en obra (capas añadidas)
- Poco espesor
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental medio
- No admite instalaciones insertas en el panel pero si en el grueso del trasdosado que completa la solución de fachada
- Trasdoso interior con funciones añadidas a la del simple acabado
- Poca complejidad de fabricación
- Material cada vez más habitual ya que permite optimizar mucho la sección del elemento constructivo. Evita el proceso de armado (armado en la propia masa amorfa del hormigón)



### 11 (3) PANEL NERVADO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ARMADO CON FIBRAS DE ACERO

#### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Sucesivas operaciones de montaje en obra (capas añadidas)
- La geometría nervada dificulta la ejecución y no aporta ventajas respecto a otras soluciones sino todo lo contrario ya que incrementa el grueso de la sección.
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico bajo. (La complejidad de fabricación puede encarecer el panel. El precio bajo está sujeto al desarrollo de un sistema de producción industrializado).
- Coste medioambiental medio
- Admite instalaciones alojadas en el ámbito del panel en recorridos verticales; y en el grueso del trasdosado que completa la solución de fachada en cualquier dirección
- Trasdoso interior con funciones añadidas a la del simple acabado
- Complejidad de fabricación que no se ve compensada ya que no aporta ventajas sobre otras propuestas de panel para el mismo tipo funcional.
- Material cada vez más habitual ya que permite optimizar mucho la sección del elemento constructivo. Evita el proceso de armado (armado en la propia masa amorfa del hormigón)



### 12 (3) PANEL CONTRACHAPADO DE MADERA 94mm

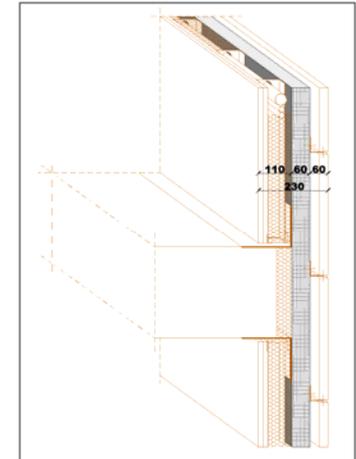
#### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Sucesivas operaciones de montaje en obra (capas añadidas)
- Grosor medio/alto
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico medio
- Coste medioambiental bajo
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas
- Trasdoso interior con funciones añadidas a la del simple acabado. En caso de no precisarse sectorización al paso del fuego, el aislamiento térmico se puede colocar en la cara exterior aprovechando la calidad de la madera como acabado interior
- Poca complejidad de fabricación
- Material poco habitual a nivel nacional

### 13 (2) PANEL CONTRACHAPADO DE MADERA 60mm

#### Ventajas e inconvenientes destacables:

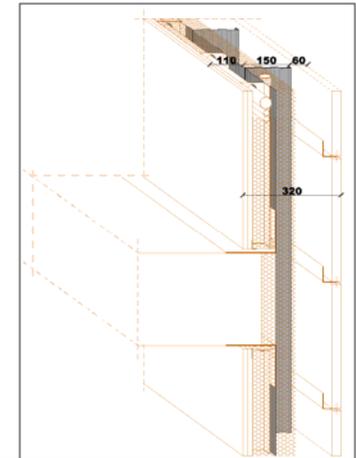
- Libertad compositiva
- Sucesivas operaciones de montaje en obra (capas añadidas)
- Grosor medio
- Posibilidad de diseño de uniones inequívocas
- Coste económico medio/bajo
- Coste medioambiental bajo
- Posibilidad de alojar instalaciones insertas en el grueso del trasdosado que completa la solución de fachada
- Trasdoso interior con funciones añadidas a la del simple acabado.
- No se aprovecha la calidad de la madera como material de acabado.
- Poca complejidad de fabricación
- Material poco habitual a nivel nacional



### 14 (2) BANDEJA DE ACERO GALVANIZADO

#### Ventajas e inconvenientes destacables:

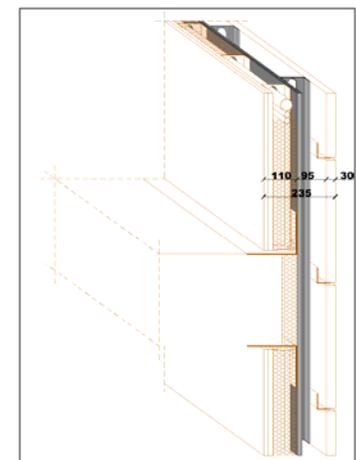
- Libertad compositiva limitada
- Necesidad de disponer rastreles horizontales para desligar el despiece del aplacado de la hoja exterior del módulo de la interior.
- Sucesivas operaciones de montaje en obra (capas añadidas)
- Grosor excesivo sólo justificado si se aprovecha la cámara para otros usos.
- Juntas longitudinales inequívocas (las juntas transversales son pocas y normalmente no precisan de una colocación inequívoca)
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental alto
- Posibilidad de alojar instalaciones en sentido vertical en el ámbito de la bandeja, e insertas en el grueso del trasdosado que completa la solución de fachada
- Trasdoso interior con funciones añadidas a la del simple acabado
- Poca complejidad de fabricación
- Material muy habitual



### 15 (2) TABLERO DE CEMENTO CON ENTAMADO DE ACERO GALVANIZADO

#### Ventajas e inconvenientes destacables:

- Libertad compositiva
- Necesidad de disponer rastreles horizontales para desligar el despiece del aplacado de la hoja exterior del módulo de la interior.
- Colocar el panel con el nervado hacia el interior aportaría un plano continuo donde fijar la hoja exterior pero entonces sería necesario el rastrelado vertical para evitar la proliferación de fijaciones puntuales
- Sucesivas operaciones de montaje en obra (capas añadidas)
- Grosor medio
- Posibilidad de diseñar juntas inequívocas colocando los perfiles en los extremos de la placa de cemento
- Coste económico bajo
- Coste medioambiental bajo
- Posibilidad de alojar instalaciones en el ámbito del panel (entre nervios), e insertas en el grueso del trasdosado que completa la solución de fachada
- Trasdoso interior con funciones añadidas a la del simple acabado
- Poca complejidad de fabricación
- Materiales muy habituales





## **8.2.- Prospectiva.**

---

Los materiales multifuncionales propios de la tradición, y aquellos caracterizados por una gran especialización desarrollados principalmente a lo largo del siglo XX, deben dejar paso a elementos capaces de dar respuesta a muchas funciones a partir de la adecuada combinación en un único componente complejo a medida de diversos materiales especializados.

Este diseño de elementos caracteriza el inicio del siglo XXI y posiblemente liderará la evolución de la construcción en lo que queda de él.

### 8.2.1.- De los semiproductos y componentes al componente a medida de diseño complejo.

La fabricación de **semiproductos** para ser introducidos en el mercado sin un usuario futuro conocido obligaba a cierta indefinición de cara a no limitar sus posibilidades de utilización. Cuanto más neutra la pieza mayor facilidad de adecuación a futuras exigencias.

Esta indefinición implica que, una vez el semiproducto es adquirido para un uso concreto, deba sufrir múltiples operaciones de adecuación ya sea en obra o en taller.

Los **componentes estándar** por su parte no precisan trabajos posteriores a su fabricación, pero comparten con los semiproductos la indefinición en cuanto al destino final. Su uso obliga a que sea el proyecto quien se adecue a ellos y no al revés.

Si el futuro de cada uno de los elementos que sale de la cadena de producción está establecido antes de empezar su fabricación, es posible adecuar los procesos industriales para evitar futuras manipulaciones diseñando **componentes a medida**.

No se produce un elemento estándar y luego se adecua a las necesidades del cliente sino que el cliente dicta como debe ser el producto que ha de salir de la cadena de producción.



“Cobert del Batre”. Una única pieza cerámica sirve para construir arcos, pilares, viguetas y cubierta. Rehabilitación Arq. Clotet y Paricio.

No permite adecuar las dimensiones			<b>componente estándar</b>
<b>Permite adecuar las dimensiones</b>	Por corte	Según el ancho y largo	<b>semiproducto</b>
		Únicamente según el ancho o el largo	<b>semiproducto de ancho o largo fijo</b>
	En el proceso de fabricación		<b>componente a medida</b>

**La técnica permite llegar a obra con productos totalmente terminados, adecuados a su localización y uso. Son componentes a medida de diseño complejo.**

8.2.2.- De los materiales multifuncionales a los especializados integrados en componentes a medida de diseño complejo.

Hasta el presente, la evolución nos ha llevado de una construcción basada en materiales de amplio espectro (multifuncionales), a la hegemonía de los especializados. Si los primeros acostumbran a ir relacionados con técnicas de puesta en obra artesanales, estos últimos constituyen sistemas por adición in situ de capas sucesivas.

Con la especialización las soluciones constructivas tienden a complejizarse en el diseño y también en la ejecución. La prefabricación en taller de los elementos constructivos formados por diversos materiales especializados facilita y garantiza su correcta ejecución.

**La especialización de los materiales de construcción conduce a la prefabricación para poder evitar las sucesivas operaciones de montaje “in situ”.**

El desarrollo de sistemas constructivos contempla que, ya en el proceso de fabricación, se puedan combinar elementos especializados muy optimizados para producir estos componentes complejos multifuncionales y a medida. Si los mecanismos de unión entre los elementos que forman el componente son reversibles, la sustitución de piezas permite su adecuación a cambios en las exigencias: flexibilidad y perfectibilidad.

Los semiproductos formados por un solo material de amplio espectro pierden sentido.

### 8.2.3.- Los consorcios de industriales y las garantías compartidas.

La prefabricación en taller y el conocimiento de cuál es el futuro del producto antes de que empiece su fabricación permite “clientalizarlo” hasta el punto de añadir elementos diversos propios de otros oficios, cosa poco viable sobre semiproductos estándar sin futuro definido.

**La construcción basada en componentes complejos que agrupan trabajos propios de distintos oficios comporta un cambio en la atribución de responsabilidades y la asunción de garantías.**



Trabajar con componentes complejos donde se integran oficios diversos conlleva que cada industrial se haga responsable del producto en su totalidad. Los consorcios de industriales aportan mayores garantías de calidad.

---

Esta visión de cuál ha de ser el futuro en cuanto al desarrollo de sistemas constructivos permite intuir que las soluciones de panel para la hoja interior de la fachada ventilada más adecuadas son aquellas especializadas para las funciones que desempeñan, formadas por componentes complejos diseñados de forma específica para cada proyecto y producidos de manera industrializada.

El número de funciones que integra el panel soporte de fachada al llegar a la obra deja de ser relevante cuando este panel forma parte de un componente complejo totalmente terminado. Pierden sentido los materiales multifuncionales frente a sistemas muy optimizados creados a partir de la integración de distintos elementos especializados.

# DOCUMENTOS DE DESARROLLO.

## Índice

### **Desarrollo 1: Proceso de cambio en la fachada ventilada. Estudio de casos.**

- i - El tabique interior de obra de fábrica es sustituido por uno de construcción seca.  
*Entramados no portantes plementados.*
- ii - En búsqueda de la máxima optimización del entramado.  
*Entramados portantes plementados.*
- iii - El montaje se traslada al taller.  
*Paneles con estructura de entramado.*
- iv - Otras formas de panel ya conocidas encuentran una nueva aplicación.  
*Paneles monolíticos macizos o aligerados. Bandejas.*

### **Desarrollo 2: Funciones propias de la hoja interior y requerimientos exigibles.**

- i - Funciones de acondicionamiento que pueden o deben resolverse en la hoja interior de la fachada.
  - *Estabilidad de la propia hoja o del conjunto de la fachada.*
  - *Resistencia al fuego.*
  - *Atenuación acústica.*
  - *Estanqueidad al aire.*
  - *Confort térmico. Aislamiento térmico e inercia térmica.*
- ii - Funciones de servicio que pueden o deben resolverse en la hoja interior de la fachada.
  - *Dar el acabado interior.*
  - *Albergar instalaciones.*
- iii - Requerimientos no funcionales exigibles a la hoja interior de la fachada.
  - *Espesor y ligereza.*

### **Desarrollo 3: Análisis general de las posibles morfologías del panel.**

- i - Pérdida de homogeneidad morfológica según las tres direcciones del espacio.
- ii - Inercia mecánica. Geometría y capacidad mecánica.
- iii - Funciones simétricas y asimétricas
- iv - Comportamiento solidario de elementos compuestos.
  - *Conexiones selectivas.*
  - *Incidencia del material de relleno.*

- v - Funciones continuas y discontinuas.
- vi - Forma y fuego.

**Development 4: Concrete sandwich panel tests.**

- i - Objective of the test
- ii - Method
- iii - Description of the test samples
- iv - Technical data of materials
- v - Fabrication of samples
- vi - Summary of test results
- vii Visual analysis of panel breakage
- viii- Conclusions
- ix- Photographic report

**Desarrollo 5: Justificación de los valores contemplados en el análisis.**

- i - Espesor.
- ii- Peso.
- iii- Valoración económica.
- iv- Valoración medioambiental.

**Desarrollo 6: Consideraciones constructivas a tener en cuenta en el futuro desarrollo de soluciones de fachada ventilada con paneles de hoja interior como soporte del conjunto.**

- i - Posición de las distintas envolventes respecto al canto del forjado.
- ii - Criterios de anclaje.
- iii - El hueco.
- iv - Tendido de instalaciones.

# **Desarrollo 1.- PROCESO DE CAMBIO EN LA FACHADA VENTILADA. ESTUDIO DE CASOS.**

## **Índice**

- i - El tabique interior de obra de fábrica es sustituido por uno de construcción seca.  
*Entramados no portantes plementados.*
- ii - En búsqueda de la máxima optimización del entramado.  
*Entramados portantes plementados.*
- iii - El montaje se traslada al taller.  
*Paneles con estructura de entramado.*
- iv - Otras formas de panel ya conocidas encuentran una nueva aplicación.  
*Paneles monolíticos macizos o aligerados. Bandejas.*



## Desarrollo 1.- PROCESO DE CAMBIO EN LA FACHADA VENTILADA. ESTUDIO DE CASOS.

### i - El tabique interior de obra de fábrica es sustituido por uno de construcción seca.

#### ***Entramados no portantes plementados.***

La propuesta más inmediata de cara a sustituir la hoja interior de fábrica de ladrillo o bloque de hormigón plantea emplear el mismo sistema que se utiliza en la tabiquería que distribuye el espacio interior.

#### Hotel AC - Diagonal Mar

*Hoja interior de tabiquería seca situada entre forjados. La continuidad del aislamiento térmico se da por medio de una manta añadida en los frentes de los forjados bajo el babero que garantiza la estanqueidad.*

Tanto el Hotel AC como las Oficinas para el Consorcio de la Zona Franca forman parte del conjunto del Centro Internacional de Convenciones que se construyó con motivo del Fórum de las Culturas celebrado en Barcelona el año 2004.

El conjunto se plantea atendiendo a la especificidad del uso de cada volumen y a su relación con el entorno; de esta manera, tanto el hotel como las oficinas se conforman a partir de cuerpos de geometría muy limpia y bien definida que se organizan dibujando el frente de la calle Taulat a la vez que se superponen en altura.

Desarrollo 1: Proceso de cambio en la fachada ventilada. Estudio de casos – pg. 3

Arquitectos: Josep Juanpere i Miret – G.C.A S.L.  
José Luis Mateo – MAP arquitectos  
Consultores de fachada: Biosca & Botey  
Emplazamiento: c/ Finca 82. Paseo Taulat. Barcelona  
Inicio: 2002  
Final: 2004



ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

Este conjunto de edificios establece una barrera urbana muy dura que delimita parcialmente el recinto del Fórum.

Los volúmenes del hotel se resuelven con un revestimiento de piedra que le da un carácter tectónico. Los huecos se dibujan en el plano de fachada, rehundidos en la piedra, en el mismo plano que ésta, o bien proyectados hacia el exterior.



### Descripción de la fachada

La descripción de la fachada se basa en documentación aportada por la empresa Biosca & Botey. La información gráfica correspondiente al proyecto ejecutivo de fecha julio 2002, no se corresponden con el cerramiento finalmente ejecutado. La descripción de la fachada atiende tanto a la documentación gráfica y escrita como a fotos de la obra.

Se trata de una fachada ventilada formada por dos hojas ligeras ancladas a estructuras independientes.

La hoja exterior es de placas de 3 cm de espesor, de granito o mármol según requiera el diseño de la fachada. En el caso del granito, los acabados aplicados son tres: flameado, apomazado y pulido.

Para la sujeción de la piedra se han empleado distintos sistemas de anclaje. El utilizado de forma general son grapas de acero inoxidable que agarran la piedra por ranuras ejecutadas en sus cantos superior e inferior.

ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

La grapa lleva un casquillo de recubrimiento para evitar el contacto directo con la piedra y prevenir su rotura.

El rastrel vertical que recibe todas estas grapas es de aluminio extruido. Su sección le permite cubrir la luz libre entre forjados sin precisar de ningún apoyo intermedio. Se trata del perfil autoportante PF-AL-U 7500/80 de Sistema Masa.

El anclaje de los rastreles verticales a los cantos de forjado se realiza por medio de perfiles en “L”.

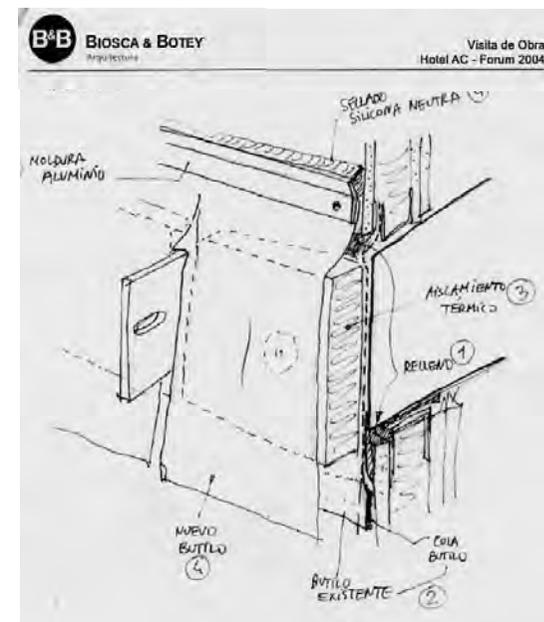
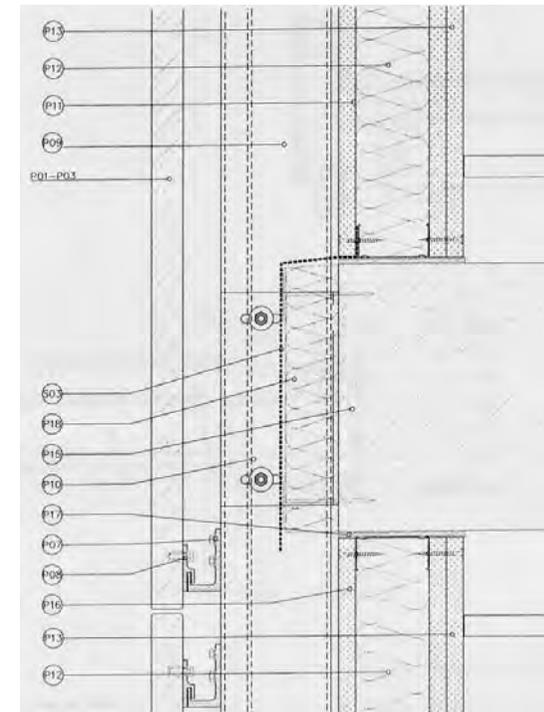
La hoja interior la soporta una estructura formada por perfiles de acero galvanizado. Consta de canales en “U” ancladas en todo el perímetro de los forjados, tanto en la cara superior como en la inferior, y montantes de sección “C” encajados en las canales cada 40 cm.

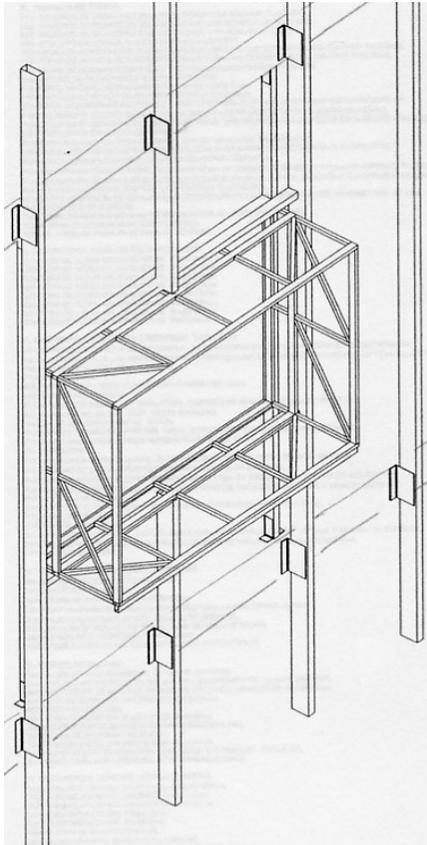
La cámara de 70 mm de espesor que genera esta estructura está rellena con lana de roca de densidad 110 kg/m<sup>3</sup>.

Un panel hidrofugado de fibra de vidrio tipo “Dens-Glass Gold” de la casa GP-Gypsum de ¾” se ancla por la parte exterior de esta estructura. Por la parte interior se coloca una doble capa del mismo tipo de panel pero de menor espesor.

La estanqueidad de la hoja interior la garantiza el correcto sellado de las juntas entre placas y la ejecución de baberos a base de láminas de butilo de 1 mm de espesor en los encuentros entre distintos materiales o sistemas.

Desarrollo 1: Proceso de cambio en la fachada ventilada. Estudio de casos – pg. 5





Para fijar las carpinterías se dispone de una estructura independiente formada por perfiles tubulares huecos de acero galvanizado. Se trata de un bastidor anclado directamente a los forjados.

No todas las ventanas se sitúan en el mismo plano de fachada. Esto se resuelve modificando la geometría del bastidor para cada caso.



ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

Tres bloques de viviendas V.P.O. en Terrassa

*Hoja interior de tabiquería seca situada entre forjados. La continuidad del aislamiento térmico se da por medio de un proyectado de mortero con lana de roca sobre la cara exterior del tabique.*

El edificio es el resultado de un concurso convocado en noviembre del 2002 por el Ajuntament de Terrassa.

Se trata de tres bloques aislados, destinados a vivienda de protección oficial, unidos por un zócalo de uso comercial. El conjunto dispone de plantas sótano destinadas a aparcamiento.

Cada torre la forman diez plantas. La altura del zócalo es variable ya que se ajusta al desnivel de la calle.

Desde el principio se planteó la incorporación de nuevas técnicas constructivas al proyecto, favoreciendo el montaje en seco frente a la albañilería.

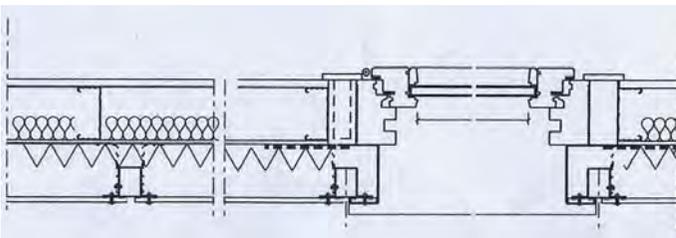
#### Descripción de la fachada

La descripción de la fachada se ha basado en la documentación facilitada por el estudio RGA Arquitectos y observaciones hechas “in situ”.

La fachada ventilada la forman dos hojas ligeras ancladas a estructuras independientes.

Arquitectos: RGA Arquitectos  
 Emplazamiento: Can Roca II, Terrassa. Vallès Occidental  
 Inicio: 2003  
 Final: 2005





La hoja exterior es de placas Naturonda de 8mm de espesor (fibras minerales, cemento Portland, fibras de refuerzo y aditivos). Su acabado es pintado en dispersión acrílica a base de agua en tres tonos de gris distinto según diseño de fachada.

Las placas van ancladas de forma mecánica con fijaciones vistas sobre perfiles “Ω” de acero galvanizado.

Dichos perfiles verticales son de 5,90 m de largo ya que abarcan la altura de dos plantas. Su sección les permite cubrir la luz entre forjados sin elementos de apoyo intermedios.

La unión con los cantos de los forjados se realiza por medio de perfiles en “L” también de acero galvanizado.

La hoja interior la soporta una estructura formada por perfiles de acero galvanizado. Consta de canales en “U” ancladas en todo el perímetro de los forjados, tanto en la cara superior como en la inferior, y montantes de sección “C” encajados en las canales cada 40 cm. La cámara de 90 mm de espesor que genera esta estructura está rellena con lana de roca.

Un panel de la misma composición que el anterior pero de 6mm de espesor y sin acabado añadido se coloca por la cara exterior aplomado con los cantos de los forjados.

Por la parte interior se coloca una placa de yeso laminado de 15 mm de grueso.

La estanqueidad de la hoja interior la garantiza el correcto sellado de las juntas entre placas y el de las que se generan en el encuentro entre distintos materiales o sistemas.

ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

Para ello se ha empleado una banda impermeable autoadhesiva de tipo bituminoso protegida frente a la intemperie. Previa a su colocación es necesario limpiar e imprimir la zona a sellar.

Sobre la cara exterior de la hoja interior se ha procedido a proyectar un grueso de 4 cm de mortero de baja densidad (160 kg/m<sup>3</sup>) de lana de roca y cemento blanco (Tecwool Térmico).

Para la fijación de las carpinterías y la correcta resolución del cerramiento de jambas, dintel y alfeizar, se ha dispuesto un premarco telar de chapa plegada de acero galvanizado de 1mm de espesor. El premarco va anclado a la estructura de la hoja interior. A este premarco no se le ha dado ningún tipo de acabado.

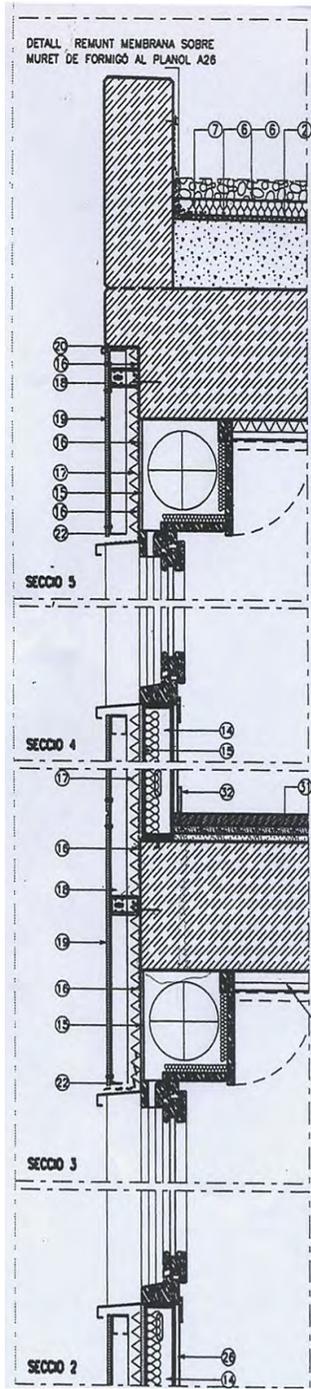
Las carpinterías son de madera de pino barnizado y con tratamiento preventivo frente al ataque de hongos.

Esta solución de fachada de dos hojas independientes entre sí, y donde la garantía de la estanqueidad de la cámara la aseguran placas de cemento con juntas selladas, es similar a la adoptada en el Hotel AC salvo por dos diferencias básicas: la resolución del puente térmico en el canto del forjado y la fijación de las carpinterías.

Colocar la hoja interior, que incorpora el aislamiento térmico, anclada a las caras de los forjados y no a sus testas crea una zona de puente térmico.



ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------



En la fachada de los bloques de viviendas se procede a proyectar un segundo aislamiento térmico continuo sobre la placa que conforma la cara exterior del tabique interior. En el Hotel AC se actuó de forma específica sobre los cantos de los forjados confiando el aislamiento térmico del resto del tramo ciego al grueso de lana de roca que se sitúa entre las dos placas que conforman el tabique interior.

En cuanto a la fijación de las carpinterías, en el Hotel AC se dispone de una estructura independiente a modo de bastidor anclada directamente a los forjados, mientras que en las viviendas de Terrassa, se anclan las ventanas sobre unos premarcos telar fijados a la estructura de la hoja interior.

La solución de fachada ventilada de dos hojas independientes entre sí y con cámara no equipresurizada tiene la ventaja de que la hoja interior apenas recibe carga de viento. Al fijar la ventana a esta hoja sí recibe acciones horizontales. Toda la carga de viento que actúa sobre el tramo acristalado se transmite directamente a esta hoja que en un principio debiera estar en reposo.

En ambos casos, el empleo de tabiquería seca como hoja interior reduce el grueso de la fachada. Dependiendo del número de plantas y de la tipología edificatoria esta reducción puede suponer un aumento de la superficie útil considerable.

Extracto del dossier de obra:

2002-29\_71

**Economia**

És evident que la solució de façana ventilada aporta un plus de racionalitat, ús de materials, termini d'execució, etc, encara que econòmicament no pot competir amb una solució tradicional per exemple d'obra vista i càmera. No obstant això, creiem que en aquest cas per fer una valoració correcta cal tenir en compte el bon percentatge que s'aconsegueix en la relació superfície construïda/superfície útil, ja que aquesta façana, amb un gruix de 21 cm, en comptes dels 30 cm tradicionals, aporta una economia d'espai notable:

Perímetre d'un bloc: 100,26m  
Diferència de gruix: 9cm = 0,09m  
m<sup>2</sup> de guany sup. útil/planta = 100,26 x 0,09 = 9,02m<sup>2</sup>/planta  
Núm. plantes de l'edifici = 10 ut → 9,02 x 10 = 90,20 m<sup>2</sup>  
Núm. de blocs = 3 uts → 90,20 x 3 = **270,60 m<sup>2</sup>** de superfície útil guanyada en total

La superfície útil guanyada, en aquest cas, representa a la pràctica un habitatge de 4 dormitoris de més per a cada bloc i, per tant, la repercussió econòmica és favorable.

Les altres xifres són:

m <sup>2</sup> de façana: 6.429,66 m <sup>2</sup>	
Repercussió de façana/m <sup>2</sup> :	
Plafonats de façana, remats, aïllament projectat i segellats (614.878,02 €)	95,63 €/m <sup>2</sup>
Bastiments de base (75.528,84 €)	11,75 €/m <sup>2</sup>
Fusteria exterior de fusta (311.124 €)	48,39 €/m <sup>2</sup>
<b>TOTAL:</b>	<b>155,77 €/m<sup>2</sup></b>

ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

Sistema Aquapanel Outdoor W384 de Knauf GmbH .

Hoja interior de tabiquería seca situada entre forjados. Un pequeño vuelo del entramado de soporte permite resolver la continuidad del aislamiento térmico en los cantos de los forjados por medio de material aislante añadido hasta enrasar con las canales.

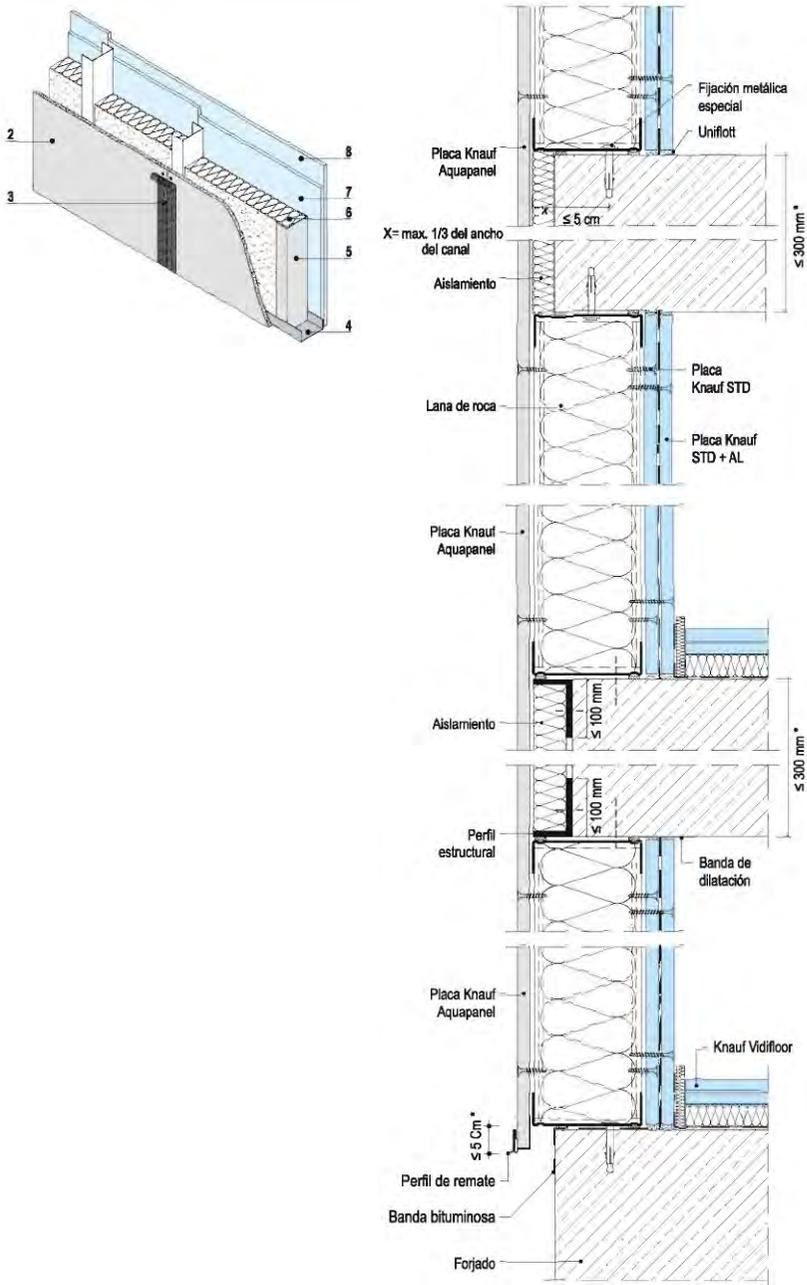
Descripción del sistema

La empresa Knauf GmbH incluye dentro de su catálogo de soluciones constructivas esta posible aplicación de la tabiquería seca. El tabique seco como hoja interior de fachada ventilada ha pasado de ser una propuesta experimental a una alternativa al cerramiento convencional de fábrica de ladrillo al disponer, desde enero del 2009, del correspondiente “Documento de adecuación al uso” DAU 09/051A que otorga el “Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya” ITEC.

De momento no contempla la posibilidad de que soporte la acción del viento o el peso de la hoja exterior colgada. De las consultas realizadas al Departamento Técnico de Knauf se desprende que: para cargas de viento de 200 kg/m<sup>2</sup> y luces de tres metros, una posible solución de bastidor plementado sería:

- Placa exterior Aquapanel 12,5 mm
- Estructura de 100x50x2 mm cada 300 mm
- Doble placa interior de 15 mm.

Este predimensionado no considera el peso de la hoja exterior ya que depende del material de acabado y de la excentricidad que genere el ancho de la cámara.



ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

La solución que propone Knauf presenta un inconveniente respecto a las planteadas en los dos casos anteriores. Tanto en el Hotel AC como en los bloques de viviendas de Terrassa cada planta se cierra con un tramo de hoja interior independiente al de las plantas superior e inferior permitiendo el libre movimiento por flecha de cada forjado sin que el cerramiento entre en carga. Knauf pasa la placa de cemento de forma continua por delante de los cantos de los forjados anclándola a subestructuras correspondientes a plantas diferentes. En el caso de deformaciones diferenciales entre los sucesivos forjados cada estructura se desplazará con el forjado que la soporta generando tensiones en las placas ancladas a ellas.

Viviendas en Ronda Guinardó 178-180.

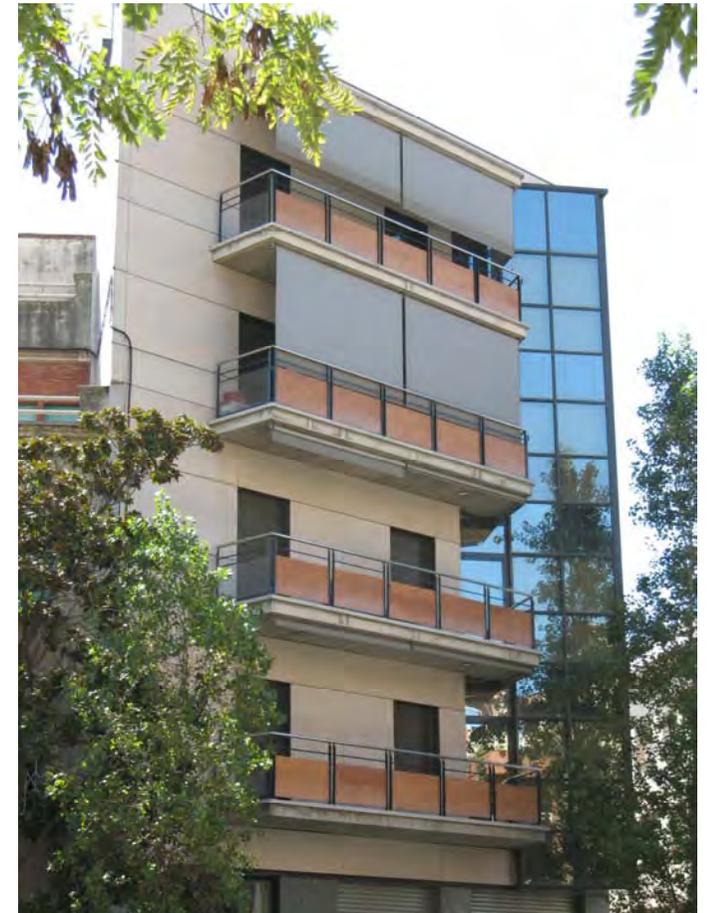
*Hoja interior de tabiquería seca formada por placas de yeso en la cara interior y chapa grecada de acero galvanizado en la exterior. Esta última pasa de forma continua por delante de los cantos de los forjados.*

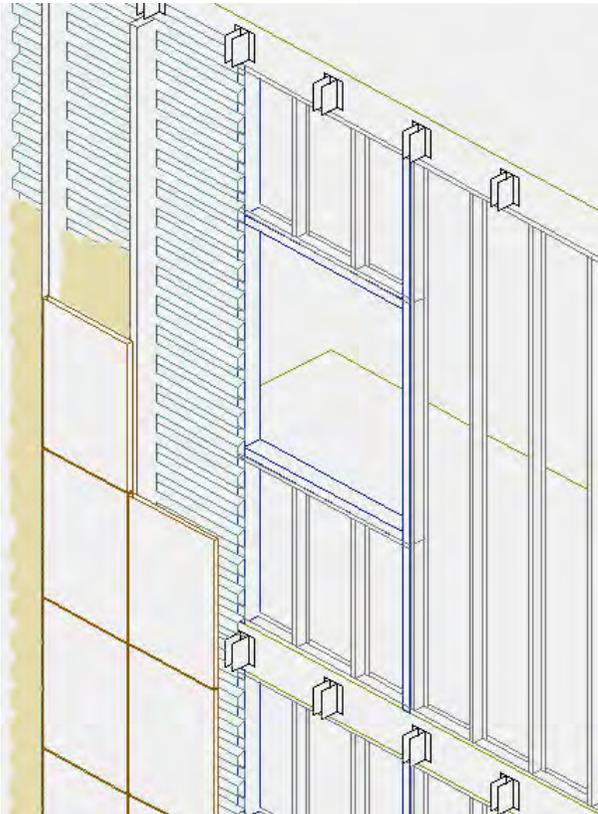
Se trata de un pequeño bloque de cuatro viviendas y un local comercial situado en la Ronda Guinardó entre el pasaje de Llivia y la calle de l'Art. Su volumetría se adecua a la parcela que resulta del encuentro de estas dos calles con la ronda.

#### Descripción de la fachada

La descripción de la fachada se ha basado en la documentación facilitada por el arquitecto Manuel Ruiz Ortega.

Arquitectos: Manuel Ruíz Ortega  
 Emplazamiento: Rda. Guinardó 178-180 Barcelona  
 Inicio: 1999  
 Final: 2000





Se trata de una fachada ventilada formada por dos hojas ligeras ancladas a estructuras independientes.

La hoja exterior es de placas de Naturvex coloreadas en masa de 8 mm de espesor, fijadas por medio de remaches a perfiles “Ω” de acero galvanizado. Dichos perfiles se colocan cada 60 cm anclados a los cantos de los forjados por medio de pletinas en “L” también de acero galvanizado.

La sección de las “Ω” es de 20\*100\*40\*100\*20 mm, esto les permite cubrir la luz entre forjados sin elementos de apoyo intermedios.

La hoja interior la soporta una estructura formada por perfiles de acero galvanizado. Consta de canales en “U” ancladas en todo el perímetro de los forjados, tanto en la cara superior como en la inferior, y montantes de sección “C” encajados en las canales cada 40 cm.

Esta hoja interior, que en un principio podría ser un tabique de yeso laminado estándar, se modifica colocando en la cara exterior de la estructura una chapa grecada de acero galvanizado en lugar de la correspondiente placa de cemento. Por la parte interior se coloca una placa de yeso laminado de 15 mm de grueso. La cámara que genera la estructura está rellena con lana de roca.

La estanqueidad queda garantizada por medio del solape de la chapa grecada.

ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

Una manta de lana de vidrio de 50 mm de espesor recubierta con velo negro se coloca en la cara exterior de la chapa para conseguir el adecuado nivel de asilamiento térmico.

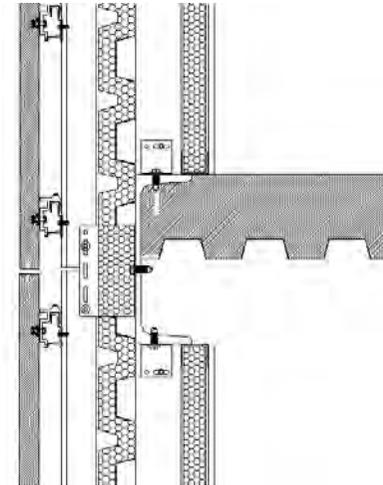
**ii - En búsqueda de la máxima optimización del entramado. *Entramados portantes plementados.***

Las soluciones anteriores obligan a desdoblar la subestructura de fachada: un entramado para la hoja interior y otro para la exterior. En el caso de cargas de viento excesivas también se deberá disponer un bastidor para soportar el hueco.

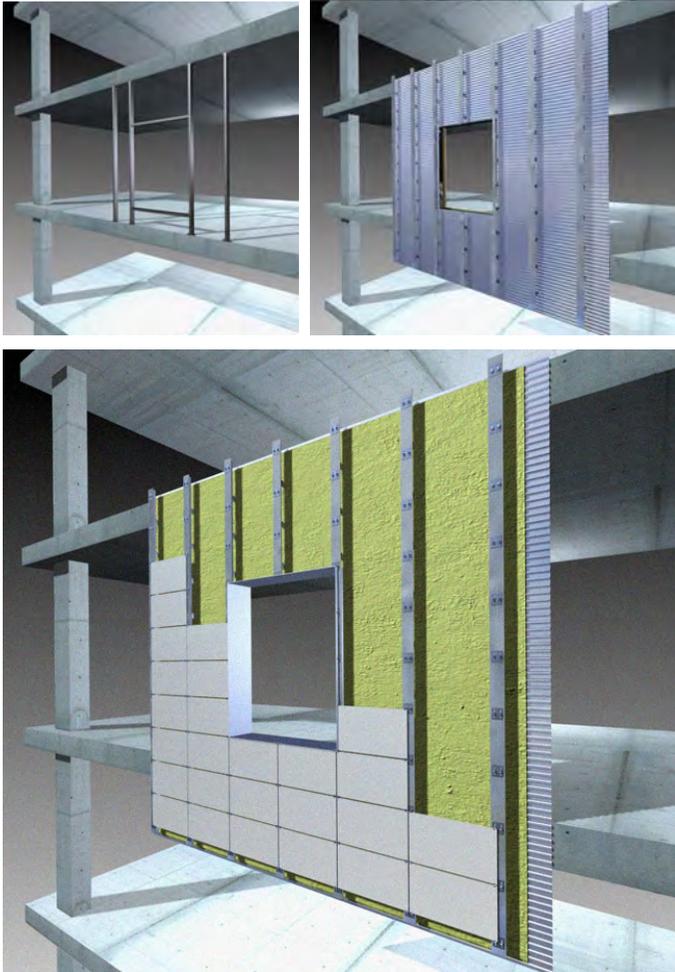
Una posible mejora de este sistema sugiere optimizar las subestructuras ya sea ligándolas mecánicamente para que trabajen de forma conjunta frente a las acciones horizontales, o reduciéndolas a una sola con la geometría adecuada para recibir tanto la hoja interior como la exterior y un posible trasdosado.

Sistema Proesga.

*Hoja interior formada por una chapa grecada fijada sobre un entramado metálico. A esta chapa se anclan los montantes de la hoja exterior. El interior se resuelve por medio de un trasdosado autoportante.*



### Descripción del sistema



Frente a los sistemas que derivan de la tabiquería seca y que simplemente sustituyen la hoja más exterior del tabique por una chapa que, a diferencia de la subestructura que la soporta, sí pasa por delante de los forjados; la empresa Proesga practica una ligera variante.

Coloca los rastreles estructurales entre los forjados y les fija, desde el exterior, una chapa de acero que pasa por delante de sus cantos. Sobre esta chapa, y anclándose a ella en los tramos entre forjados, dispone la subestructura de la hoja exterior. El objetivo es limitar la luz que cubren los montantes de la hoja exterior haciendo colaborar a la interior en la estabilización de la fachada frente acciones horizontales.

La chapa grecada que forma la hoja interior va recubierta de espuma de poliuretano por su cara exterior.

La hoja exterior la forman placas del material de acabado que requiera el proyecto.

Un trasdosado autoportante de placa de yeso laminado con lana de roca entre montantes da el acabado interior.

Si haciendo trabajar a toda la subestructura de fachada se pretendía reducir la sección de los montantes y optimizar el entramado, la complejidad que plantea este sistema no resulta adecuada. Las subestructuras se triplican. El hecho de no aplomar el bastidor portante obliga a replantear una estructura para el trasdosado interior y otra para la hoja

ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

exterior con los necesarios mecanismos de nivelado. Ambas hojas se deben aplomar de forma independiente cuando lo lógico sería nivelar una única vez el conjunto de la fachada.

### Sistema Kingspan SFS (Steel Framing Sections)

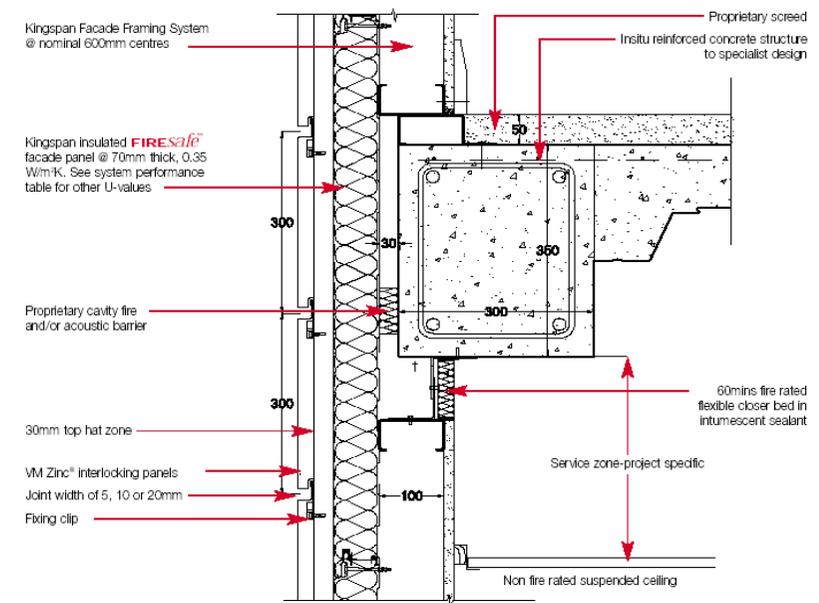
*Estructura de perfiles de acero encajada entre forjados sobre la que se fija un panel sándwich desde el exterior. La hoja exterior se cuelga de un entramado específico pero unido mecánicamente al primero, de manera que toda la fachada responde de forma conjunta ante acciones horizontales.*

### Descripción del sistema

La empresa inglesa Kingspan tiene un amplio repertorio de soluciones de fachada diferenciadas por el nivel de acabado en el momento de llegar a la obra.

La que precisa un mayor número de operaciones de montaje “in situ” se basa en una estructura de montantes de acero galvanizado dispuesta entre forjados a la que se fija un aislamiento rígido de cuerpo fenólico protegido con láminas de aluminio por ambas caras Kingspan K15.

Los perfiles sobre los que fijar la hoja exterior quedan colocados como elementos puntuales separados 60 cm en horizontal. A ellos se anclan los montantes y travesaños que requiera la hoja exterior que decida el arquitecto.



ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------



En este sistema, la estanqueidad al aire queda resuelta con el sellado entre las placas de aislamiento térmico por su cara exterior.

Un punto crítico en la ejecución de esta fachada es el correcto sellado al rededor de cada una de las fijaciones atornilladas a los montantes de acero galvanizado y que, atravesando el panel de aislamiento térmico, van a buscar la hoja exterior.

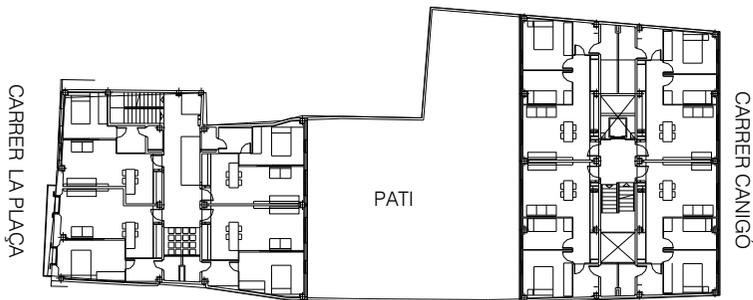
Según datos extraídos del documento BRE Certification 118/06 de enero del 2006 únicamente el bastidor, las placas de aislamiento y las fijaciones puntuales forman el sistema. Con ello queda resuelta la estabilidad, la planeidad, la estanqueidad al aire y el aislamiento térmico. El trasdosado interior y la hoja exterior son sistemas añadidos.

Si la propuesta de Proesga descomponía la subestructura de forma excesiva obligando a varias operaciones de nivelado para cada tramo de fachada, Kingspan reduce los entramados a la vez que las operaciones de montaje. Pero es la solución que plantea la empresa Mecanotubo la que realmente optimiza al máximo el entramado limitándolo a una única subestructura para todas las capas que forman la fachada.

Bloque de viviendas, local y aparcamiento en Piera. Sistema Mecanofas.

*Entramado de perfiles de aluminio como soporte de la hoja interior de panel sándwich, de la exterior y del trasdosado que da el acabado al espacio habitable.*

Promotor: INCASOL  
 Arquitectos: JBE, Arquitectes Associats, S.L.  
 Fachadista: Grupo Mecanotubo  
 Emplazamiento: c/ de la Plaça nº 12-14, Piera  
 Inicio: 2003  
 Final: 2005



ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

Se trata de dos edificios independientes que comparten un patio interior de manzana fruto de la misma intervención. El conjunto alberga 22 viviendas, un local en planta baja destinado a equipamiento municipal y una planta de aparcamiento subterráneo.

El volumen con fachada a la calle de la Plaza ocupa el lugar del antiguo Ayuntamiento.

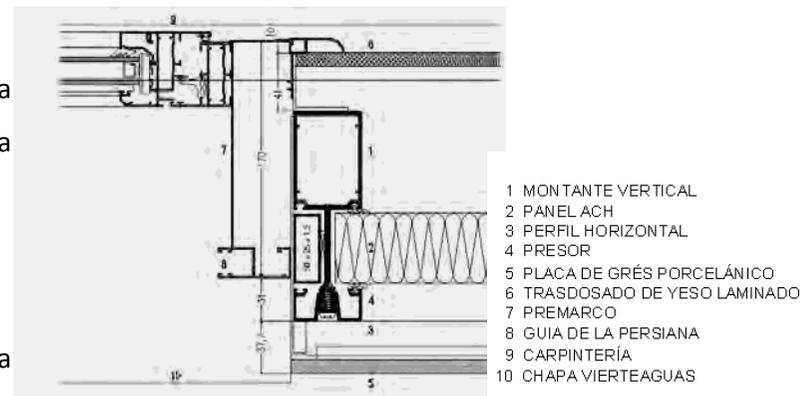
Todo el proyecto está marcado por la voluntad de dotar al conjunto de carácter público, a la vez que se mantiene la imagen tradicional del casco antiguo de Piera. En este sentido se ha respetado parcialmente la fachada del antiguo Ayuntamiento y se ha abierto al público el espacio interior común a las dos edificaciones que establece a la vez la conexión peatonal entre la calle de la Plaza y la calle Canigó.

#### Descripción de la fachada

La descripción de la fachada se ha basado en la documentación facilitada por la empresa encargada del proyecto de obra de la misma, su fabricación y montaje: Grupo Mecanotubo, y observaciones hechas “in situ”.

Este sistema nace de la extrapolación de la resolución de la parte ciega de los muros cortina a la hoja interior de la fachada ventilada.

Se trata de resolver la estructura con montantes de sección similar a la de los muros cortina sistema “stick” colocando, en lugar de vidrios, paneles sándwich. De esta manera queda garantizada la estabilidad, la planeidad, la estanqueidad al aire y el aislamiento térmico.





La hoja exterior fija su subestructura directamente atornillada sobre el montante de la interior. El trasdosado, anclado a los mismos montantes, debe garantizar la resistencia al fuego y mejorar la atenuación acústica.

La estructura que sirve para soportar la fachada la forman perfiles de aluminio extruido dispuestos a modo de montantes y travesaños. El sándwich de plementado está compuesto por dos chapas de acero galvanizado con núcleo de lana de roca.

Los montantes van anclados a los cantos de los forjados por medio de ménsulas de acero. Cada montante cubre la luz de una planta. Se unen entre ellos por medio de mechas que permiten el libre movimiento vertical.



La hoja interior la forman los paneles sándwich habituales del sistema. Se fijan a los montantes por medio de presores que los retienen como si fueran los vidrios de un muro cortina. Burletes de material polimérico conformado garantizan la estanqueidad de la unión entre el perfil y el panel.

La hoja exterior se cuelga de unos travesaños atornillados a los presores de los montantes. La interior es un trasdosado de yeso laminado que se fija por medio de omegas dispuestas en horizontal a la estructura que soporta la fachada.

El paralelismo entre esta solución de fachada ventilada y la de un muro cortina convencional de tapeta vista es tal que la resolución de las entregas habituales entre distintos elementos, véase la entrega del canto del forjado con el paramento vertical, se

ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

pueden resolver exactamente de la misma manera para garantizar la sectorización por plantas frente a la propagación del fuego.

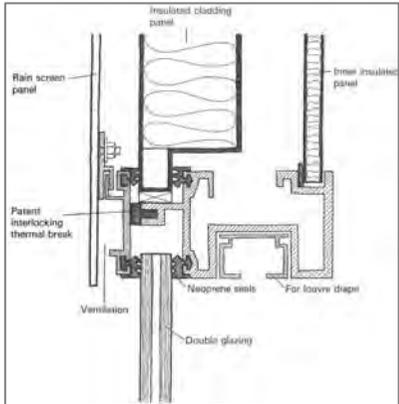
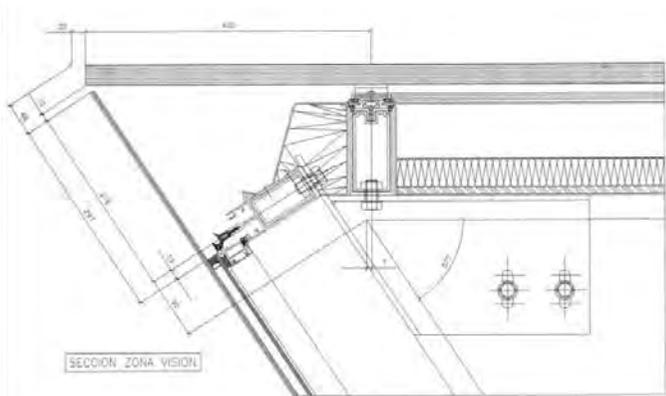
En la obra de Piera se pudieron detectar algunos inconvenientes del sistema que se mejoraron en trabajos posteriores, como es el caso del Hotel AB Skipper de Barcelona.

La escasez de travesaños en la fachada de las viviendas hizo que los paneles cargaran unos sobre otros. Los paneles situados en la parte inferior difícilmente podían soportar el peso de los que cerraban las sucesivas plantas. En esta fachada prevalece la perfilaría vertical frente a la horizontal.

Esta extrapolación del sistema constructivo habitual en los muros cortina a la fachada ventilada ya se había planteado con anterioridad. En una publicación de 1983 “Cladding of buildings” aparecen varios ejemplos, entre ellos el detalle del *rain screen* de Crittall Construction Ltd. (UK) que muestra la imagen 1.

En nuestro país, y ya en los años 90, Roser Amadó y Lluís Domenech propusieron una solución similar en el edificio para Carburos Metálicos de la calle Aragón de Barcelona. En este caso la estanquidad queda claramente encomendada a la hoja interior y no a la cámara drenada por lo que la función de la hoja exterior es puramente compositiva.

La resolución de la hoja interior recurriendo a la tecnología del muro cortina da tal garantía de estanquidad que limita las funciones de la hoja exterior a la de un simple acabado.



Img. 1

ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

Arquitecto: Antoni Giraltonso  
 Fachadista: Grupo Mecanotubo  
 Emplazamiento: Vila Olímpica, Barcelona  
 Inicio: 2004



## Hotel AB Skipper, Barcelona. Sistema Mecanofas.

*Entramado de perfiles de aluminio como soporte de la hoja interior de panel sándwich, de la exterior y del trasdosado que da el acabado al espacio habitable. A diferencia del caso anterior, cada sándwich apoya directamente sobre la subestructura y no sobre el panel inferior.*

Se trata de un hotel de cinco estrellas situado en la confluencia de la Ronda Litoral con la calle de Trelawny.

### Descripción de la fachada

La descripción de la fachada se ha basado en la documentación facilitada por la empresa encargada del proyecto de obra de la misma, su fabricación y montaje: Grupo Mecanotubo, y observaciones hechas “in situ”.

La estructura que soporta el conjunto de la fachada la forman perfiles de aluminio extruido dispuestos a modo de montantes y travesaños.

La sección de los montantes dibuja una forma similar a un “8” mientras que la de los travesaños se podría asimilar a una “h”. La subestructura vertical monta la mitad de su sección en el canto del forjado, resolviendo la fijación al mismo en el tramo que pasa por su testa. La fijación se realiza por medio de ménsulas de acero. Cada montante cubre la luz de una planta, uniéndose entre ellos por medio de mechas que permiten el libre movimiento vertical.

ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

Los travesaños discurren por delante de los rastreles verticales.

Esta singularidad en la relación montante – forjado, se debe a la voluntad de minimizar la distancia entre el canto de éste y la cara más exterior de la fachada.

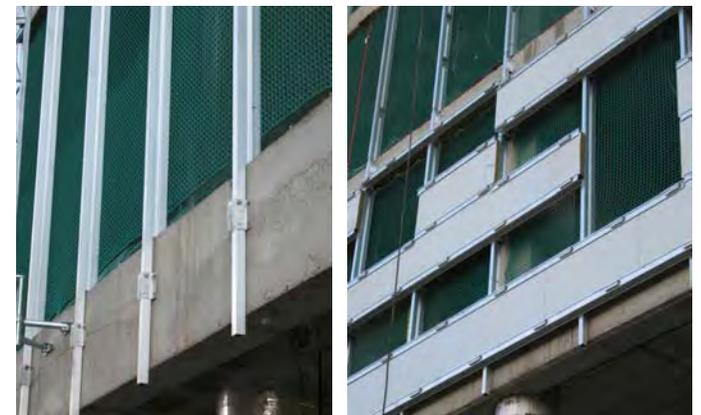
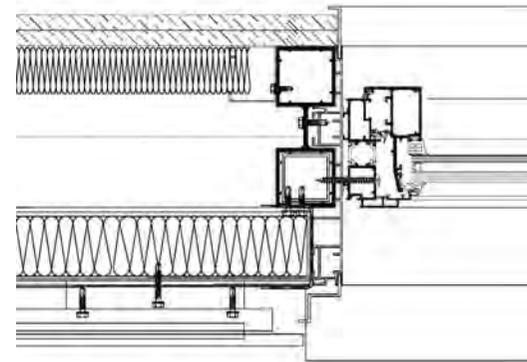
La hoja interior la forman paneles sándwich (ACH) compuestos por dos chapas de acero galvanizado y un núcleo de lana de roca de 5 cm de espesor. Van alojados dentro de los perfiles “H” que constituyen los travesaños. A diferencia de la fachada de las viviendas de Piera, en este caso cada hilada de paneles apoya directamente sobre los rastreles por lo que no se transmiten esfuerzos de unos a otros en vertical.

La hoja exterior de gres porcelánico de 10 mm de espesor se cuelga de los travesaños de fachada. Para poder fijar las grapas de cuelgue a las placas, se les practican ranuras puntuales en su cara posterior. El sistema de cuelgue queda oculto.

El trasdosado interior de yeso laminado se fija a la estructura de fachada por medio de perfiles “Ω” de acero galvanizado.

### **iii - El montaje se traslada al taller. Paneles con estructura de entramado.**

Pasar de la hoja interior de obra de fábrica a sistemas más industrializados tiene una clara repercusión en la puesta en obra, la generación de desperdicios, el desmontaje, las



ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

Arquitectos: José Luis Mateo – MAP arquitectos  
 Consultores de fachada: Biosca & Botey  
 Emplazamiento: c/ Taulat. Barcelona  
 Inicio: 2002  
 Final: 2004



garantías de calidad, etc. Prefabricar al máximo los sistemas de fachada aumenta las ventajas desde este punto de vista.

Oficinas del Consorcio Zona Franca.

*Hoja interior formada por un panel premontado en taller a partir de un entramado de acero plementado. El sistema prefabricado no incluye la hoja exterior.*

Este edificio forma parte del mismo conjunto que el Hotel AC de manera que los criterios de proyecto e implantación por los que se rige son similares.

Se trata de un volumen que se descompone en piezas de acabados diversos articuladas alrededor de un cuerpo de hormigón donde se alojan las comunicaciones verticales.

#### Descripción de la fachada

La descripción de la fachada se basa en documentación aportada por la empresa Sistema Masa.

A raíz de la intervención en el proyecto del Hotel AC, el equipo técnico responsable de la fachada vio la necesidad de plantear una solución global industrializada y premontada en taller. El objetivo era evitar problemas de coordinación entre los distintos industriales así como mejorar las garantías de calidad del producto terminado.

El sistema de fachada es un panel ligero formado por un bastidor revestido de Naturvex por ambas caras. El aislamiento térmico se dispone entre la perfilaría del bastidor.

El motivo de no incluir todas las capas que forman la fachada, -en concreto las placas de la hoja exterior-, en la pieza prefabricada trasladada a obra, es la posibilidad de acceder a las juntas de los paneles para sellarlas desde el exterior.

Finalidad

Menú principal

**PANEL MASA**

- OFRECER UNA SOLUCIÓN INTEGRAL PARA CERRAMIENTO DE EDIFICIOS DE ENVERGADURA
- AGILIZAR EL MONTAJE
- UNIFICAR DIFERENTES APLICACIONES EN UN SOLO PROCESO
- INDUSTRIALIZAR EN UN PREFABRICADO LA TOTALIDAD DEL CERRAMIENTO (EXCEPTUANDO EL ACABADO EXTERIOR Y SU SUBESTRUCTURA)
- SER CONSECUENTE CON LAS SOLICITACIONES TÉRMICAS, ACÚSTICAS, HIDRÓFUGAS, IGNÍFUGAS, ETC. CON UNA SELECCIÓN DE MATERIALES A CONSCIENCIA.
- ADELANTARNOS A LOS REQUERIMIENTOS PLANTEADOS POR LA FUTURA NORMATIVA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (Optimización en el diseño y materiales de los edificios)

---

Premisas de diseño

Menú principal

**PANEL MASA**

- MINIMIZACIÓN DE LOS TRABAJOS IN-SITU.
- FACILIDAD DE ADAPTACIÓN A DIFERENTES GEOMETRÍAS EN FACHADA (DIFERENTES MODULACIONES)
- CAPACIDAD PARA SOPORTAR VARIADOS DESPIECES DE PIEDRA.
- SELECCIÓN DE MATERIALES TENIENDO EN CUENTA : AISLAMIENTO TÉRMICO (BUSCANDO UN AHORRO ENERGÉTICO, REDUCIENDO EL 20% QUE SE ESTIMA DE PERDIDA ENERGÉTICA POR LOS MUEBROS)
- AISLAMIENTO ACÚSTICO (RESPECTANDO LOS UMBRALES de confort)
- CONTROL DILATACIÓN / CONTRACCIÓN DE SUS COMPONENTES
- BUEN COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO (IGNÍFUGO-M0 / A1)
- BUEN FUNCIONAMIENTO COMO BARRERA HIDRÓFUGA.
- RESPECTUOSO CON EL MEDIO AMBIENTE.
- CUMPLIR CON LA NORMATIVA EN LOS ASPECTOS ANTES CITADOS.
- DIMENSIONES DEL PANEL CONSIDERANDO TRANSPORTE Y ACOPIO DE LOS MISMOS.









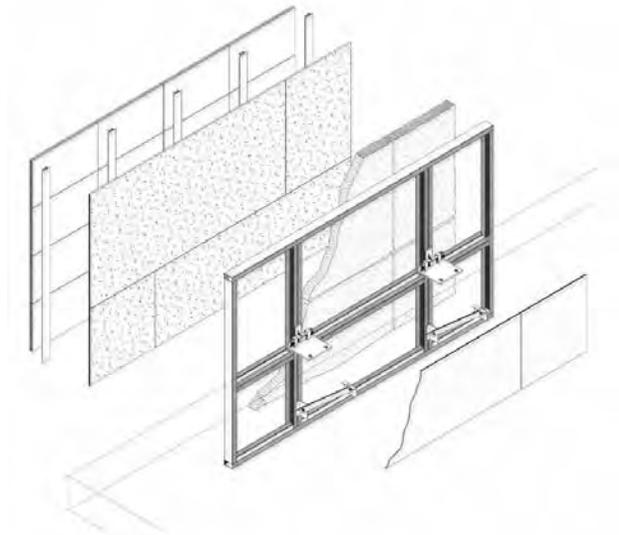





Oficina técnica







### Sistema Kingspan AFS (Architectural Façade Carrier Systems)



*Hoja interior formada por un entramado de acero plementado con un panel aislante por la cara exterior. A este entramado se fijan cartelas de anclaje para la hoja exterior que atraviesan el panel aislante. El conjunto llega montado a obra de manera que sólo falta colocar el trasdosado interior y la hoja exterior.*

#### Descripción del sistema

Además del sistema de fachada Kingspan SFS, formado por un entramado de acero plementado en obra, esta empresa ofrece dos sistemas de fachada no portante caracterizados por un mayor grado de prefabricación:

- Kingspan Fabrik Façade Systems
- Kingspan Architectural Façade Carrier Systems

El primero se basa en la tecnología del “GRC stud-frame”. La junta sellada que proponen no permite construir fachadas con cámara ventilada.

El segundo llega a obra menos terminado, pero sí permite realizar este tipo de fachada. Como en el caso del panel diseñado por Sistema Masa para el edificio CZF, la hoja exterior se debe colocar “in situ” para permitir sellar desde fuera las juntas de la hoja interior.

Kingspan propone exactamente la misma solución constructiva que realiza cuando el montaje es “in situ” para el panel premontado en taller. La diferencia básica está en el



ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

lugar donde se produce el ensamblaje y todas las consecuencias que se desprenden de ello en cuanto a plazos de ejecución, calidad del producto terminado, seguridad en el trabajo, etc.

En el informe “Kingspan Off-Site Architectural Facade Benchmark Study” se hace un análisis comparativo entre el sistema de producción de fachadas industrializado prefabricado y el convencional. De él se desprende que el sistema AFS ahorra 10 semanas de trabajo por cada 1.000 m<sup>2</sup> de fachada respecto a la obra convencional, mientras que el sistema SFS ahorra 4 semanas para el mismo volumen de obra.



**iv - Otras formas de panel ya conocidas encuentran una nueva aplicación. Paneles monolíticos macizos o aligerados. Bandejas.**

La fachada de las viviendas de la Rue des Meaux en Paris, de Renzo Piano, es ya un paradigma histórico. Se trata de uno de los primeros casos que conocemos en el que aparece una hoja interior que, al parecer, cumple todas las funciones que se plantean en esta tesis. Utiliza una placa premoldeada de GRC que se fija a los cantos de los forjados. Por la parte exterior, esta placa tiene unos elementos salientes que permiten colgar unas piezas cerámicas especialmente fabricadas para ello. Hacia el interior se coloca un aislamiento térmico y una lámina de yeso laminado. Esta situación interior del aislamiento térmico y la estanqueidad al agua garantizada por el sellado de las juntas de



Arquitectos: Felip Pich-Aguilera Baurier  
Teresa Batlle i Pagès  
Emplazamiento: c/ Sicilia c/ Ali Bei, Barcelona  
Final: 2006



ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

la hoja interior y no por el drenaje de la cámara desvirtúa la inclusión de esta solución en el estudio de casos. El carácter precursor de la solución dadas las posibilidades que plantea hace inevitable citarla. De hecho es el ejemplo que introduce los casos que a continuación se desarrollan.

La obviedad de cerrar un hueco con una lámina lo suficientemente alta, ancha y gruesa, para que pueda cubrirlo anclándose directamente a la estructura principal del edificio la recuperan los arquitectos Pich Aguilera y Teresa Batlle o Joan Sabaté en los ejemplos que se ilustran a continuación.

CEIP Fort Pienc.

*Hoja interior formada por paneles prefabricados de hormigón situados por delante de los cantos de los forjados.*

La descripción del edificio y de la fachada se basa en documentación aportada por el equipo de arquitectos y observaciones hechas “in situ”.

El CEIP Fort Pienc es una promoción pública del Departament d’Educació de la Generalitat de Catalunya.

La voluntad de la propuesta de los arquitectos es adaptarse al entorno inmediato teniendo presentes las particularidades del solar y las necesidades de un programa docente muy denso. De esta manera se consolida un zócalo prácticamente continuo con

ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	------------------------------------	---------------------------------

dos volúmenes en las plantas superiores que buscan integrarse con el resto de intervenciones de la manzana.

### Descripción de la fachada

La fachada está formada por una hoja interior de hormigón prefabricado anclado directamente a la estructura principal del edificio y que da el acabado interior. Sobre él se coloca un grueso de 4 cm de poliestireno extruido.

La hoja exterior es de placas de hormigón polimérico con un acabado superficial de Geal-Coat de color blanco mate de ULMA que se fijan a un sistema de rastreles sujeto a la hoja interior de hormigón. Es decir que toda la fachada tienen un comportamiento solidario frente acciones horizontales.

Las placas de la hoja exterior pasan por delante de los huecos permitiendo las visuales a través de perforaciones.

### Casa Barcelona 2007

Una propuesta similar pero ligera se planteó en Casa Barcelona 2007. Se trata de un prototipo de fachada ventilada que emplea como hoja interior de soporte un panel sándwich de GRC de 10 cm de grueso formado por dos hojas perimetrales de aproximadamente un centímetro y un núcleo aislante. A él se fija la hoja exterior del material que defina el arquitecto con absoluta libertad en cuanto a posibilidades de



Arquitectos: J. Sabaté, H. Espeche  
Arquitecto asociado: M. Forteza-Rey  
Equipo: H. Mercader, A. Pizzolatto  
Emplazamiento: Manresa. Barcelona  
Inicio: 2004  
Final: 2006



ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

despieces, materiales y acabados. El proyecto lo desarrolló Ignacio Paricio junto con las empresas Cemex y Preinco.

#### 40 Habitatges a la Parada

*Hoja interior de hormigón aireado situada entre forjados. La estructura queda vista en fachada por lo que no existe continuidad del aislamiento térmico.*

Tanto la descripción del edificio como la de la fachada se basan en información publicada en la página web de SaAS Arquitectos y documentación cedida por Joan Sabaté.

Se trata de una promoción de viviendas para jóvenes del Institut Català del Sòl.

La planta está dividida en cuatro cuadrados, concentrando en uno de ellos todos los elementos de servicios e instalaciones. La estructura en fachada permite la máxima libertad en la distribución interior.

#### Descripción de la fachada

La fachada está resuelta con una hoja interior de hormigón aireado de Ytong, Xella de 10 cm de grueso y  $800 \text{ kg/m}^3$  de densidad. A pesar del buen comportamiento como aislante térmico de este material, el espesor de 10 cm no aporta el valor para la transmitancia deseado por lo que debe añadirse una manta de lana de roca que se sitúa por la cara exterior. La lana de roca no cubre los cantos de los forjados ni los pilares que, por requerimientos compositivos, deben quedar vistos. Una hoja de aluminio termina la

ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

fachada por el exterior, mientras que en el interior el hormigón aireado se recubre con un tejido de fibra de vidrio y pintura plástica.

### Bandejas

La chapa grecada soportada por medio de una subestructura que Proesga y Manuel Ruiz Ortega emplean para resolver la hoja interior sugiere que, chapas o bandeja similares giradas 90° y con el plegado adecuado pueden llegar a cubrir, sin ninguna estructura adicional de refuerzo, la luz libre entre forjados.

Viviendas V.P.O en Guadalajara.

*Hoja interior formada por bandejas autoportantes de acero galvanizado ancladas a los cantos de los forjados.*

El equipo de arquitectos madrileño Artefacto propone esta solución y la lleva a cabo en dos proyectos de vivienda colectiva. El primer de ellos es un conjunto de 200 viviendas de protección oficial en Aguas Vivas, Guadalajara.

El funcionamiento del sistema es simple. Bandejas de acero galvanizado de 60 cm de ancho, 15 cm de nervio y longitud suficiente para cerrar hasta 4 plantas con una sola pieza, se fijan a perfiles en “L” anclados a los cantos de los forjados que garantizan el nivelado. Sobre la bandeja, en su cara exterior, se coloca una manta de lana mineral. En la

Desarrollo 1: Proceso de cambio en la fachada ventilada. Estudio de casos – pg. 31

Arquitectos:  
Emplazamiento:  
Final:

Artefacto  
Aguas Vivas, Guadalajara  
2005



ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------



En la cara interior se dispone un trasdosado a base de tabiquería seca autoportante para minimizar la transmisión de la onda acústica hacia el interior.

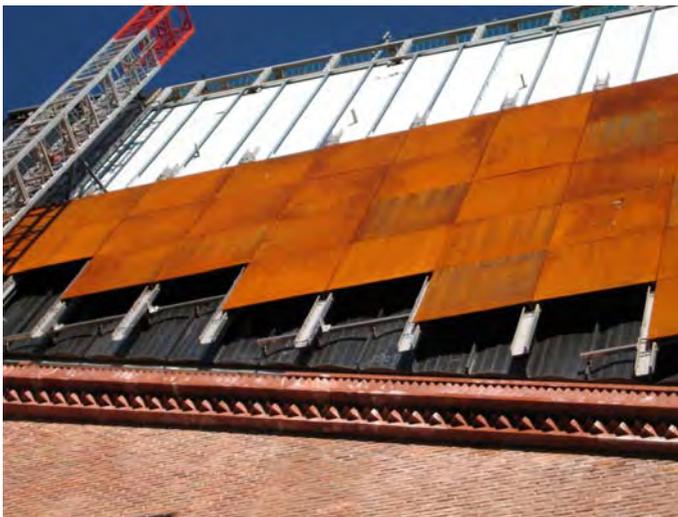
La geometría de la bandeja empleada permite fijar la hoja exterior directamente a los nervios, siempre que el despiece lo permita, o a travesaños dispuestos sobre ellos en los casos que practican los arquitectos del equipo Artefacto.

El requerimiento de estabilidad frente a las acciones del viento precisa el nervio de 15 cm de la bandeja. Dado que el espacio destinado a formar la cámara más el grueso del aislamiento térmico se puede resolver en un espesor del orden de 8 cm, los 7 cm restantes se emplean para el paso de instalaciones generales de suministro y evacuación. Artefacto Arquitectos insiste en la importancia de considerar la fachada lo que ellos llaman un Plano Activo, es por ello que las placas de la hoja exterior deben ser fáciles de sacar y poner, facilitando el registro de las instalaciones.

Esta propuesta ha conducido al desarrollo de un sistema de fachada respaldado por la empresa Europerfil que, de esta manera, abre un nuevo mercado a las bandejas de acero que hasta ahora se empleaban básicamente en construcciones industriales.

Caixa Forum, Madrid.

*Hoja interior formada por un sándwich de ejecución in situ a partir de bandejas de acero. Sobre las bandejas horizontales ancladas a la estructura principal se disponen las verticales que configuran la cara exterior de la hoja interior.*



ENTRAMADOS NO PORTANTES	ENTRAMADOS PORTANTES	PANELES CON ESTRUCTURA DE ENTRAMADO	PANELES MONOLÍTICOS Y BANDEJAS.
-------------------------	----------------------	-------------------------------------	---------------------------------

Frente a la solución de fachada del proyecto de Guadalajara planteada para vivienda económica, los arquitectos Herzog & de Meuron proponen, para el edificio Caixa Forum de Madrid, una fachada algo más compleja pero teniendo como protagonistas también a las bandejas de acero. Como en el caso anterior, las hacen trabajar mecánicamente cubriendo luces superiores a las de un simple rastrelado.

Sobre la estructura portante de perfiles de acero que conforma el volumen irregular de la ampliación de la antigua Central Eléctrica de Mediodía se coloca la primera capa de bandejas. Estas se disponen en horizontal. Entre sus nervios se sitúa el material de aislamiento térmico. A estos nervios, y esta vez en sentido vertical, se fijan las bandejas que cierran la hoja interior. La junta engatillada garantiza la estanqueidad al aire y permite fijar los travesaños a los que irán anclados los perfiles en “U” donde colgar las placas de acero corten que dan el acabado a la fachada.

Algunas instalaciones también discurren por el interior de la cámara.

