



## ESTUDIO DE NUEVAS ENVOLVENTES. LA FACHADA COMO HARDWARE

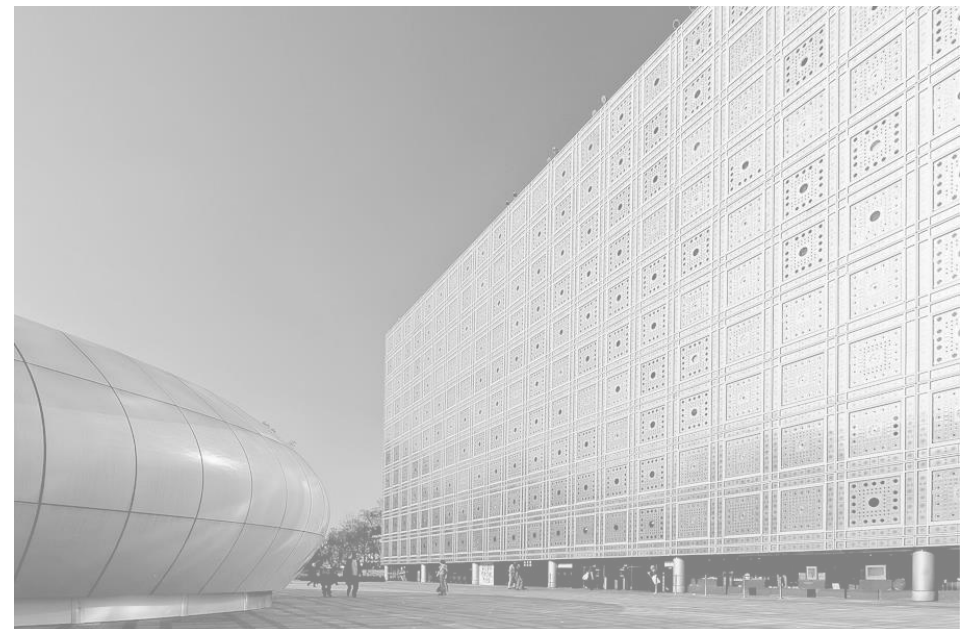
TRABAJO DE FIN DE GRADO

AUTOR: JAVIER ÁLVAREZ CALVO

Tutores: Javier Arias Madero y José Antonio Balmori Roiz

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE VALLADOLID

SEPTIEMBRE DE 2021





UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

**ESTUDIO DE NUEVAS ENVOLVENTES.**  
**LA FACHADA COMO HARDWARE**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA  
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA  
TRABAJO DE FIN DE GRADO  
SEPTIEMBRE 2021

AUTOR: **JAVIER ÁLVAREZ CALVO**  
TUTOR: **JAVIER ARIAS MADERO**  
COTUTOR: **JOSE ANTONIO BALMORI ROIZ**

## Agradecimientos

A mi familia, por todo el apoyo que me han dado durante estos años y por la confianza depositada en mí.

A mis tutores Javier y José, por el tiempo empleado en mí y la ayuda a la hora de la realización de este trabajo, a pesar de las dificultades.

A mis compañeros del Grado con los que he aprendido y me han ayudado, haciendo más llevaderos todos estos años.

## Resumen

El presente trabajo se centra en el desarrollo de las envolventes de los edificios, realizando una introducción de los diferentes procesos que se han llevado a cabo a lo largo de la historia en este campo de la construcción. Posteriormente se desarrolla un tema muy de actualidad como es la sostenibilidad aplicada a la arquitectura, y más concretamente a los sistemas y materiales de fachadas que se deben emplear para una correcta praxis de la arquitectura sostenible.

A continuación, se explican brevemente los sistemas de fachadas que se emplean en la actualidad, así como algunas de sus características, ventajas y desventajas a la hora de ser implantados; destacando en el desarrollo de los sistemas que incorporan la tecnología digital en su diseño y funcionamiento. Incidiendo especialmente en las envolventes cinéticas y las multimedia, a las que consideramos parte de la arquitectura paramétrica.

Por último, se muestran una serie de casos en los que este tipo de tecnologías se introducen, así como una serie de materiales que han sido desarrollados en los últimos tiempos y que acompañan a los sistemas de fachadas anteriormente citados en la innovación de la arquitectura contemporánea.

**Palabras clave:** Envolventes, Arquitectura sostenible, Sistemas, Materiales, Envolventes cinéticas, Envolventes Multimedia, Arquitectura paramétrica.

**Keywords:** Envelopes, Sustainable architecture, Systems, Materials, Kinetic envelopes, Multimedia envelopes, Parametric architecture.

## Abstract

This paper focuses on the development of building envelopes, introducing the different processes that have been carried out throughout history in this field of construction. This is followed by the development of the current topic of sustainability applied to architecture, and more specifically the façade systems and materials that should be used for the correct practice of sustainable architecture.

Next, a brief explanation is given of the façade systems currently in use, as well as some of their characteristics, advantages, and disadvantages when it comes to their implementation, highlighting the development of systems that incorporate digital technology in their design and operation. Special emphasis is placed on kinetic and multimedia envelopes, which we consider to be part of parametric architecture.

Finally, we show a series of cases in which these types of technologies are introduced, as well as a series of materials that have been developed recently and which accompany the above-mentioned façade systems in the innovation of contemporary architecture.

## **CONTENIDOS**

### **1. INTRODUCCIÓN, 6**

1.1. Motivación y justificación, .....	6
1.2. Objetivos, .....	7
1.3. Fachada y envolvente, .....	7
1.4. Antecedentes, .....	8
1.4.1. Corrientes teóricas, .....	8
1.4.2. Las primeras construcciones, .....	9
1.4.3. La desmasificación del muro, .....	11
1.4.4. Descomposición en capas de los cerramientos, .....	12

### **2. METODOLOGÍA, 13**

2.1. Sostenibilidad, nuevo paradigma de la construcción, .....	13
2.1.1. Principios de la sostenibilidad actuales, .....	15
2.1.2. Marco de diseño de edificios regenerativos, .....	16
2.1.3. Materiales sostenibles, .....	18
2.1.4. Ahorro energético, .....	21
2.1.5. Economía circular, .....	24
2.2. Nuevos materiales, .....	25
2.3. Nuevos sistemas de fachada, .....	27
2.3.1. Fachadas ventiladas, .....	27
2.3.2. Fachadas vegetales, .....	31

2.3.3. Fachadas biosensibles, .....	37
2.3.4. Fachadas de membranas tensadas, .....	38

### **3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS, 42**

3.1. Arquitectura paramétrica, .....	43
3.1.1. Proceso de diseño paramétrico, .....	43
3.1.2. Arquitectura paramétrica en fachadas, .....	45
3.1.3. Vista crítica sobre la arquitectura paramétrica, .....	46
3.2. Arquitectura Performativa, .....	47
3.3. Fachadas programables, .....	49
3.3.1. Fachadas cinéticas, .....	49
3.3.2. Otros sistemas, .....	56
3.3.3. Fachadas multimedia, .....	63
3.4. Casos de estudio, .....	76

### **4. CONCLUSIONES, 84**

### **5. BIBLIOGRAFÍA, 87**

### **ANEXO 1. Fichas de materiales, 92**

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Motivación y justificación**

La elección de este tema nace de la necesidad de ampliar los conocimientos en cuanto a construcción se refiere para que, en un futuro, éstos me puedan servir en mi vida profesional como arquitecto, dándome la posibilidad de elección entre la infinita gama de productos que ofrece el mercado, así como la opción de asesorar a otros teniendo un cierto criterio justificado.

El desarrollo de la industria de la construcción se está quedando rezagada con respecto al de otras industrias, ya que se sigue construyendo en gran medida con tecnologías que ya estaban instauradas en el siglo pasado. Bien es cierto que las técnicas se han perfeccionado y solucionado problemas a los cuales antes no se les daba tanta importancia.

Sin embargo, no todos los elementos de la construcción se van desarrollando tan lentamente. Las fachadas, son ese elemento más cambiante de la arquitectura pues, es la piel, la imagen, lo que se ve, y a lo que en muchas ocasiones se le da más importancia a la hora de promocionar un proyecto. Por ello, y por su relevancia en cuanto a la sostenibilidad de los propios edificios es un campo en continuo desarrollo, tanto de materiales, como de sistemas tecnológicos. Convirtiéndose la fachada en una parte versátil, motorizada e interviniente en muchas ocasiones.

La cada vez mayor incidencia de las tecnologías de prefabricación y la mejora en los softwares de cálculo y diseño está posibilitando esta evolución en su gran mayoría, optimizando al máximo los productos y reduciendo las pérdidas y deshechos en la ejecución. Este será uno de los temas principales a abordar en el presente trabajo.

Por otro lado, los propios materiales, así como los nuevos elementos de programación y domotización de los edificios, emergen como el hardware que, hace posible el desarrollo de este tipo de arquitectura tecnológica.

## 1.2. Objetivos

Los principales objetivos de este trabajo son:

- Realizar una breve introducción de los antecedentes históricos, pasando por diversas épocas, en cuanto a las fachadas de los edificios, explicando brevemente los saltos más relevantes que se han ido dando en la técnica
- Analizar el tema de la sostenibilidad aplicado a la arquitectura y a los materiales de fachada utilizados hasta ahora, así como los impactos que su producción y procesamiento al final de su vida útil genera medioambientalmente.
- Investigar sobre los nuevos materiales desarrollados en las últimas décadas, ver su aplicación, sus ventajas y desventajas y su viabilidad a lo largo del tiempo.
- Investigar sobre los nuevos sistemas de fachadas que se están implementando en la arquitectura contemporánea, así como sus ventajas sobre los posibles usuarios de los edificios.
- Incidir con mayor profundidad en las fachadas cinéticas y multimedia con la exposición de algunos ejemplos

## 1.3. Fachada y envolvente

Entendemos por fachada los paramentos verticales (o no) que envuelven a los edificios, dándoles su imagen característica y aportándole unas cualidades que buscan en el mejor de los casos el bienestar y la protección de los usuarios que se encuentran en los edificios. Históricamente el concepto de fachada se ha asociado con la entrada principal del edificio, la cual portaba la mayor ornamentación y en definitiva era la imagen más representativa del edificio.

En la actualidad este concepto clásico de fachada se ha ido perdiendo, pasando a ser más reconocible como una piel técnica que envuelve a los edificios y que recientemente recibe el nombre de envolvente. La envolvente involucra todas las superficies que dan la forma exterior del edificio, desde los paramentos verticales o inclinados, hasta las cubiertas, que en muchos casos se unifican con los propios cerramientos verticales.

Quizás una de las definiciones más ajustadas al objeto de este trabajo puede ser la siguiente:

*“Un sistema complejo, objeto de exploración y desarrollo que se ha enriquecido y afinado a punto de concentrar funciones pasivas y activas capaces de ser determinantes para el confort, el impacto ambiental y el consumo energético de una construcción”. (Varini, 2009)*

## 1.4. Antecedentes

Las fachadas, o envolventes, han ido variando mucho a lo largo de la historia, tanto en su composición, como en las características que los humanos le hemos ido solicitando en función de las necesidades y de la tecnología que se ha ido incorporando a la arquitectura.

### 1.4.1. Corrientes teóricas

Según Gottfried Semper (1803-1879) las primeras construcciones primitivas se componían de cuatro elementos principales: Hogar, plataforma, cubierta y envolvente exterior (Imagen 1). Semper elaboró una fuerte teoría que expuso en el libro "Der Stil" (1860-63) en la que rebatía la teoría hasta ese momento instaurada con la obra de Vitruvio, despojando a las envolventes de los edificios del encorsetamiento del "*Utilitas, Firmitas y Venustas*".

En esta teoría daba especial importancia al elemento de la envolvente exterior de la arquitectura primitiva, la cual según la información de la que disponía, decía que se llevaba a cabo mediante entramados textiles y cuya principal función era la de limitar y crear espacios, concepto éste que no aparecía aun en ningún escrito, independizando envolvente de estructura portante.

Defiende en su teoría que, los revestimientos y motivos de las arquitecturas clásicas vienen dados por la adaptación de los tejidos textiles primitivos a las propias construcciones de las civilizaciones antiguas, siendo tallados directamente sobre la propia piedra, o revistiendo elementos de escaso valor estético pero si portante con elementos decorativos que dieran imagen a los edificios, como descubrió al conocer los paneles de alabastro que habían sido recolectados por el Louvre de la civilización Asiria.

*"Semper argumentaba que "no se podían tomar los huesos del mamut como el propio mamut". Una analogía biológica que tan acertadamente recuperaría Mies un siglo después con su famoso aforismo: La arquitectura es piel y huesos". (Rueda & Pizarro, 2013)*

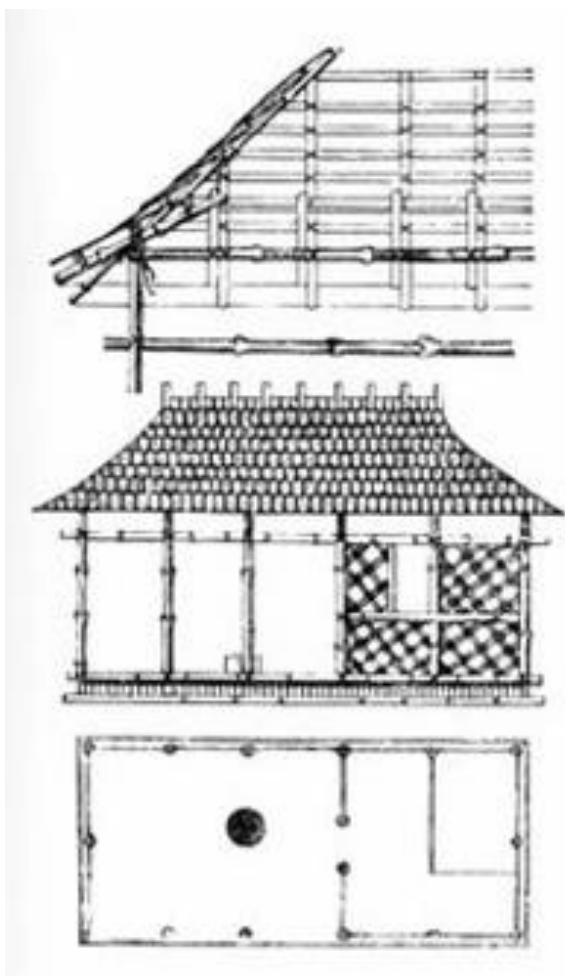


Imagen 1: La cabaña de Semper. Fuente: <https://www.imatrabillbao.com/blog/casas-modelo/caribbean-hut-2/>



## 1.4.2. Las primeras construcciones

En las edades de los metales (Piedra, Bronce y Hierro), los seres humanos habitaban en cuevas y tenían una forma de vida nómada. Conforme van apareciendo la agricultura y la ganadería se van asentando en diferentes zonas y utilizando los materiales de los que disponen en su entorno para la realización de las edificaciones.

Una vez se afianza el sedentarismo y se empiezan a consolidar las comunidades, se pueden diferenciar unas grandes culturas en la Antigüedad, como serían la egipcia, la griega, la romana y la mesopotámica (Imagen 2). Cabe decir que podemos hablar de estas civilizaciones porque su arquitectura ha perdurado en el tiempo, pero que es evidente que muchas otras culturas habrán tenido una arquitectura más efímera, como pueden ser las cabañas, las cuales no han perdurado en el tiempo.

Estas grandes civilizaciones basaron su arquitectura en los elementos masivos en su mayoría, empleando los materiales que disponían en las zonas de sus asentamientos. Estos materiales por lo general fueron la piedra (para los edificios de mayor índole), el ladrillo de barro mezclado con paja (adobe), la madera como elemento para la realización de cubiertas y algunas aportaciones en metal como elementos de sutura entre la piedra.

Las técnicas de construcción empleadas consistían en muros de carga de gran espesor, con la realización de escasos vanos en los paramentos. Las aperturas en los muros se realizaban mediante arquivitrabes de madera o de piedra en función de la cantidad de material que se dispone.

En algunas de estas civilizaciones se empiezan ya a realizar técnicas que serán muy relevantes en el desarrollo de la arquitectura, como puede ser la aparición del arco (Imagen 3), la bóveda y la cúpula; además de la fabricación de morteros entre las piezas que componen las fachadas.

En cuanto a los acabados ornamentales, generalmente se empleaba la piedra tallada, como pueden ser los capiteles de los órdenes griegos, las esculturas egipcias, o los revestimientos de morteros de cal exquisitamente pintados y decorados.



Imagen 2: Partenón de Atenas (Grecia).

Fuente: <https://historiaeweb.com/2016/05/24/cronologia-antigua-grecia/>



Imagen 3: Puerta de Ishtar. Fuente: <https://www.auladehistoria.org/2016/01/puerta-de-ishtar-comentario.html>



Imagen 4: Catedral Románica de Zamora. Fuente: <https://www.romanicozamora.es/es/monumentos/ver/catedral-de-zamora/4>

En la Edad Media (Siglos V – XV), se dan una gran cantidad de culturas diversas, cada una con sus propias ideas religiosas y culturales, y sus niveles de desarrollo. Se divide el Imperio Romano en el cristiano (occidente) y el bizantino (oriente), aparece gran cantidad de pueblos bárbaros de zonas al norte de Europa y también la llegada de los reinos del norte de África a Europa, perdiéndose así la arquitectura clásica.

Todo este conglomerado de culturas, así como la gran dilatación en el tiempo de esta etapa de la historia, hace que se implanten grandes variaciones arquitectónicas, apareciendo diferentes estilos como el mudéjar, el románico, el gótico, etc.

El Románico se caracteriza por los gruesos muros de sillería tallada, la escasa apertura de vanos en las fachadas, el uso de arcos de medio punto y las bóvedas de cañón, las cuales descansan en el interior en pilares y en el exterior en los muros reforzados con contrafuertes (Imagen 4).

La cubierta se realiza con madera y en la fachada de acceso se incluyen en el frontón de la puerta esculturas de tipo religioso o bíblico.

### 1.4.3. La desmasificación del muro

Con el paso de los siglos, aparece el Gótico (Imagen 5), y los muros empiezan a perder su carácter masivo para pasar a aligerarse progresivamente, en busca de la luz, como elemento celestial por excelencia, aumentando las dimensiones de las construcciones tanto en altura como en envergadura. Las cargas de las bóvedas de crucería y los arcos apuntados interiores se desplazan a los pilares que dividen las naves y en el exterior aparecen los arbotantes y los pináculos, elementos estructurales que desplazan las cargas a los contrafuertes exteriores, aportando además una imagen exterior más escultórica.

Esta nueva concepción del muro permite la apertura de grandes huecos laterales que serán recubiertos con vidrieras coloridas con motivos florales y eclesiásticos.

En la Edad Moderna la corriente arquitectónica principal será el Renacimiento, en el cual se retoma la obra de Vitrubio y algunos autores realizan sus propias teorías arquitectónicas en base a la suya. La arquitectura del Renacimiento buscará romper con el Gótico, buscando la vuelta al orden clásico reinterpretado, el Clasicismo y el Humanismo serán las corrientes que definan este período. Los arquitectos de la época salen de su anonimato y se dan a conocer, documentando de forma detallada los proyectos.

La materialidad de esta arquitectura vuelve a centrarse en los muros de piedra y ladrillo, las columnatas, etc. Lo que en esta época aparece la perspectiva, y los arquitectos buscan generar espacios perfectamente compuestos para que gobiernen al espectador.



Imagen 5: Catedral Gótica de León. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Catedral\\_de\\_Le%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Catedral_de_Le%C3%B3n)

#### 1.4.4. Descomposición en capas de los cerramientos



Imagen 6: Centro Pompidou de Renzo Piano y Richard Rogers (París).  
Fuente: <http://www.historiadelarte.us/arquitectura/el-centro-pompidou-en-paris/>

La Edad Contemporánea supone un cambio radical en el campo de la arquitectura. Con la revolución Industrial se produce un desarrollo importante en la utilización del acero en la construcción, también aparece el hormigón armado a finales del siglo XIX.

Estos materiales son clave para el desarrollo de la arquitectura que se ha realizado en el siglo XX y el XXI pues, gracias a su estudio y aportación, los arquitectos consiguieron lo que llevaban buscando desde el Gótico, es decir; extraer por completo la estructura de la fachada, independizándolas entre sí, para conseguir una experimentación mucho mayor a la hora de la realización de los proyectos, tanto en las propias envolventes, como en el interior de las edificaciones.



Imagen 7: Catedral del Brasilia. Oscar Niemeyer. Fuente: <https://arte.laguia2000.com/arquitectura/catedral-de-brasilia-oscar-niemeyer>

Una vez se produjo este cambio radical, se empezó a experimentar con los materiales de los cerramientos de los edificios, los cuales habían perdido esa capacidad portante, por lo que podían aligerarse mucho.

Anteriormente el muro de carga estaba destinado a resolver muchas funciones dentro de la envolvente; una vez pierde ese papel principal, sus funciones anteriores se van disgregando en diferentes capas (Imagen 6), las cuales se encargan específicamente de un cometido. Es así como aparecen los aislamientos, los trasdosados, las láminas impermeables, los paneles de fachada, los aplacados, etc.

En esta época han surgido gran cantidad de movimientos arquitectónicos, como podrían ser el conocido como Movimiento Moderno (Imagen 7), el Art Nouveau, el Brutalismo, el High-Tech, entre muchos otros. Estos movimientos han sido muy variados, tanto en su esencia como en su producción arquitectónica, pues se han desarrollado en todo el planeta, por lo que han dado lugar a producciones muy variadas.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Sostenibilidad, nuevo paradigma de la construcción

El concepto de sostenibilidad estuvo muy ligado a la arquitectura en el pasado, donde la arquitectura se basaba en la autoconstrucción. Se empleaban los materiales disponibles en la zona en la que se asentaba la población, y se buscaba una funcionalidad máxima, sin alardes de ningún tipo, debido a la escasez de recursos y la necesidad más imperiosa (Imagen 8).

Con la revolución industrial se produce un cambio de mentalidad en cuanto a estos principios; es más fácil la realización de transportes a mayores distancias, surgen materiales compuestos y se produce un desarrollo económico importante en las ciudades donde se instaura la industria, favoreciendo la migración de la gente del campo a la ciudad en busca de trabajo en las fábricas.

Desde entonces hasta la actualidad se ha generado una sociedad de consumo globalizado, por la que el planeta se ha visto resentido y gravemente dañado medioambientalmente, con el consumo excesivo de combustibles fósiles y la consecuente contaminación.

Considerando el objeto de este trabajo, se entiende por edificación sostenible *“Aquella que, desde planteamientos respetuosos con el medioambiente, utiliza adecuadamente el agua y los distintos tipos de energía, selecciona desde el proyecto y aplica eficientemente durante la obra recursos, tecnologías y materiales; evita los impactos medioambientales, gestiona los residuos que genera su ciclo de vida; busca un mantenimiento y conservación adecuados del patrimonio construido; reutiliza y rehabilita siempre que sea posible y, además y finalmente, resulta más saludable”* (Díez Reyes et al. 2000, como se citó en Ortega et al., 2016).



Imagen 8: Construcción de un iglú. Fuente: <https://travesiapirenaica.com/como-construir-un-iglú/>

Entre las industrias más dañinas para el medioambiente por la gran cantidad de energía y recursos que consume, así como por la cantidad de residuos que genera se encuentra la construcción.

*“El entorno construido, donde pasamos más del 90% de la nuestra vida es, en gran medida, culpable de dicha polución. Este sector es responsable del uso del 40% de los recursos naturales que se extraen en los países industrializados, del consumo del 70% de la electricidad y del 12% de agua potable y de la producción del 45-60% de los residuos que terminan en los vertederos”* (Franzoni., 2011, como se citó en Ortega et al., 2016).

En la actualidad está muy presente en la arquitectura la importancia de que los edificios cumplan con unos parámetros adecuados de sostenibilidad medioambiental para reducir la contaminación, fomentar el uso de energías renovables, buscar que sean eficientes energéticamente con consumos nulos e incluso que se autoabastezcan. Compromiso demandado por la sociedad, y exigido normativamente en muchos casos.

A lo largo del siglo XX han aparecido múltiples paradigmas sobre la arquitectura y la sostenibilidad (Tabla 1). Todos ellos tienen a sus precursores y han mostrado sus puntos de vista sobre cómo actuar.

Paradigm	Years	Influencer	Paradigm
Bioclimatic architecture	1908–1968	Olgyay, Wright, Neutra	Discovery
Environmental architecture	1969–1972	Ian McHarg	Harmony
Energy conscious architecture	1973–1983	AIA, Balcomb, ASES, PLEA	Energy efficiency
Sustainable architecture	1984–1993	Brundtland, IEA, Feist	Resource efficiency
Green architecture	1993–2006	USGBC, Van der Ryn	Neutrality
Carbon neutral architecture	2006–2015	UN IPCC, Mazria	Resilience
Regenerative architecture	2016–Future	Lyle, Braungart, Benyus	Recovery

Tabla 1. Paradigmas de la sostenibilidad de la arquitectura en los siglos XX y XXI. Fuente: Attia S. (2018) Modern History of Sustainable Architecture. In: Regenerative and Positive Impact Architecture.

### 2.1.1. Principios de la sostenibilidad actuales

Como se muestra en la Tabla 1, el paradigma de la arquitectura sostenible en la actualidad es el de la arquitectura regenerativa. La arquitectura regenerativa consiste en que los edificios, a lo largo de su vida útil puedan generar lo que consumieron durante la producción de los materiales que lo componen, su construcción y su vida útil; convirtiéndose así en edificios de impacto positivo (Attia, 2018) Los principios de esta clase de arquitectura se encuentran actualmente en la utilización de:

- Sistemas integrales de clasificación de edificios, como el LEED (Figura 1).
- Normas de construcción específicas, como las Passive House (Figura 2).
- Etiquetado de productos y materiales que cumplan con certificados adecuados como EPD o C2C (Figura 3).

Cradle to Cradle (C2C) “de la cuna a la cuna”, es un tipo de etiquetado de los considerados más relevantes a la hora de cumplir con los principios de la arquitectura regenerativa. Los materiales que cumplen con este certificado tienen que cumplir con los parámetros siguientes:

**Materiales saludables y seguros.** Los materiales deben ser evaluados durante su producción, uso y retirada y ser estudiados los impactos que pueden generar a las personas su exposición, con especial atención a los productos químicos que pueden contener.

**Materiales reutilizables.** Los materiales deben ser confeccionados con la finalidad de que al retirarse del edificio puedan llevar un proceso de degradación natural o que puedan ser 100% reutilizables.

**Energías renovables y utilización de carbono.** Los fabricantes deben emplear energías renovables en el máximo posible en la producción de los materiales con el objetivo de que este alcance el 100%, fomentando así la reducción del uso del carbono y que éstas se equilibren.

**Consumo de agua.** Aprovechamiento máximo del agua en los procesos de fabricación.

**Equidad social.** Los fabricantes deben tener responsabilidad social en sus procesos de producción, teniendo en cuenta a todos los implicados directa o indirectamente, bien sea a los seres vivos, bien sea al medioambiente.



Figura 1: Certificado LEED para edificios. Fuente: <https://lumenhaus.es/reynaers-aluminium-consigue-la-certificacion-cradle-to-cradle/>



Figura 2: Etiquetado de certificación de Passivhaus. Fuente: <https://sostenibleosustentable.com/casas-ecologicas/passivhaus-casas-pasivas-eficientes/#>



Figura 3: Etiquetado C2C para edificios. Fuente: <https://lumenhaus.es/reynaers-aluminium-consigue-la-certificacion-cradle-to-cradle/>

## 2.1.2. Marco de diseño de edificios regenerativos

Una vez enunciados los principios del diseño de edificios regenerativos es necesario aplicar estrategias concretas en el diseño de los edificios de impacto positivo. Encontramos tres estrategias principales.

### a. Sistemas constructivos regenerativos

El edificio debe tener la capacidad de adaptarse a posibles cambios, algo que actualmente es muy común. La flexibilidad que le aporta a los proyectos ciertos sistemas facilita el desmantelamiento para la reparación, mejora y modificación de los materiales. Esto permite que los nuevos usuarios de los edificios puedan desmontarlos y reconfigurar sus espacios en caso de que así lo deseen.

El diseño modular de los sistemas permite estas prácticas, pues permite desmontar, desde una condición del diseño original del edificio, desde los acabados de las fachadas, hasta la propia estructura portante del edificio.

### b. Elementos de diseño regenerativo

Tras la correcta elección de los sistemas constructivos, el siguiente punto para tener en cuenta es la configuración del edificio y de sus espacios. Existen elementos a la hora de distribuir los edificios que pueden actuar de forma positiva, pero esto también depende de la localización y las condiciones a las que este va a estar sometido.

*“El propósito de los elementos de diseño regenerativo de un edificio es mejorar la calidad del aire y el agua, aumentar la biodiversidad, utilizar materiales saludables, posibilitar la diversidad cultural y social, habilitar la funcionalidad, la movilidad y generar energía.” (Attia, 2018)*

Estos elementos pueden ser muy variados, en función del lugar de emplazamiento del edificio, pero algunos podrían ser patios, terrazas, zonas comunes y vestíbulos, jardines en cubiertas, etc., y deben dar respuesta en la medida de lo posible a estos indicadores:

- Mejora de la calidad del aire y la salubridad. La calidad del aire interior y exterior de los edificios es fundamental para el bienestar de las personas. La purificación del aire es fundamental, así como la correcta aportación de oxígeno, y ambas corren a cargo del proyectista. La adhesión de vegetación a los edificios y sus proximidades puede facilitar esta purificación y el aumento del oxígeno, combinado con una correcta ventilación natural.

- Ahorro de energía. Una de las premisas de la arquitectura regenerativa es el ahorro de energía. Para ello es fundamental a aplicación de estándares de edificación de consumo muy bajo o nulo, como podría ser el de las Passive House, asegurando el confort interior y minimizando el consumo.



- Producción de energía renovable. El edificio regenerativo debe producir más energía de la que consume, por lo que en el diseño se deben estimar los consumos para dimensionar los generadores, así como su localización. Estos generadores incluyen paneles fotovoltaicos (Imagen 9), aportes de agua solar térmica, empleo de geotermia para la climatización, etc.

- Gestión del agua. Las aguas residuales deben ser recogidas y tratadas, reutilizándose y evitando productos nocivos químicamente hablando. Se deben fomentar los sistemas de filtrado naturales mediante plantas que absorben los nutrientes de las aguas residuales.

- Diseño con la naturaleza. Es esencial en la fase de diseño tener en cuenta la naturaleza e incorporarla en forma de vegetación (Imagen 9), mejorando la calidad interna y externa de la edificación. Esto se convierte en fundamental para la gestión de agua, producción de alimentos, purificación del aire y bienestar general de las personas.



Imagen 9: Cubierta ajardinada con captadores fotovoltaicos. Fuente: <https://www.cubiertasajardinadas.com/wp-content/gallery/cubiertas-ajardinadas-1/jardin-con-placas-solares.jpg>

### c. Materiales y productos de construcción regenerativos

La construcción con productos y materiales regenerativos tiene la finalidad de que una vez termina la vida útil del edificio en el que se encuentran, estos son recogidos y pasan a un “banco de materiales”, donde vuelven a ser escogidos y reutilizados. Con esta estrategia nos aseguramos de que no se consumen más recursos produciendo nuevos materiales.

La utilización de estos materiales nos asegura que son seguros y saludables para los seres humanos y el medioambiente. Los componentes que los conforman pueden ser asimilables de nuevo por el planeta de forma segura y su producción se ha desarrollado con energías completamente renovables, además de que se diseñan con el fin de proteger y aumentar el agua limpia disponible.

El funcionamiento a la hora de emplear esta clase de materiales incluye su marcado y rastreo por el cual los edificios en los que se instalan se convierten en bancos de materiales que se rastrean y recogen para ser reutilizados y reciclados una vez acabe la vida útil del edificio, reduciendo la generación de residuos, las materias primas consumidas y las emisiones generadas en este proceso.

Es recomendable el uso de materiales naturales sostenibles, en especial los vegetales, pero no es necesario excluir los materiales más técnicos o compuestos como el acero o el hormigón armado, aunque si se exige que estos sean desmontables y reúnan condiciones regenerativas en su fabricación, así como certificados y que no incluyan materiales tóxicos en sus composiciones y en sus procesos de producción.

### 2.1.3. Materiales sostenibles

Los materiales de construcción producen impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida. No hay materiales que no los generen, por lo que hay que escoger los más sostenibles posibles dentro de la oferta existente. No existe una definición concreta de “material sostenible” pero una aproximación podría ser la siguiente. Materiales que controlan los impactos generados en todo su ciclo de vida y que no generan ningún inconveniente para la salud humana durante el mismo. (Franzoni 2011, como se citó en (Ortega et al., 2016)

Existen diferentes herramientas desarrolladas durante las últimas décadas para medir la sostenibilidad de los materiales que se pueden englobar en dos categorías: (Morterootti, 2013, como se citó en (Ortega et al., 2016)

**Herramientas de análisis parcial**, que evalúan un único parámetro en diferentes fases del ciclo de vida del edificio como pueden ser las etiquetas ecológicas (DAP) o los estándares sostenibles (Passive House).

**Herramientas de evaluación global**, que evalúan todas las fases del ciclo de vida del edificio como las LEED.

Estas herramientas son incompletas y no tienen en cuenta diversos parámetros importantes, por lo que deben ser revisadas a la hora de hacer las mediciones. (Andrés et al, 2016)

Los materiales de la construcción tienen especial relevancia en el tema de la sostenibilidad, pues hay muchas variables que influyen directa o indirectamente en la huella ecológica que la construcción genera. Algunos de los factores más relevantes para tener en cuenta a la hora de escoger los materiales de la construcción:

- Consumo de recursos no renovables.
- Energía consumida en la extracción de la materia prima.
- Energía consumida en la fabricación del material.
- Residuos generados en la fabricación.
- Generación de la energía para la producción.
- Energía consumida en las diferentes fases de transporte, desde la extracción a la llegada a la obra.
- Duración de la vida útil del material dentro de la construcción.
- Grado de reciclabilidad del material una vez finalizada su vida útil en la construcción.

## Consumo de recursos no renovables

La utilización de materias primas como pueden ser los minerales, los combustibles fósiles y los metales tienen el inconveniente principal de que son finitos. Esto quiere decir que tarde o temprano se acabarán (Miller & Ip, 2013). En este apartado el principal problema es el consumo de combustibles fósiles que, aparte de que son agotables, generan una alta contaminación.

## Energía consumida en la extracción de las materias primas

Debido a que las solicitudes de materias primas siguen aumentando periódicamente, pues la población mundial no para de aumentar, cada vez resulta más complicado obtener estas materias. La minería se va complejizando pues los recursos se van encontrando cada vez en zonas más profundas, lo que genera que haya que realizar un gran movimiento de tierras y haya que mover mucho terreno sin valor para llegar a la zona donde se encuentra el deseado (Imagen 10). Esto se traduce en mayor consumo de energía de extracción y tratamiento de la materia prima, así como un gran sobrecoste.



Imagen 10: Mina a cielo abierto (Ávila). Fuente: <https://ultimocero.com/destacada/2018/07/22/13-movimientos-sociales-la-extraccion-especulativa-contaminante-las-minas-cielo-abierto/>

## Energía consumida en la fabricación del material

Una parte importante de la energía consumida en la construcción se debe al proceso de fabricación de los propios materiales. Esto se debe a la cada vez mayor complejidad compositiva de los materiales de la construcción, pues cada vez es necesario añadir más aditivos para que cumplan con las especificaciones técnicas que les exigimos, por lo que es posible que tengan que pasar por varias factorías hasta llegar a su puesta en obra definitiva en el edificio. Procesos de fundición, cocción, o acabado generan una gran cantidad de demanda energética (Imagen 11).



Imagen 11: Altos hornos de siderurgia. Fuente: <https://cordis.europa.eu/article/id/286121-revolutionary-lowcarbon-footprint-iron-production-technology/es>

## Residuos generados en la fabricación

A pesar de los avances tecnológicos la fabricación de materiales a base de la transformación de materias primas genera gran cantidad de residuos, bien como hemos comentado antes en el proceso de extracción de los minerales de capas más profundas en la tierra o como también pueden ser los desechos de la madera a la hora de fabricar piezas para su utilización en la construcción.

Es importante tener un plan de gestión de los residuos generados a la hora de realizar estas labores, buscando siempre el máximo rendimiento y el mayor aprovechamiento posible.

## Generación de energía para la fabricación



La fabricación y procesamiento de los materiales de construcción puede requerir gran cantidad de energía. Esta energía que puede ser eléctrica puede ser generada por fuentes de energía renovables como la hidroeléctrica, o por energía nuclear que emite una pequeña cantidad de CO<sub>2</sub> o por la combustión de combustibles fósiles, en cuyo caso el carbono incorporado será mucho mayor. Esto es un factor importante pero indirecto en la huella generada por el material.

### Energía consumida en las diferentes fases de transporte, desde la extracción de la materia prima a la llegada a la obra

Históricamente las poblaciones han utilizado los materiales que tenían más próximos a la hora de construir. Con el desarrollo industrial, esto se ha visto modificado, y los países más desarrollados, suelen ser los que menos materias primas tienen para la producción de sus propios materiales de construcción. Por este motivo, estos países están obligados a importar materias primas para su procesamiento, o a importar los materiales de construcción ya fabricados de los países productores. Esta importación genera que haya que realizar una gran cantidad de transportes hasta la puesta en obra del material finalizado, añadidos a los realizados desde que la materia prima es extraída de su lugar de origen hasta genera un gran consumo energético por lo general de combustibles fósiles que degeneran en la consecuente contaminación (Imagen 12).

### Duración de la vida útil del material dentro de la construcción

Un factor importante a la hora de escoger un material para incorporar a la construcción es la vida útil que tendrá el mismo. Es recomendable atender a este concepto pues será determinante a la larga si durante la vida útil del edificio (que se estima superior) se tiene que sustituir en repetidas ocasiones el componente en cuestión, generando unos costes mayores a causa de una mala elección. (Miller & Ip, 2013)

### Grado de reciclabilidad del material una vez finalizada su vida útil en la construcción

Una vez finalizada la vida útil del edificio o de los materiales que lo componen hay que tener en cuenta que gestión se puede llevar a cabo con los residuos que se generan, pues uno de los mayores problemas de la construcción es, que es la industria que más residuos genera. Lo ideal sería que los materiales del edificio fueran completamente reciclables, y es el camino que se está siguiendo en la actualidad, llevando a cabo demoliciones controladas en las que se extraen por separado los diferentes tipos de materiales para su correcto reciclado y reutilización (Imagen 13), aunque en ocasiones esto genera una serie de sobrecostes.



Imagen 13: Planta de reciclado de aluminio.

Fuente:

<http://plantadereciclajerecemsablogspot.com/2015/01/el-ciclo-del-recuclaje-del-aluminio.html>

## 2.1.4. Ahorro energético

El ahorro energético es una de las premisas en la arquitectura contemporánea. Los daños sufridos por el planeta a lo largo del siglo XX y lo que va del XXI han sido en gran parte consecuencias de una mala práctica y un exceso en el consumo de energía, sobre todo la generada por el consumo de los combustibles fósiles. Como consecuencia de estas malas prácticas ha surgido la necesidad de enmendar estos errores con la creciente inversión e investigación en energías de origen renovable, con el propósito principal de contrarrestar el cambio climático.

Los edificios directa o indirectamente son uno de los mayores consumidores de energía del mundo (60% del consumo total), por lo que es necesario hacer una revisión de su situación y reducir todo lo posible los recursos que consumen.

Los países están concienciándose de esta situación y las normativas de edificación se están adaptando a ella, solicitando unos requerimientos mínimos a los proyectistas a la hora de llevar a cabo un proyecto de obra nueva, de rehabilitación, e incluso en los derribos de edificios obsoletos.

En cuanto a la materialidad de los nuevos proyectos, y a lo explicado en los diferentes apartados del punto **2.1.3. Materiales sostenibles**, se muestra a modo informativo una lista con los materiales más utilizados en la construcción actual y los consumos medios realizados en su vida útil (Tabla 2).

En este sentido, en la actualidad se les pide a los edificios que prácticamente sean energéticamente autosuficientes, mediante la incorporación de sistemas pasivos y activos que se encargan de mantener unas condiciones adecuadas para las necesidades exigidas por las personas.

### Sistemas pasivos:

- Ventilación. Una correcta ventilación natural de los edificios puede generar un mayor confort higrotérmico a los ocupantes del edificio. Esta ventilación debe ser controlada correctamente pues en muchas ocasiones, sobre todo en edificios antiguos, las pérdidas o ganancias que se producen generan un aumento indirecto en el consumo de calefacción o refrigeración. Esta ventilación también incluye la ventilación de las cámaras de aire que se disponen en las fachadas de los edificios, las cuales disipan el calor en verano y favorecen el funcionamiento del aislamiento en las épocas más frías.

Material	Consumo energético (GJ/t)
<i>Consumo muy alto</i>	
Aluminio	200-500
Plástico	50-100
Cobre	>100
Acero inoxidable	>100
<i>Consumo alto</i>	
Acero	30-60
Plomo, zinc	>25
Vidrio	12-25
Cemento	5-8
Tablero de yeso	8-10
<i>Consumo medio</i>	
Cal	3-5
Ladrillos y baldosas cerámicos	2-7
Enlucido de yeso	1-4
<i>Hormigón</i>	
In situ	0,8-1,5
Bloques	0,8-3,5
Prefabricado	1,5-8
Ladrillos silico-calcáreos	0,8-1,2
Madera	0,1-5
<i>Consumo bajo</i>	
Arena, árido	<0,5
Ceniza volante y volcánica	<0,5
Tierra	<0,5

Tabla 2: Consumo energético de los materiales más comunes en la construcción actual. Fuente: "Arquitectura y energía". Revista tectónica 28. (2009). (R. Thomas. Environmental Design).

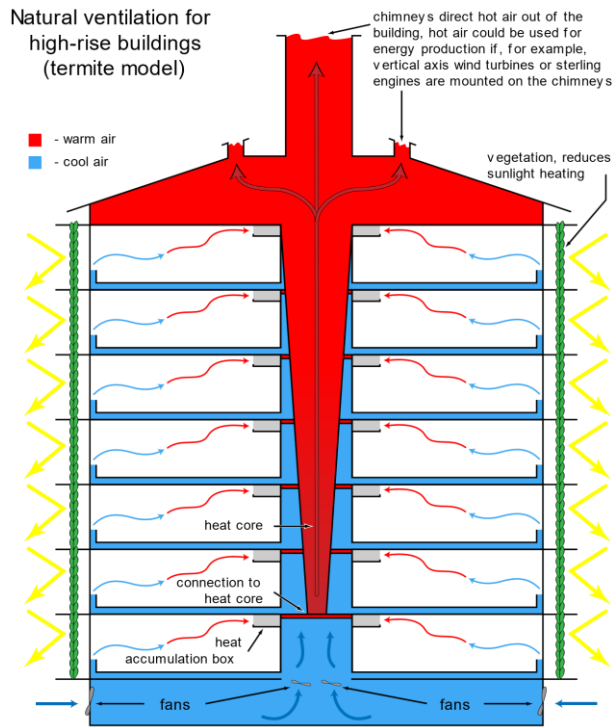


Figura 4. Sistema de ventilación natural por convección y funcionamiento de fachada vegetal. Fuente: <https://ecohabitar.org/arquitectura-bioclimatica-conceptos-y-tecnicas/>

- Factor de forma. A la hora de proyectar los edificios es importante tener en cuenta que, a mayor superficie expuesta al exterior, mayor cantidad de pérdidas se producen por lo que una edificación compacta generará menos pérdidas de energía, al tener que aclimatar menos superficie.

- Materialidad. La materialidad de la envolvente de los edificios, así como los elementos que la componen tienen gran relevancia a la hora de mantener unas condiciones internas adecuadas. El principal elemento para conseguir un ahorro energético correcto está en el aislamiento térmico que se disponga, pues será el principal encargado de mantener la inercia térmica y conseguir el confort higrotérmico.

El color del material de acabado de la edificación también puede ser importante pues, es bien conocido que los materiales oscuros absorben más el calor que los claros, por lo que en función de la localización en la que se vaya a realizar la edificación nos interesará captar más o menos calor de la radiación solar, con la consecuente ascensión de la temperatura interior del edificio.

- Dobles pieles. En la actualidad las fachadas se componen de múltiples capas que cumplen diferentes funciones dentro del sistema de envolvente. Cada vez con más frecuencia se independiza la piel exterior de acabado, que además tiene una característica de acabado, así como de generar sombreado sobre el propio edificio.

Existen múltiples variedades de este tipo de fachadas, como pueden ser las propias fachadas ventiladas, encargadas de disipar el exceso de calor en épocas cálidas mediante la convección y favorece el funcionamiento correcto del aislamiento en épocas frías.

Las fachadas vegetales son otro tipo de piel doble, las cuales se están implementando mucho en la actualidad y que tienen aparte de una función estética muy importante, también una función de protección y filtro frente al sol, aportando sombra a la envolvente y refrigerando de forma natural los edificios (Figura 4).

Por último, añadir otro tipo de dobles pieles a esta enumeración, las formadas por mallas metálicas. Estas pieles por lo general se separan de la envolvente del edificio dejando un paso para las tareas de mantenimiento y siendo sustentada por unas subestructuras, por lo general metálicas, que con el paso del tiempo se van complicando más y más. Estas pieles pueden aportar diferentes características a los edificios, bien sean estéticas, bien sean como fachada ventilada, bien sea como elementos de sombreado del interior del edificio.

- Captación solar. Con los avances tecnológicos, se han ido fomentando las energías renovables y su implantación en los edificios. Esta implantación se ha ido integrando cada vez más en los edificios, fomentando su implantación incluso en las fachadas. Actualmente es común que en edificios de nueva construcción se integren paneles fotovoltaicos captadores de luz en las fachadas de los edificios.

Hay otras maneras de captar la energía solar, como puede ser mediante los muros trombe, creando una doble fachada, con la exterior generalmente de vidrio y generar un espacio a modo de invernadero, en el cual el calor se acumula y puede suponer una reducción en el gasto de calefacción (Figura 5).

- Vidrios inteligentes pasivos. Dentro de esta categoría hay dos clases, los fotocromáticos y los termocromáticos. Los primeros pierden transparencia según aumenta la incidencia de la luz exterior sobre ellos. Los segundos, de forma similar se convierten en opacos según aumenta su temperatura. Estos efectos suponen un ahorro en refrigeración de los edificios.

#### Sistemas activos:

- Sistemas domóticos. La implementación de las tecnologías en la edificación tiene como fin principal hacer la vida más fácil a los ocupantes de los edificios. Una de estas nuevas tecnologías puede ser la de los elementos de sombreado inteligentes. Estos elementos incorporados en las fachadas de los edificios, mediante programación previa o bien mediante sensores individuales tanto de temperatura como fotosensibles, captan la información exterior, la procesan y en función de la necesidad del edificio se van abriendo o cerrando, generando sombra y protegiendo de excesos de radiación en el interior, o realizan el proceso inverso en caso de necesidad de luz y calor.

- Vidrios inteligentes activos. En este caso se trata de vidrios electrocromáticos, los cuales se componen de dos hojas de vidrio y en el medio elementos transparentes que se vuelven opacos al aplicarles una corriente. Se les pueden aplicar corrientes mediante regulación que los convierte en más o menos opacos y, una vez se corta la corriente vuelven a ser completamente transparentes.

Ambos sistemas están obligados a converger:

*“La integración de funciones activas que van a sumarse a las funciones pasivas de tal manera que, no solamente la envolvente permite el confort interno oponiéndose o mitigando condiciones climáticas externas desfavorables, sino que permite aprovechar recursos energéticos renovables (por ejemplo, la luz y el sol) para reducir la dependencia de fuentes energéticas contaminantes e incrementar la vida útil de la construcción.” (Varini, 2009)*

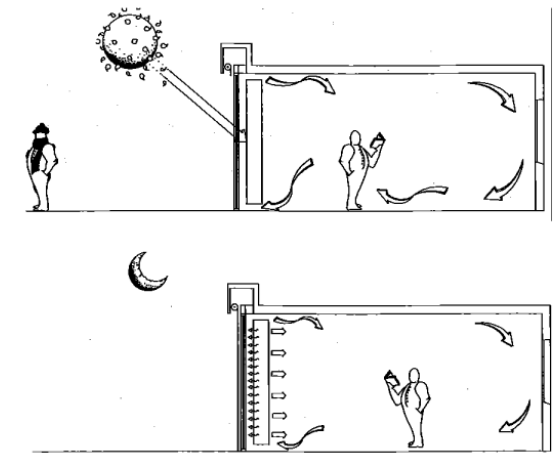


Figura 5. Funcionamiento del muro trombe. Fuente: NEILA, F.Javier, 2004. "Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible"

## 2.1.5. Economía circular

Una de las premisas del desarrollo sostenible es la de llegar a conseguir una economía circular (Figura 6). Esta economía busca que se reduzca el consumo de materias primas no renovables, mediante la reciclabilidad y reutilización de los materiales que se emplean, en nuestro caso, en la construcción.

El punto principal de la economía circular es la reciclabilidad de los materiales, por lo que se fomenta que, a la hora de fabricar los materiales de construcción, sean materiales simples, esto es, que no se mezclen con otros productos que sean muy complicados de separar a la hora de reciclar.

Se busca que una vez que los materiales de la construcción hayan acabado su ciclo de vida útil dentro del edificio, y una vez se haya procedido a su reciclado, este reciclado sea lo más sencillo, eficiente y económico posible, además de no consumir excesiva energía en ello, favoreciendo la reducción de la contaminación.

Una vez se ha realizado el reciclaje de los materiales, lo que más se busca es que los elementos extraídos de este reciclaje sean reutilizables, bien en la construcción o bien en cualquier otro ámbito de la economía, reduciendo al máximo la cantidad de residuos que una vez se han separado tras el reciclado, vayan a los vertederos, donde ya se les supone que no tienen ninguna utilidad.

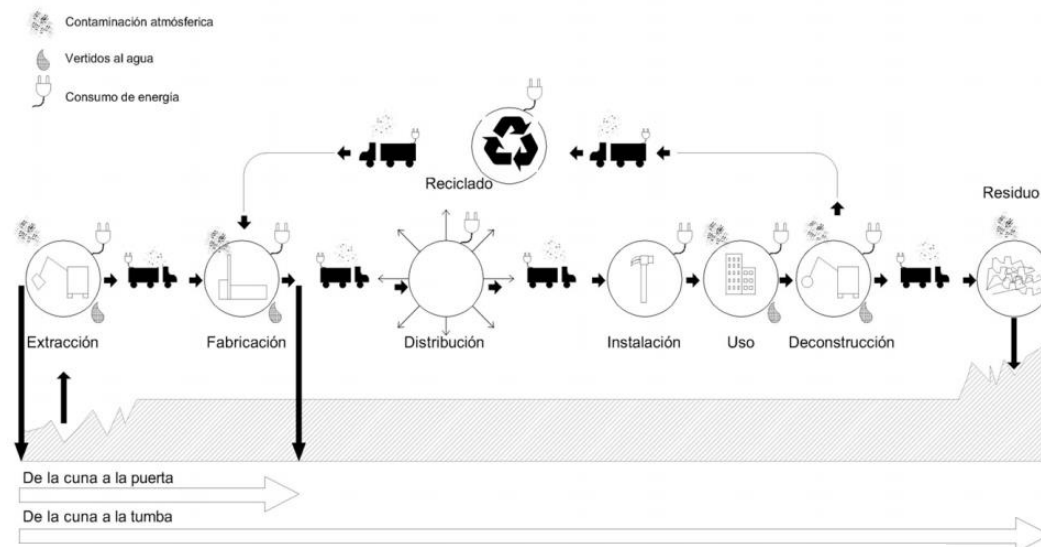


Figura 6. Análisis del ciclo de vida. Fuente GBCe 2011.



## 2.2. Nuevos materiales

Durante las últimas décadas ha ido aumentando la investigación en el campo de la arquitectura sobre nuevos materiales y sistemas de fachadas motivados por, entre otras cosas, el cambio climático y la crisis medioambiental. La necesidad creciente de ser más responsables con el medio ambiente ha generado la búsqueda de nuevos métodos de construcción más eficientes, rápidos, sostenibles.

La prefabricación está tomando una relevancia cada vez mayor a la hora de construir pues los materiales que salen de las fábricas ya dispuestos para ser incorporados a la obra reúnen unas características más exactas debido a que se realizan ensayos en las mismas. Además de que a la hora de la propia producción se realiza un mayor aprovechamiento de las materias primas, generando menos residuos con nuevas técnicas digitales como podrían ser los cortes asistidos por ordenador.

La desmasificación de los muros y su división en múltiples capas ha hecho que estas tengan que reunir las diferentes características que antes se le encargaban exclusivamente a la masa del muro portante. Por esto, las nuevas envolventes cada vez han ido variando más su estética y su apariencia exterior, ya que en ocasiones este es su único cometido, aunque en muchos otros casos se buscan materiales multifuncionales.

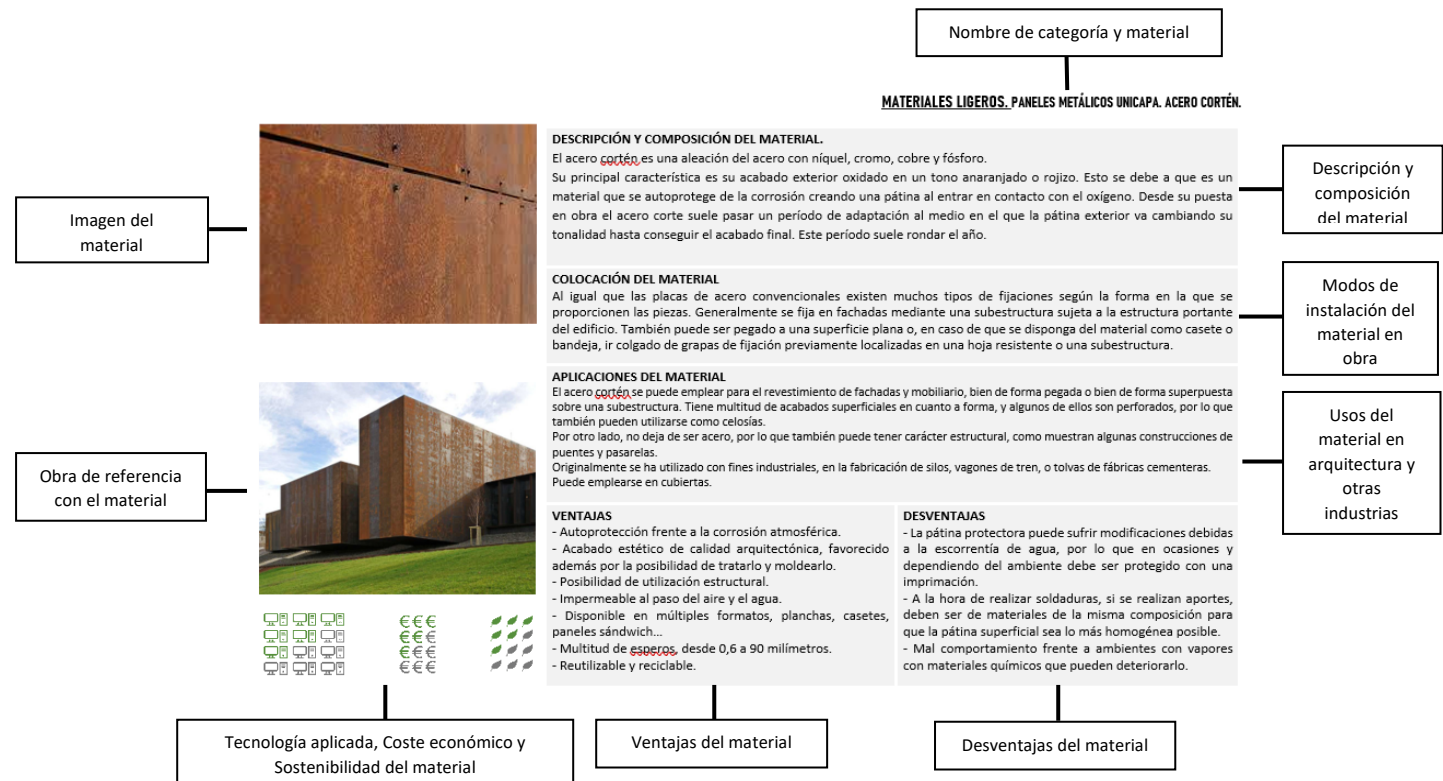
Se podría decir que se siguen utilizando los mismos materiales que se han utilizado históricamente para las envolventes de los edificios, (madera, piedra, cerámica, vidrio) aunque también se ha introducido un nuevo material que se emplea cada día más y en más ámbitos distintos, los polímeros. Aunque la base de los materiales sea la misma que se ha empleado tradicionalmente, su producción en serie en fábricas ha propiciado que estos se hayan perfeccionado, mediante la incorporación de aditivos.

Por otro lado, la puesta en obra ha pasado de ser prácticamente en su totalidad in situ, a ser una fabricación en taller con un montaje final en obra mucho más meticuloso, con mano de obra mucho más especializada y que el proceso de la construcción sea mucho más rápido, sencillo y con el empleo de menor cantidad de energía.

La lista de materiales que se han ido añadiendo a la arquitectura en los últimos años es prácticamente infinita y cada vez se investigan más sistemas y materiales. En este apartado se va a nombrar algunos de los más utilizados, así como de los más novedosos que se están incorporando y en los que se está investigando.

Además, se va a enumerar una serie de sistemas de fachadas modernas que se están empleando y a explicar sus características y funcionamiento, analizando sus ventajas y desventajas dentro de la arquitectura, de la economía y de la sostenibilidad.

La metodología para el muestreo de estos materiales de construcción se va a llevar a cabo por medio de fichas explicativas, cuya organización se expone a continuación y se encontrarán en este trabajo, en el ANEXO I.



## 2.3. Nuevos sistemas de fachada

Además de los materiales vistos anteriormente, entre los que había algunos muy novedosos, y que incluso aún son de escasa utilización por estar en fases prototípicas y ser compleja su estandarización, también existen sistemas de fachadas que se han ido realizando en los últimos años.

Al igual que con los materiales, hay algunos sistemas de los que se van a enumerar que tampoco están muy implementados en la arquitectura “convencional”, sino que están en fase de experimentación. Mientras, otros de estos sistemas llevan realizándose bastantes años y son los que más estandarizados se encuentran en la actualidad.

En este apartado se va a realizar una enumeración de algunos sistemas de fachadas y sus características principales, los materiales que las pueden componer y una breve explicación de posibles montajes.

### 2.3.1. Fachadas ventiladas

La fachada ventilada es un tipo de sistema constructivo de fachadas el cual incorpora en los cerramientos una cámara abierta dispuesta entre las dos hojas principales que la conforman por la cual discurre el aire que accede a ella tanto desde el arranque y coronación de la fachada como de los posibles huecos que se puede disponer entre los elementos que forman la hoja exterior de revestimiento.

Este tipo de sistema apareció en la construcción ya en el siglo XIX con la separación de las hojas masivas de materiales pétreos en dos hojas menos gruesas trabadas entre sí dejando una cámara entre ellas.

El sistema se generalizó hacia los años 60 con la mejora de las hojas externas más ligeras, pero no es hasta los años 90, hasta que no se generaliza su utilización y se convierte en el sistema más empleado para la realización de fachadas de edificios de todo tipo de usos.

Los componentes que forman la fachada ventilada son muy conocidos y se muestran en la (Figura 7).

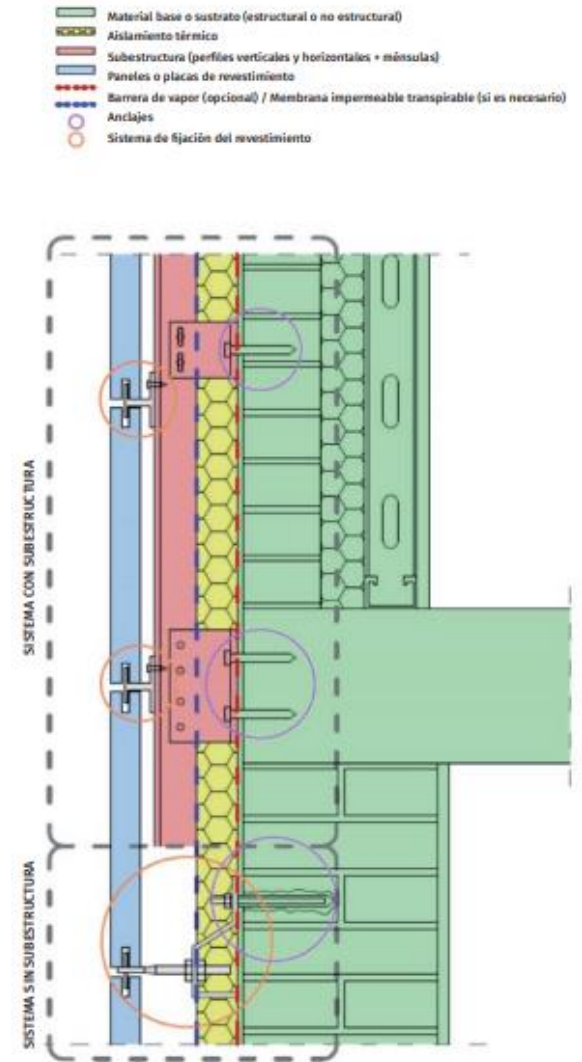


Figura 7: Componentes de fachada ventilada. Fuente: Manual de fachadas ventiladas de ASEFAVE

## a. Comportamiento de las fachadas ventiladas. Ventajas y desventajas

En cuanto a ventajas de las fachadas ventiladas:

- Comportamiento térmico. La fachada ventilada permite un aislamiento térmico continuo a lo largo de toda la superficie del cerramiento, lo que supone la supresión de los puentes térmicos. Además, protege a los elementos estructurales de los cambios bruscos de temperatura que pueden generar estrés sobre ellos.

Comportamiento en verano. La mayor parte del calor es reflejada por el acabado exterior. Otra parte del calor accede a la cámara y por medio de convección natural asciende y sale. Esto reduce las ganancias internas casi en su totalidad.

Comportamiento en invierno. El calor del interior se mantiene debido a que el aislamiento térmico, fijado a la hoja interior evita que se escape. Además, la cámara de aire permite que no aparezcan condensaciones.

- Comportamiento acústico. Tanto el material exterior, como la cámara, el aislante y el material base de sujeción aumentan el aislamiento y atenúan el ruido exterior aéreo.

- Estanqueidad. La barrera principal es el acabado exterior. Una vez superada esta en caso de que eso se produzca, la ventilación de la cámara se encarga de secar el aislamiento en caso de que este haya sufrido alguna humectación.

- Protección solar. La piel exterior evita la entrada de la mayor parte de la radiación, y la que accede a la cámara es extraída en su mayor parte por la ventilación de la cámara.

- Comportamiento frente al fuego. En el peor de los casos, una vez el fuego salga por los huecos de la fachada debido a los huecos que son el punto más débil, el comportamiento de la fachada dependerá de la estanqueidad de la cámara por la que puede introducirse el fuego y ascender a las plantas superiores. También puede ser un problema la protección de los elementos que componen la fachada, tanto anclajes, como paneles de acabado, pues pueden deformarse debido a la acción de las llamas y producir desprendimientos.

- Comportamiento frente al viento. Las fachadas ventiladas evitan la pérdida de energía que podría suponer la mezcla de temperaturas con vientos fríos, siendo un sistema considerado impermeable.
- Permite gran cantidad de formas de diseño.
- Disminuye costes de acondicionamiento, mantenimiento y limpieza.
- Posibilita la sustitución de elementos individuales del material de acabado una vez sufran desperfectos.
- Los tiempos de ejecución son relativamente cortos en relación con las fachadas tradicionales, debido a la estandarización de las técnicas desarrolladas en la actualidad.
- Solución eficiente como método de rehabilitación de fachadas.

En cuanto a lo referido a las desventajas de este tipo de fachadas se procede a enumerar algunas de ellas.

- Coste económico mayor que en una fachada convencional.
- Posibles desprendimientos de piezas.
- Las fachadas de piedra puede sufrir cambios tras su exposición prolongada a climas húmedos.
- Las zonas inferiores necesitan refuerzos frente a impactos.
- Riesgo de transmitir el fuego por la cámara de aire.
- En determinados sistemas es complicado la sustitución de piezas dañadas.

### b. Clasificación y tipologías de fachadas ventiladas

No existe una clasificación cerrada de tipos de fachadas ventiladas (Figura 8), pues hay muchas posibilidades de variar entre todas las opciones que hay en el mercado (Tabla 3).



Figura 8: Clasificación de las fachadas ventiladas según sus componentes. Fuente: Manual de fachadas ventiladas de ASEFAVE

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

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

Tabla 3: Clasificación de fachadas ventiladas según revestimientos, fijaciones y anclajes. Fuente: Manual de fachadas ventiladas de ASEFAVE

### 2.3.2. Fachadas vegetales

Se consideran las fachadas vegetales las que, como su nombre indica, incorporan un acabado exterior vegetal. Estas fachadas son recubrimientos exteriores que se adosan a las fachadas convencionales de los edificios, aportándole un acabado estético mucho más llamativo y ecológico.

La fachada vegetal tiene su origen en la arquitectura vernácula, donde una vez construidas las edificaciones con materiales más clásicos como la piedra o la madera, éstas se recubrían por tierra para que les proporcionara aislamiento térmico de forma natural. Pasado el tiempo sobre este recubrimiento se desarrollaba la vegetación de forma natural.

Las fachadas vegetales son un sistema que se ha venido implementando en la arquitectura a partir de los años 80 del siglo pasado. El incremento de su empleo y la investigación sobre este tipo de fachadas se ha visto fomentado por la concienciación que se está tomando con respecto a la situación medioambiental de las ciudades y a la sostenibilidad en la arquitectura.

Otra de las cuestiones que ha fomentado este desarrollo es el exceso de pavimentación urbana que se ha realizado en las grandes (y no tan grandes) urbes. Este exceso ha propiciado la eliminación de vegetación en la ciudad y la eliminación de suelo permeable para su implantación. Una alternativa frente a esta falta de suelo es la cubierta vegetal, con más desarrollo a lo largo del siglo pasado con los precursores del Movimiento Moderno como uno de los principios de su arquitectura. Otra posibilidad es la construcción de las fachadas vegetales.

#### **Clasificación de diferentes sistemas de fachadas vegetales y sus respectivas ventajas y desventajas.**

En los últimos tiempos la fachada vegetal se ha ido convirtiendo en algo muy de actualidad, haciendo que aparezcan multitud de patentes, cada cual, con sus pros y sus contras, como se procede a enumerar a continuación.



Imagen 14: Sistema de cables trenzados. Fuente: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/fachadas-verdes-sistema-de-cables-trenzados>



Imagen 15: Sistema de enrejado modular. Fuente: [https://www.air-garden.com/jardinaria-vertical-private-house-madrid-spain/?\\_gallery=gg-98-920](https://www.air-garden.com/jardinaria-vertical-private-house-madrid-spain/?_gallery=gg-98-920)



Figura 9: Sistema de enrejado modular. Fuente: [https://www.air-garden.com/jardinaria-vertical-private-house-madrid-spain/?\\_gallery=gg-98-920](https://www.air-garden.com/jardinaria-vertical-private-house-madrid-spain/?_gallery=gg-98-920)

## a. Fachadas vegetales como segunda piel

Este tipo de fachadas estarían incluidas en las que se consideran las fachadas tradicionales, lo que, a diferencia de ellas, se les crea una subestructura que actúe como guía a lo largo del crecimiento de las plantas. Dentro de esta categoría encontramos varios sistemas:

- **Sistemas de cables trenzados.** Este sistema consiste en la disposición de una malla metálica o varillas de acero inoxidable que se fija a la fachada del edificio y por la cual la planta va trepando de forma natural (Imagen 14). Este sistema no necesita sistemas de riego debido a que la planta crece desde el suelo.

Ventajas: El coste de la instalación es bajo y requiere escaso mantenimiento y además es reciclable. La subestructura de acero inoxidable es muy resistente a la corrosión y el sistema es fácil de instalar. Proporciona sombreado a la fachada, que evita su sobrecalentamiento.

Desventajas: Bajo aislamiento térmico y acústico, escasa protección a la radiación solar y las inclemencias del tiempo y el sistema tarda mucho en recubrir la fachada. Además, este tipo de plantas son invasoras, por lo que pueden generar defectos en la fachada del edificio a la larga.

- **Enrejados modulares** (Imagen 15). El sistema consiste en la disposición de un macetero tridimensional modular que se ancla mediante una subestructura metálica a la fachada del edificio. Se compone de unos contenedores adaptables (Figura 9) que se colocan en la subestructura metálica. Además, introduce sensores de temperatura y humedad para el mantenimiento de las plantas sin que haya desperdicio de agua, además de los correspondientes conductos y cableados para que estos actúen.

La colocación se produce cuando las plantas ya han alcanzado un nivel óptimo de desarrollo y pueden sobrevivir dentro del sistema de fachada.

Ventajas: El crecimiento es de 10 veces más rápido que en el sistema tradicional de mallas metálicas. Además, es posible la extracción de los maceteros para el correcto visionado de las plantas.

Desventajas: Aunque el crecimiento sea más rápido que el de los sistemas de malla metálica, también se necesitan años de espera para la cobertura completa de la fachada. El aislamiento y la protección de la fachada son bastante limitados. Por otro lado, la introducción de sensores y actuadores para el riego y monitoreo automático del sistema incrementa el precio y el consumo.



- **Fachadas vegetales invernadero.** El sistema, desarrollado en una patente, está en una fase prototípica, pero la idea principal es la de actuar como una fachada completa, a modo de acristalamiento con una celosía vegetal delante (Imagen 16).

El sistema consiste en tres hojas (Figura 10 y Figura 11): La exterior se compone de unas lamas de policarbonato montadas en un marco metálico y practicables a través de un sistema domótico para el paso del aire al interior del invernadero. La capa intermedia consiste en una subestructura metálica en la que se disponen las plantas, situadas en maceteros hechos de plástico reciclado. Esta capa cuenta con monitoreo de temperatura y humedad, así como circuitos de riego automático. La tercera capa la compone una carpintería practicable convencional, a través de la cual los usuarios del edificio pueden tratar las plantas, además de que es la entrada de ventilación del recinto.

**Ventajas:** El sistema tiene un comportamiento climático muy positivo. En verano se encarga de filtrar los rayos del sol y como es practicable puede abrirse para que el frescor de la vegetación y la humedad aporten frescor al interior del edificio. En invierno con la pérdida de las hojas las plantas dejan pasar la luz del sol, además que actúa como invernadero, generando una cámara que recoge el calor exterior sin dejarlo salir, calentando el interior y produciendo un ahorro energético.

Estéticamente es atractivo tanto al interior como en el exterior y debido a su forma modular, tiene fácil instalación como panel de fachada.

**Desventajas:** El sistema está en estado de estudio debido a que es novedoso y se está estudiando su funcionamiento y posibles mejoras y problemas.

- **Fachadas deslizantes.** El sistema consiste en unos paneles deslizantes que actúan a forma de contraventana en las fachadas de los edificios (Figura 12). Por medio de estos paneles podemos modificar las condiciones higrotérmicas y climatológicas del interior del edificio.

Los paneles se realizan mediante un marco de aluminio colgados de unos perfiles del mismo material con ruedas que permiten su deslizamiento. En la parte inferior se dispone una jardinera donde se encuentra el sustrato y a la que llega el agua de riego procedente de una toma en fachada. En la jardinera se disponen las plantas que serán escogidas en función de la orientación y la climatología del edificio. Estas plantas serán de tipo trepador e irán desarrollándose hacia arriba siguiendo unos clavos helicoidales que llegan hasta el perfil superior del marco.

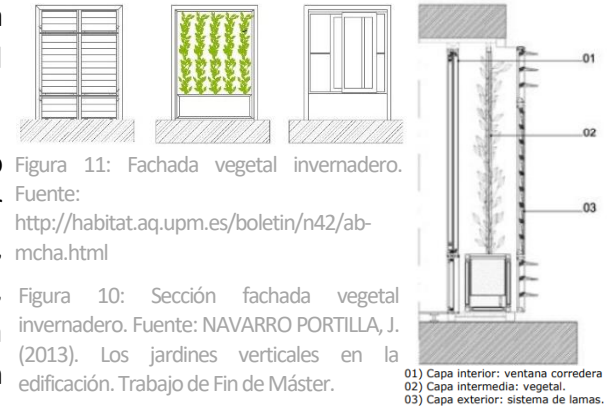


Figura 11: Fachada vegetal invernadero. Fuente: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n42/abmcha.html>

Figura 10: Sección fachada vegetal invernadero. Fuente: NAVARRO PORTILLA, J. (2013). Los jardines verticales en la edificación. Trabajo de Fin de Máster.



Imagen 16: Imagen prototipo fachada vegetal invernadero. Fuente: <https://inarquia.es/fachadas-vegetales-sistemas-constructivos/>

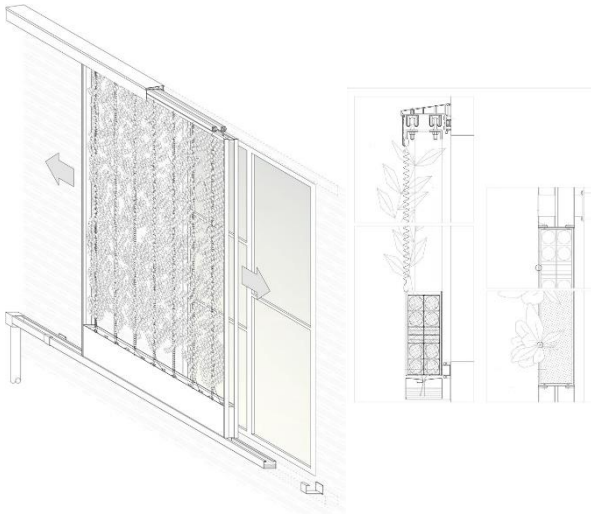


Figura 12: Axonometría y sección de fachada vegetal deslizante. Fuente: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n42/ab-mcha.html>

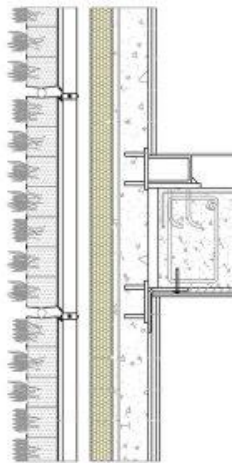


Figura 13: Sección constructiva del sistema de cajas metálicas. Fuente: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n42/ab-mcha.html>

**Ventajas:** Climatológicamente los paneles funcionan de forma similar a los del sistema invernadero nombrado anteriormente. Filtran la luz y la radiación en épocas cálidas y al perder las hojas en invierno permiten el correcto acceso de la iluminación al interior.

El método de montaje es modular y estandarizado, lo cual lo hace fácil y rápido.

**Desventajas:** Los paneles necesitan una hoja de soporte de fachada lo suficientemente resistente para ser colgados y poderse desplazar por ella sin causar daños. El mantenimiento de este sistema y de las plantas es importante, así como la gestión del agua de riego y como se realice ésta, pues debe ser posible acceder a las plantas por ambos lados, la limpieza y demás.

## b. Sistemas con plantas precultivadas

Sistemas compuestos de subestructuras metálicas ligeras, fijadas a una hoja resistente en los que se incorporan los moldes o macetas plásticos con el correspondiente sustrato y en los que se disponen las plantas. Los sistemas de riego se realizan por goteo de forma automatizada camuflándose este entre la vegetación.

- **Sistemas vegetados en cajas metálicas.** El sistema cuenta con una instalación similar a la de una fachada ventilada convencional a la que se le sustituye la hoja exterior por un panel vegetal (Figura 13). Este panel se encuentra fijado mecánicamente mediante una subestructura metálica de montantes y travesaños, la cual separa el panel vegetal y permite la disposición en la hoja de soporte de una hoja de aislamiento térmico y una cámara de aire (Figura 14).

Los paneles se componen de módulos, a modo de bandejas de base metálica, en los cuales se introducen moldes de plástico con el sustrato correspondiente y con las plantas precultivadas. Las plantas empleadas son escogidas en función de la localización y orientación de la fachada.

El sistema de riego se produce por goteo automático desde la superior de cada panel, de modo que va adentrándose en los moldes por capilaridad, y una geotextil se encarga de mantener el sustrato.

**Ventajas:** Térmicamente funciona como una fachada ventilada por lo que los beneficios son considerables con respecto a ahorro energético y eliminación de puentes térmicos. Además, purifica el aire y refrigera la fachada, empleando un sistema de montaje bastante conocido.

**Desventajas:** El sistema es costoso y considerablemente pesado para la hoja de soporte. Las plantas, de pequeño formato son de limitadas especies para este tipo de fachadas. Es necesario riego permanentemente debido a que la densidad muy alta de las plantaciones no permite la entrada del agua de lluvia.

Por otro lado, hay que tener cuidado con tormentas pues pueden provocar la caída del sustrato. Además, pueden requerir cambios de bandejas por crecimiento irregular de las plantas, haciendo que el sistema no quede con la imagen deseada.

- **Sistemas de paneles vegetales en celdas drenantes.** Se trata de unos paneles modulares de plásticos reciclado en su 85%, cuyo 90% de su volumen es vacío. El panel se envuelve con una lámina y posteriormente se cuelga de la subestructura metálica dispuesta en el paramento. Una vez se cuelga se le realizan aperturas a la lámina y se injertan las especies vegetales previamente cultivadas (Imagen 17).

El riego se realiza por goteo automático mediante mangueras dispuestas en la parte trasera del panel que posteriormente incorporan un sistema patentado de microtubos que se introducen en el panel. El agua sobrante se recoge en canalones de remate dispuestos en la parte inferior del panel.

**Ventajas:** Los paneles proporcionan aislamiento térmico y acústico al edificio, además de filtraciones de rayos UV y del aire contaminado. Cuenta con un diseño modular y de fácil instalación, proporcionando libertad de diseño y facilidad para la sustitución de plantas sin ser desmontado. El sistema de riego automático tiene su propia patente y además los paneles están hechos con plástico reciclado.

**Desventajas:** La inversión inicial es considerablemente cara. Las plantas de este sistema debido a que los paneles miden en torno a 5 centímetros de espesor no pueden ser de gran formato y tardan en cubrir el panel.

La subestructura metálica necesita ser tratada ante la corrosión por la exposición continuada a la humedad.

- **Gaviones metálicos.** Este sistema consiste en la realización de una fachada ventilada sujeta por perfiles omega metálicos, los cuales se fijan a la fachada portante y además permiten disponer entre ellos y el sistema un aislante térmico y una cámara ventilada (Figura 15). Los paneles propiamente dichos se componen, en su parte trasera de un panel de celdas como los nombrados en el apartado anterior en el que se introducen las plantas con sustratos y el sistema de riego. Delante de este panel se incorpora una capa de áridos ligeros de entre 6 y 9 cm de diámetro. Todo el sistema está dispuesto en una malla metálica electrosoldada, cuadrículada, y debidamente protegida frente a la intemperie, conteniendo todo el conjunto, generando paneles (Imagen 18).

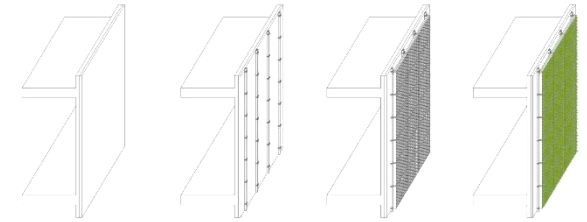


Figura 14: Instalación de sistema de cajas metálicas. Fuente: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n42/ab-mcha.html>

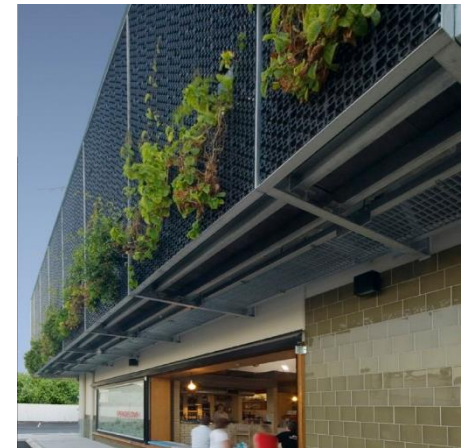


Imagen 17. Sistema de paneles plásticos de fachada vegetal. Fuente: <https://atlantisaurorambiental.cl/productos/jardines-verticales/gro-wall-facade/>

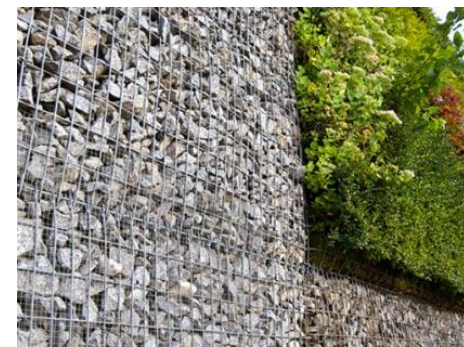


Imagen 18. Sistema de fachada vegetal de gaviones. Fuente: <https://vilssa.com/foto-muro-de-gaviones-muro-vegetal>

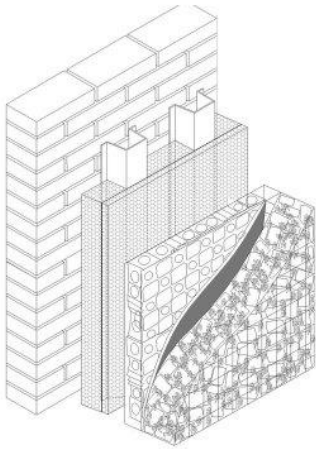


Figura 15. Axonometría constructiva del sistema. Fuente: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n42/ab-mcha.html>

El panel se cuelga mediante perfiles angulares a los omegas de la pared y los paneles entre sí se enlazan mediante un atado con alambre.

Las plantas escogidas son rupícolas de tipo trepador que tienen facilidad para crecer entre las piedras que forman el gavión. De este modo, durante el tiempo que tardan en desarrollarse las plantas hasta aparecer y ocultar las piedras del gavión tenemos un acabado interesante formado por la piedra.

**Ventajas:** En cuanto a su comportamiento frente al clima, nos aporta las ventajas de una fachada ventilada convencional, añadiendo además el alto aislamiento acústico de la piedra y la estética del conjunto. Además, se encarga del filtrado del aire contaminado y de los rayos ultravioleta incidentes en el paramento.

**Desventajas:** El peso es muy elevado y el montaje muy elaborado. Además, la posibilidad de sustitución de las plantas es compleja por quedar estas en la parte trasera del panel y el tiempo que tardan en llegar a cubrir el gavión puede llevar mucho tiempo. El alambre empleado, debe estar tratado para que no se corroa

### c. Sistemas hidropónicos

Este sistema novedoso en la construcción de fachadas vegetales consiste en la eliminación de la utilización en la fachada de tierra vegetal con sustratos que fomenten el crecimiento y la supervivencia de las plantas (Imagen 19).

Para su instalación es necesaria la correcta impermeabilización del paramento en el que se va a colocar la fachada vegetal. Posteriormente se coloca una subestructura metálica sobre la que se fijan mecánicamente unas láminas en las que van dispuestas las plantas seleccionadas en función de la localización y orientación de la fachada.

El sistema de riego es el elemento fundamental de este tipo de fachadas pues es mediante él, la forma en la que se le proporcionan los sustratos a las plantas, de forma disuelta, por medio de una sectorización meticulosa. El agua sobrante se recoge y es tratada y recirculada para que el sistema siga funcionando.

**Ventajas:** La principal ventaja de este sistema, es su ligereza, debido a la eliminación de la tierra vegetal, y la posibilidad de generar un paisaje natural en una pared vertical. Térmica y acústicamente es aislante, además de proteger el edificio de sobrecalentamientos y refrigerándolo y purificando el aire contaminado.

**Desventajas:** Tiene un coste de instalación elevado debido a la cantidad de elementos de bombeo y filtrado que necesita. Por otro lado, necesita mantenimiento constante pues la pérdida de nutrientes puede provocar una muerte de las plantas en un período muy escaso de tiempo. La instalación por otro lado es muy compleja y debe ser realizada por personal cualificado.

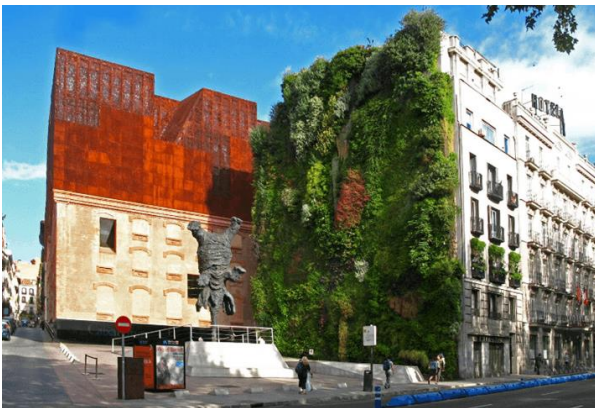


Imagen 19. Fachada hidropónica Caixa Forum. (Madrid). Fuente: <https://zonaretiro.com/eventos/taller-jardin-vertical-caixa-forum/>

### 2.3.3. Fachadas biosensibles

La búsqueda de soluciones arquitectónicas ingeniosas e innovadoras nos da a conocer con frecuencia sistemas que se investigan como soluciones sostenibles y beneficiosas para los edificios y sus usuarios. Generalmente muchos de estos proyectos se quedan en hechos aislados o en simples patentes por falta de desarrollo, inversión o viabilidad. A continuación, se enumeran dos casos de sistemas innovadores de fachada que actúan sin conexiones y de forma semiindependiente. Estos sistemas pertenecen a la **arquitectura bio-reactiva**.

#### a. Fachadas de microalgas bio-reactivas

Este proyecto se realizó en asociación entre el SCC alemán, Colt International y Arup. Consiste en un sistema de paneles de revestimiento de fachadas con la capacidad de generar energía renovable a partir de biomasa de algas y energía solar térmica (Imagen 20).

**Funcionamiento.** Los paneles fotobioreactivos (PBR), se disponen en los paramentos en los que más incide el sol. En el interior de los paneles se encuentran implantadas microalgas. Debido a la incidencia solar sobre estas algas, realizan la fotosíntesis y crecen, proporcionando un sombreado natural a la fachada y evitan su sobrecalentamiento.

Además de la fotosíntesis, las algas producen biomasa al insuflarles mediante conductos gas y CO<sub>2</sub>, que estimulan su reproducción y generando esta biomasa que puede ser empleada para reducir el consumo de combustibles convencionales del edificio, pudiendo llegar a solventar 1/3 de la demanda de agua caliente que requiere el edificio. Esta energía se lleva a una central de gestión y tratamiento, y luego puede ser empleada en el calentamiento de agua caliente sanitaria y calefacción. Para el mantenimiento de los paneles se les introduce agua con sustancias limpiadoras que permiten la limpieza del interior del panel (Figura 16).

#### b. Water-Reaction

Es un sistema de protección frente a la lluvia patentado por Chao Chen quien, estudiando las piñas, observó que éstas se abrían frente al sol y se cerraban frente a la lluvia, protegiendo los piñones.

Así pues, aplicando a telas una serie de capas de barniz y una película protectora, consiguió que el material reaccionara frente al cambio de humedad y temperatura.

El material está en fase de estudio, pues es necesario saber la durabilidad que tiene, los ciclos de mojado que es capaz de soportar y la resistencia a los cambios bruscos de temperatura y viento que puede desarrollar.



Imagen 20. Edificio de experimentación de paneles de microalgas biosensibles.

Fuente: <https://arquitecturayempresa.es/noticia/fachada-biosensible>

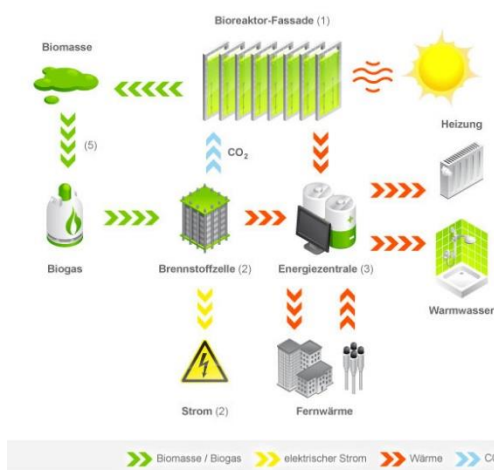


Figura 16. Funcionamiento de paneles de microalgas. Fuente: <https://arquitecturayempresa.es/noticia/fachada-biosensible>

### 2.3.4. Fachadas de membranas tensadas



Imagen 21. Jaima árabe tradicional.

Fuente: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jaima\\_arabe.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jaima_arabe.JPG)

Comúnmente es confundido el término arquitectura textil con arquitectura tensada, debido a un problema que se ha dado en la traducción del inglés al español. No toda la arquitectura tensada esta realizada mediante materiales textiles y no toda la arquitectura textil está tensada.

Uno de los ejemplos más arcaicos de arquitectura tensada es la jaima utilizada en las poblaciones nómadas de los países árabes (Imagen 21). Compuesta por una serie de mástiles sobre los que se dispone una tela de cubrición y posteriormente se fija mediante clavos al suelo.

El desarrollo de este tipo de construcción se produjo hacia el siglo XIX, cuando se empezó a implementar en los circos con la aportación de materiales de cubrición impermeables denominados membranas. Este método de construcción permitía la cubrición de espacios de muy grandes luces, de una forma muy ligera y una ejecución muy rápida. Otra característica de este tipo de construcción es la posibilidad de ser plegable, algo que le da un valor añadido. Uno de los arquitectos que mayor desarrolló este tipo de arquitectura fue el alemán Frei Otto (Imagen 22).

*“En la actualidad la arquitectura textil se ofrece como una buena alternativa por eficiencia energética (protección solar, ahorro en iluminación artificial, acabados de baja emisividad, membranas con células fotovoltaicas flexibles) y uso de materiales cada vez más sofisticados, ecológicos y reciclables: el ETFE, los revestimientos de flúor, de dióxido de titanio, las membranas reciclables, biodegradables, bactericidas para usos sanitarios, etc.” (Tejera, 2012)*



Imagen 22. Estadio Olímpico de Múnich. Frei Otto.

Fuente: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/estadio-olimpico-de-munich/>

Actualmente se busca alcanzar la optimización estructural mediante soluciones mixtas en estabilización de cubiertas:

- Tensegrity: Desde los años 50. Mástiles comprimidos estabilizados con cables tensados.
- Tensairity: Más reciente. Estructuras mixtas neumáticas reforzadas por elementos rígidos que aumentan la resistencia a compresión y cordones inferiores que resisten las tracciones, y en ocasiones elementos de conexión entre ellos que transmiten las cargas entre sí reduciendo la flexión. Muy ligeros y que salvan grandes luces.
- Estabilización de cubiertas mediante subpresión, extracción del aire en vez de aporte. Poco desarrollados.
- Fachadas ventiladas ligeras como método de protección solar, mejora de eficiencia energética, sombreado, con multitud de posibilidades en la forma de acabado empleando, bien bastidores prefabricados, o bien subestructuras sobre la fachada.

Con bastidores prefabricados: ventajas en prefabricación, ahorro de material y rapidez de montaje y costo más alto como desventaja.

Con subestructura de fachada: Más barato y con posibilidad de crear paños mayores, pero con la desventaja de una más lenta ejecución y un sobredimensionado de las subestructuras para el tensado de las membranas.

### a. Tipos estructurales

**Tensoestáticas:** Estabilizan la membrana mediante tracción de anclajes en los bordes. Se generan por medio de tensionar dos cables, uno hacia arriba y uno hacia abajo, que convergen en un punto y generan una curvatura de sentido opuesto en cada punto (anticlástica). Subtipos:

- Membranas tensadas, en las que la membrana es estructura y cerramiento.
- Mallas de cables, que hacen de estructura, mientras que otro material hace de cerramiento (Imagen 23).

**Presostáticas:** Estabilizan la forma por medio de añadir presión de aire. Se generan formando dobles curvaturas del mismo sentido en cada punto (sinclásticas). Subtipos:

- Cubiertas de una capa estabilizadas aportando presión al ambiente interior (Imagen 24).
- Construidas por cojines neumáticos de dos o más capas con mayor presión en su interior que la ambiental.

En todos los casos la forma juega un papel crucial en la estabilidad de la cubierta.

### b. Aplicaciones de la arquitectura de membranas tensadas

Aunque este sistema constructivo sea relativamente moderno y no convencional, sus aplicaciones son muy variadas: Cerramientos y cubiertas, cubrición de espacios exteriores, control solar de fachadas, acondicionamiento higrotérmico, absorción acústica, iluminación, particiones interiores, obras de arte, mobiliario, ...

### c. Proceso de diseño

Cuando se obtiene la forma deseada de la construcción, debe someterse a un análisis estático en el que se le aplican las cargas a las que se supone que va a estar sometido una vez construido en el lugar correspondiente. Además de este análisis, hay que realizar ensayos de prueba con el material de cubrición que se va a emplear para ver las deformaciones que puede sufrir debido a estas cargas. Una vez obtenidos los datos de estos procesos se puede dimensionar tanto la membrana como los elementos estructurales y la cimentación.

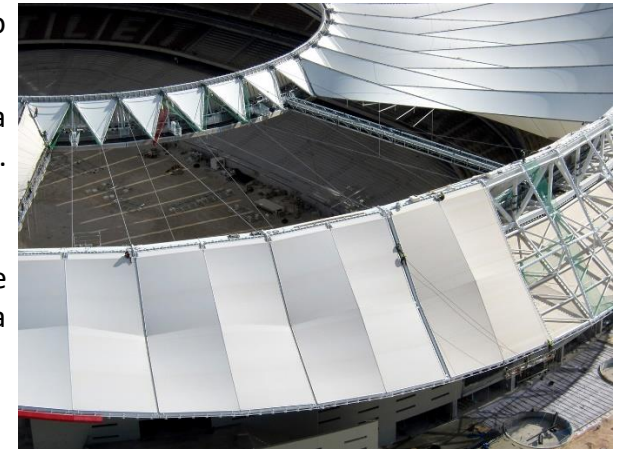


Imagen 23. Cubierta tensoestática del estadio Wanda Metropolitano. Cruz y Ortiz.

Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/877580/este-timelapse-revela-como-se-levanto-la-cubierta-del-wanda-metropolitano-en-madrid>



Imagen 24: Instant City. Jose Miguel Prada Poole. Ibiza (1971). Fuente: <https://www.archdaily.mx/mx/917349/la-arquitectura-de-prada-poole-por-que-esto-es-asi-y-no-de-otro-modo>



Imagen 25. Pasarela para esquiadores de 52 m de luz en Lanslevillard (Francia). Fuente: <https://tectonica.archi/materials/sistema-estructural-con-elementos-neumaticos/>

En cuanto a la membrana, debe realizarse con un patronaje, pues los materiales con los que se confecciona suelen disponerse en rollos de anchos limitados. Es importante la forma de tratar el patronaje que va a tener el diseño, en el que influyen sobre todo los solapamientos y soldaduras de las uniones, pues en estos puntos la superficie pierde transparencia y serán los que hagan reconocer el “dibujo” que se ha propuesto.

Los elementos que forman la estructura deben seguir con el ideal de ligereza del sistema constructivo. Los perfiles metálicos que mejor funcionan en este tipo de construcciones son los de sección circular. Las mallas de cables pueden ser muy pesadas en comparación de hacer la cubrición tensando y anclando directamente la membrana en los perímetros de las subestructuras. Se están patentando elementos neumáticos estructurales para reemplazar la estructura metálica (Imagen 25).

Los encuentros, anclajes y uniones son complejos en este tipo de arquitectura, debido a que cada proyecto toma geometrías diferentes con sus detalles constructivos particulares, aunque existen algunos tipos ya reconocidos.

#### d. Materiales de cubrición

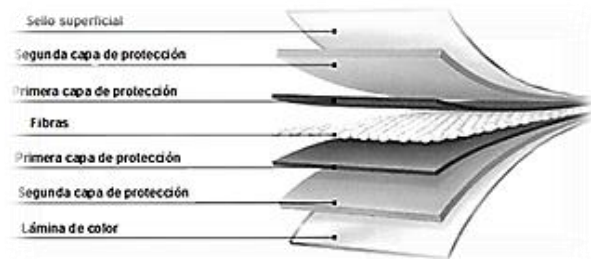


Imagen 26. Composición de membrana para estructura tensada. Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos81/futuro-aplicacion-tenso-estructuras-cuba/futuro-aplicacion-tenso-estructuras-cuba2.shtml>

Los materiales de cubrición de la arquitectura tensada se dividen en membranas y láminas. Las membranas se componen de una base de tejido resistente con un revestimiento plástico y una capa de acabado (Imagen 26). Las láminas por su parte resuelven todo mediante un único material plástico. A continuación, se muestran algunas de las características de estos materiales recogidas en la (Tabla 4).

Entre los factores más determinantes en la selección de material de cobertura, asociados a su composición, se encuentran: **coste, fragilidad, cantidad de estructura, comportamientos acústico y térmico, transmisión luminosa, color, durabilidad, mantenimiento y garantía y, por último, reacción frente al fuego** (Tabla 5).



	tejido	recubrimiento	características
membranas	HDPE (polietileno de alta densidad)*	LDPE (polietileno de baja densidad)	Baja resistencia a tracción –uso general en bastidores prefabricados– y a rayos UV. Bajo coste de material y de fabricación de membranas. Buena resistencia al ensuciamiento. Durabilidad 7-10 años. Reciclable.
	poliéster	PVC	Material estándar en arquitectura textil. Resiste el doblado en instalaciones temporales. Estabilidad media a rayos UV. Fácil de confeccionar e instalar. Su elasticidad permite absorber ligeros desajustes de fabricación. Translucidez hasta 40%. Requiere acabado protector del PVC y antiadherente (PVDF o acrílico; los acabados de PTFE y silicona no son aplicables por bajo punto de fusión del poliéster). Uniones por alta frecuencia. Coste moderado. Durabilidad hasta 20 años. Reciclable.
	fibra de vidrio	PTFE	Alta resistencia al fuego, al ensuciamiento y a los rayos UV. Translucidez hasta 20%. Su baja elasticidad requiere precisión en cálculo y patronaje, y evitar daños por doblado. Uniones térmicas. Coste elevado. Alta durabilidad (>25 años). No reciclable.
		silicona	Menor resistencia al ensuciamiento que con recubrimiento de PTFE y mayor flexibilidad y resistencia a daños por doblado. Bloquea los rayos UV-B y UV-C dañinos y deja pasar los UV-A esenciales para las plantas. Translucidez hasta 40%. Uniones por vulcanización. Su combustión no produce gases tóxicos. Durabilidad >20 años. Coste moderado. No reciclable.
	PVDF	PVDF (impermeabilización) o sin recubrimiento.	Alta durabilidad, resistencia al fuego, a los rayos UV y antiadherencia. Translucidez hasta 90%. Su gran elasticidad limita el uso a aplicaciones interiores. Coste elevado. Alta durabilidad (>25 años). Reciclable.
	PTFE (teflón)	PTFE (impermeabilización) o sin recubrimiento.	Alta resistencia al fuego y a rayos UV. Resiste el doblado en cubiertas plegables. Uniones por puntadas. Translucidez hasta 40%. Coste elevado. Reciclable.
	polímero		características
láminas	ETFE		Transparencia y antiadherencia. Resistencia y translucidez a rayos UV e IR (calentamiento por efecto invernadero). Baja resistencia a tracción. Uso general en cubiertas de cojines neumáticos de tamaño moderado, con maquinaria de presurización continua. Uniones por puntadas. Coste muy elevado. Alta durabilidad (>25 años). Reciclable.
	PVC		Baja resistencia a tracción. Muy alta elasticidad, adaptable a geometrías complejas, aunque inapropiado para instalaciones permanentes al exterior. Translucidez hasta 90%. Coste bajo. Baja reciclabilidad.

Tabla 4: Materiales de membranas y láminas y características. Fuente: “Construir con membranas” Javier Tejera Parra. Tectónica 36. Arquitectura textil (2012)

	PES-PVC Acrílico	PES-PVC PVDF	Fibra de vidrio- Silicona	Fibra de vidrio- PTFE	ETFE
RESISTENCIA A TRACCIÓN de trama/urdimbre (kN/m)	800 / 950	800 / 950	960 / 700	684/633	550
RESISTENCIA A DESGARRE de trama/urdimbre (kN/m)	115 / 100	115 / 100	100 / 100	100 / 100	200
MASA/unidad SUPERFICIE (g/m <sup>2</sup> )	500 - 950	500 - 1300	500 - 1300	500 - 1300	200 - 350
TRANSMITANCIA ÓPTICA (%)	10-15	10-15	<80	10-20	85
COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO	Combustible No inflamable	Combustible No inflamable	No combustible	No combustible	Combustible No inflamable
AUTOLIMPIEZA	Baja <sup>1</sup>	Media	Media	Alta	Muy alta
EXPECTATIVA DE VIDA (años)	15 - 20	15 - 20	>25	>25	>25
COSTE (€/m <sup>2</sup> )	3.5 - 5.5	5.5 - 11.5	50	55	30 - 120

(1) Necesita un tratamiento superficial

Tabla 5: Comparativa entre materiales empleados en membranas de arquitectura tensada. Fuente: TFG Mercedes Cerdá Talón. 2019

### 3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Llegados a este punto, y después de todos los temas que hemos tratado hasta ahora, se plantea una inmersión en el mundo de las tecnologías aplicadas a la arquitectura, intentando hacer una reflexión de como la arquitectura se está desarrollando y evolucionando, e incorporando los avances tecnológicos a la hora de llevar a cabo la construcción de obras que suponen un reto a la innovación.

Muchos de los materiales y sistemas anteriormente citados se ven envueltos en esta innovación, pero la mayoría de ellos actúan de una forma pasiva, esto es, resuelven los cometidos estrictos para los que han sido diseñados, de forma estática y pasiva, sin generar una interacción concreta ni con el medio en el que se sitúan, ni con los ocupantes de los edificios.

A partir de aquí aparece una nueva forma de actuar, en la que los edificios están programados para acometer unas órdenes previamente establecidas por sus ocupantes. O incluso ni eso, pues hay sistemas que actúan sin programación preestablecida.

En este último apartado vamos a hablar de la arquitectura paramétrica, en la que se desarrollan proyectos a través de análisis y procesamiento de datos mediante programas de ordenador que analizan unos parámetros introducidos por los proyectistas para la optimización de los sistemas.

Por otro lado, se va a tratar el tema de la arquitectura performativa, entendida esta como una arquitectura cambiante, que actúa e interviene en el lugar en el que es implantada y que además en buena parte está ligada a la arquitectura paramétrica digital.

Por último, en este apartado se va a tratar el tema de las fachadas programables de los edificios, o como dice el título de este trabajo, de las **fachadas que actúan como hardware**, entendido esto, como elementos que se instalan y se programan para ser ejecutores de unas ordenes determinadas. En este caso hablaremos de las cada vez más empleadas fachadas cinéticas y de las fachadas multimedia o mediales.

### 3.1. Arquitectura paramétrica

La introducción de todos estos procesos tecnológicos en la arquitectura desemboca en la aparición de la conocida como arquitectura paramétrica. Esta metodología se está implementando en los estudios más importantes a nivel mundial debido al desarrollo de los nuevos softwares disponibles, y la implantación de equipos técnicos mucho más desarrollados, acompañados de una creciente colaboración y, cada vez más dependiente, entre los arquitectos y los ingenieros de muy diversas especialidades.

Pero ¿en qué consiste la arquitectura paramétrica?, pues bien, la arquitectura paramétrica es la aplicación de una serie de parámetros medibles y analizables, por medio de algoritmos procesados por potentes ordenadores que, asisten a los proyectistas y los guían de una manera más o menos estricta a la hora de la realización, resolución y construcción de los proyectos.

Esta forma de proyección no tiene una forma directa ni una metodología concreta a seguir. Su finalidad es la de la correcta resolución de los proyectos, consiguiendo una optimización en cuanto a distintos parámetros considerados por los proyectos.

Este proceso de diseño asistido por ordenador incluye procesos digitales como pueden ser: Modelación constructiva, Programación geométrica, Optimización topológica, Simulación ambiental, Algoritmos genéticos t Fabricación digital. Para esto se cuenta con herramientas como pueden ser los programas CAD o BIM, Rhinoceros 3D, o el plugin de este llamado Grasshopper 3D. (García & Lyon, 2013)

#### 3.1.1. Proceso de diseño paramétrico

El diseño paramétrico está compuesto de una serie de fases o actividades (Figura 17), que se van combinando a lo largo del diseño y la ejecución, realizando los ajustes necesarios. Diferenciarlos contribuye a su desarrollo y generalización (Davis. Et al, 2011, como se cita en (García & Lyon, 2013)

**Condiciones iniciales.** Son los aspectos de partida, como pueden ser la situación o el encargo, aunque en ocasiones pueden darse condiciones nuevas tras obtener los primeros resultados. Las condiciones pueden ser desde la idea, desde la funcionalidad, desde el tamaño y la forma y pueden ser medibles y valoradas.

Estas condiciones deben poder conformar una serie de valores que permita su modelado y programación digital.

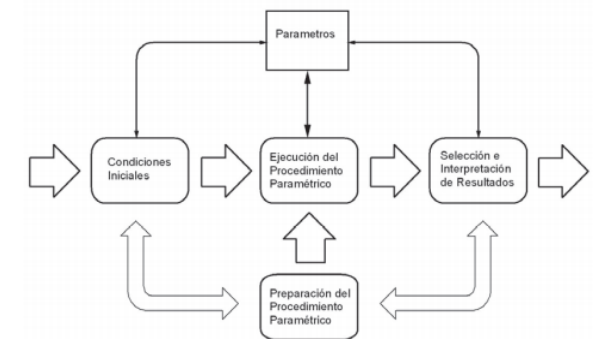
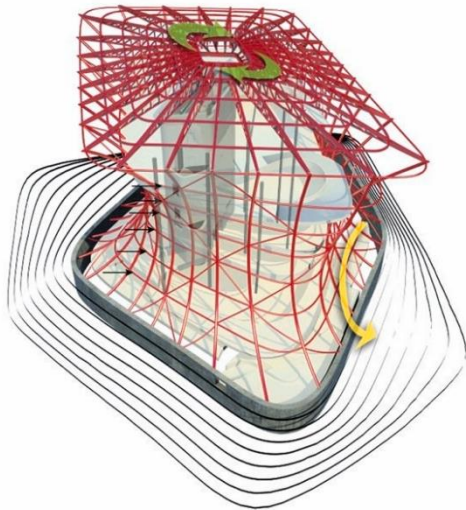


Figura 17: Proceso de generación de proyecto paramétrico. Fuente: García y Lyon (2013) Diseño paramétrico en Arquitectura; método, técnicas y aplicaciones. Vol. 3 Núm. 3: ARQUISUR REVISTA

**Parámetros.** Los parámetros expresan datos específicos en la arquitectura paramétrica, pudiendo variar todo en modelo en función de ellos y su modificación. Existen multitud de ellos (Tabla 6).



Parámetros Ambientales (PA)	Parámetros Globales (PG)	Parámetros Locales (PL)	Parámetros de Ejecución (PE)
<i>Datos geográficos:</i> topografía, vistas, tipos de suelo, etc.	<i>Dimensiones o proporciones generales:</i> rangos mínimos y máximos para largo, ancho, profundidad, curvatura, etcétera.	<i>Dimensiones o proporciones de componentes:</i> rangos mínimos y máximos para largo, ancho, profundidad, cantidad, etc.	<i>Dimensiones de producción:</i> tamaño de materiales y máquinas de ejecución.
<i>Datos climáticos:</i> orientación, temperatura, humedad, radiación, vientos, etc.	<i>Requerimientos funcionales:</i> prestaciones de confort, ergonomía, accesibilidad.	<i>Interacción con otros componentes:</i> condiciones de borde y respuesta a configuraciones adyacentes.	<i>Propiedades materiales:</i> rangos de resistencia o flexión.
<i>Situación contextual:</i> restricciones normativas de situación urbana, materialidad, tipología (aislado, pareado, torre, placa, etc.).	<i>Distribución global:</i> relaciones y topología interna.	<i>Respuesta a valores de análisis:</i> profundidad o espesor de las piezas según asoleamiento o solicitaciones estructurales.	<i>Características del producto:</i> color, textura, terminación, etc.
<i>Relaciones del entorno:</i> flujos peatonales, vehiculares, presencia de singularidades, referencias, etc.	<i>Condiciones expresivas:</i> Configuración de fachadas y materialidad.	<i>Condiciones formales:</i> Variación gradual entre componentes.	<i>Valores de aplicación:</i> costos del proyecto.
<i>Dimensiones del sitio:</i> Ancho y profundidad del lote, pendiente, límites de edificación.	<i>Restricciones técnicas:</i> crujiás y voladizos según sistema estructural.	<i>Requerimientos de montaje:</i> tipos de ensamblaje, unión y dilatación entre componentes.	<i>Dimensiones para transporte:</i> magnitudes de vehículos y operación.

Tabla 6: Parámetros en la arquitectura paramétrica. Fuente: Diseño paramétrico en Arquitectura; método, técnicas y aplicaciones. García y Lyon (2013)

Figura 18. Proceso de moldeado digital del Museo Soumaya en Ciudad de México (2010).

Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-56016/en-construccion-museo-soumaya-ciudad-de-mexico-lar>

**Preparación del procedimiento paramétrico.** El procedimiento paramétrico es la computación de una serie de datos que generan una geometría mediante la aplicación de una serie de algoritmos. Estos procedimientos se visualizan y gestionan a través de herramientas como Grasshoppers<sup>1</sup>. La preparación, en definitiva, consiste en hacer una programación y comprobación de resultados a partir de unos datos genéricos.

**Ejecución del procedimiento paramétrico.** En la ejecución del procedimiento paramétrico se introducen los datos reales sobre los que previamente se ha programado el sistema (Figura 18). Teniendo la posibilidad de modificarlos y obtener diferentes conclusiones.

**Selección e interpretación de resultados.** Una vez concretado el proceso se obtiene la forma aproximada del modelo definitivo, que podrá y deberá seguir sufriendo modificaciones y tendrá que resolverse constructivamente. También sirve para realizar descartes y modificaciones. Así pues, el procedimiento nos da una forma geométrica que posteriormente debemos desarrollar en profundidad con programas de modelado como AutoCad 3D o Revit.

<sup>1</sup> <https://www.grasshopper3d.com/>

### 3.1.2. Arquitectura paramétrica en fachadas

*“La tecnología digital, como toda innovación técnica, se enfrenta a la necesidad antropológica de ligarse a todos los aspectos estéticos y expresivos, y es productora de símbolos y significados. En las superficies envolventes convergen diferentes manipulaciones icónicas, referenciadas a diferentes sistemas — ideológicos, ecologistas, sostenibles, climáticos y, a la vez, constructivos, estructurales y de servicios. Representan, así, un tejido infinitamente ampliado del concepto de fachada o cerramiento, que se extiende y se incorpora en el paisaje urbano emergente.” (Trachana, 2021)*

La arquitectura paramétrica incide en todos los aspectos del edificio. Es una metodología global y afecta a todos los sistemas del edificio. Sin embargo, donde más suele aparecer y verse representado es en la envolvente exterior de los edificios.

A través de aplicaciones y softwares específicos, se consigue la optimización de las formas irregulares que resultan, constituyendo los modelos genéricos y transformándolos en los elementos concretos (barras y nudos) (Imagen 27) . Estos programas se encargan de optimizar al máximo los elementos estructurales, eliminando los reemplazables, dando mayores posibilidades volumétricas, estéticas y formales.

Por otro lado, otra condición importante en la arquitectura como es la orientación del edificio y la forma en la que ésta incide en los ocupantes y en los consumos energéticos, se puede tratar a través de estos softwares. De este modo, podemos crear una serie de configuraciones formales y localizarlas en un emplazamiento concreto. Simulando la forma en la que el sol incide en la figura, podemos conseguir la forma óptima del edificio en el entorno concreto en el que se va a implantar, y la forma en la que puede afectar a los ocupantes dependiendo del uso al que esté destinado el edificio y la forma en la que está prevista que se habite, dándonos una idea del tipo de sistemas de cerramiento que vamos a tener que diseñar.

Además de todo lo nombrado anteriormente, debemos tener en cuenta otro factor de la arquitectura paramétrica en el que se incluye el diseño y mecanizado de las piezas complejas tratadas con herramientas digitales para su propia fabricación, corte y mecanizado, así como otros avances como la impresión 3D. Un factor importante de todo este conglomerado es la importancia que toma la modulación de piezas y sistemas para la construcción, buscando una optimización máxima de recursos y reducción de costes de ejecución (Imagen 28) .



Imagen 27: Proceso de construcción del Museo Soumaya en Ciudad de México (2010). Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-56016/en-construccion-museo-soumaya-ciudad-de-mexico-lar>



Imagen 28: Museo Soumaya en Ciudad de México (2010) con paneles modulares de fachada incorporados. Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-314551/museo-soumaya-fr-ee-fernando-romero-enterprise/52954374e8e44ead2a000017-museo-soumaya-fr-ee-fernando-rome>

### 3.1.3. Vista crítica sobre la arquitectura paramétrica

Bien es cierto que parece que la arquitectura paramétrica acumula una serie de ventajas incuestionable, pero esto no hace que esté exenta de crítica o polémica. No es el concepto de arquitectura paramétrica lo que genera dudas, sino más bien la actitud de algunos arquitectos que la emplean.

Está claro que los procesos digitales y los softwares dedicados a este diseño tienen unas ventajas obvias en el diseño de los edificios, pero las formas complejas generadas o las fachadas complejas compuestas con infinitos elementos no son algo que el programa genere por sí solo y, aunque se diga que este proceso hace todo mucho menos costoso, lo cierto es que las formas complejas y la construcción de estos edificios es costosa. El problema es que se vende esto como que el programa ha decidido la forma final, cuando es una decisión arbitraria de los proyectistas.

Esto, según comentan Rossel y Loyola, no es más que un encubrimiento a una vuelta extremista al funcionalismo del Movimiento Moderno del que muchos arquitectos contemporáneos reniegan por superado.

*“La aspiración modernista de eliminar la arbitrariedad de los procesos de diseño, aparentemente lograda con la racionalidad del diseño paramétrico o la fabricación digital, no es tal: ni el software ni una máquina CNC tienen preferencias estéticas.” (Rossel & Loyola, 2012)*

Arquitectos como Zaha Hadid o Frank Gehry han sido y son fuertemente criticados por su arbitrariedad a la hora de juzgar sus proyectos, pero si edificios de similares características o formas se vinculan con la arquitectura paramétrica y su diseño, en vez de como un gesto del autor está bien visto ante la comunidad, porque se asume que el diseño paramétrico ha dado como resultado que esto sea así y que es la mejor forma de resolución.

## 3.2. Arquitectura Performativa

El concepto de arquitectura performativa no corresponde a ningún estilo arquitectónico concreto, sino a una manera de ver la forma en que la arquitectura contemporánea actúa sobre los lugares, como si se tratara de obras de arte o esculturas, pero también como elementos cambiantes y actuadores (Imagen 29). Por esto diremos que el concepto de la arquitectura performativa pertenece a una corriente teórica.

*“La arquitectura performativa se puede entender como aquella que tiene la capacidad de responder a las condiciones sociales, culturales y tecnológicas cambiantes a través de un perpetuo autoreformateo (adaptación) actuando como un index, algo así como un mediador de (o una interfaz para) la expresión de patrones culturales emergentes. El programa espacial de esta arquitectura no es singular, prefijado o estático, sino múltiple, fluido y ambiguo, dirigido por dinámicas temporales de cambio socioeconómico, cultural y tecnológico. Cultura, tecnología y espacio forman una compleja y activa red de conexiones, una malla de constructos interrelacionados que se influyen unos a otros simultáneamente y de forma continua. En la arquitectura performativa, el espacio se despliega de maneras indeterminadas, en contraste con la fijación de las acciones, eventos y efectos predeterminados y programados de la concepción tradicional.”*  
(Marcos & Fernández, 2014)

Este tipo de arquitecturas genera modificaciones importantes en la forma de vivir y comprender las ciudades, apareciendo la “ciudad escena”, que expresa dinamismo frente a la arquitectura moderna, que representaba una arquitectura que anhelaba congelar el tiempo.

*“La ciudad escena representa, también, las posibilidades emancipatorias de los individuos y las experiencias colectivas; en lugar de los límites, representa las mediaciones y el diálogo entre el edificio y su ubicación y entre los edificios y las personas, convirtiéndolos en elementos de referencia de su vida cotidiana”*  
(Trachana, 2021)

En este contexto, el concepto de fachada desaparece dando paso a conceptos como los de piel o envolvente, que se adaptan mejor a la cambiabilidad del espacio en el que se integran. Por otra parte, la materialidad se ve ampliamente modificada, suprimiendo los materiales tradicionales por otros que, debido a sus procesos de configuración, se convierten en superficies interminables, continuas, brillantes, sin deterioros aparentes. Bien es cierto que los materiales tradicionales no se suprimen, solo que ahora sufren tratamientos y modificaciones que hacen cambiar la percepción que tenemos de ellos.



Imagen 29. Blinkenlights (2001-02). Alexanderplatz (Berlin). Actuación temporaria interactiva, en la que las ventanas actuaban como píxeles individuales generando imágenes y pudiendo interactuar. Fuente: <https://www.frederikhermann.com/blinkenlights-back-to-berlin>



Imagen 30. MediaLab Prado (Madrid) Langarita-Navarro Arquitectos. Fachada que se modifica en función de la situación de la plaza en la que se ubica. Fuente: <https://www.medialab-prado.es/actividades/no-es-verdad>

Las nuevas formas generadas en la arquitectura, así como sus materializaciones y los aportes de transparencias, generan la presencia ambigua de los volúmenes (Trachana, 2021). Los edificios ya no muestran lo que son en su interior, se muestran como elementos cambiantes y mutables, elementos referenciales que modifican el paisaje en el que se implantan, y la forma de vivirlo.

La eversión es la proyección de lo físico sobre lo virtual. La posibilidad de proyectar imágenes en las fachadas multimedia mediante paneles Led o mediante los proyectores convencionales difumina los límites arquitectónicos pues a la característica espacial del edificio se le añade la variable del tiempo y lo efímero y móvil frente a lo estático a lo que estábamos acostumbrados.

*“La nueva iconografía electrónica, mutable y flexible, aplicada a la arquitectura, convierte la envolvente en un objeto de hibridación, de resolución material y tecnológica donde el límite físico se confunde con la naturaleza virtual de las imágenes en movimiento, que terminan disolviendo la materialidad del límite arquitectónico.”* (Trachana, 2021)

La realización de este tipo de arquitectura no podría existir sin el desarrollo de la arquitectura paramétrica que hemos explicado anteriormente. Aparece la variante virtual en la forma de entender los edificios y lugares. Los edificios interactúan con personas y entorno, así como introducen la cambiabilidad durante el día y la noche.

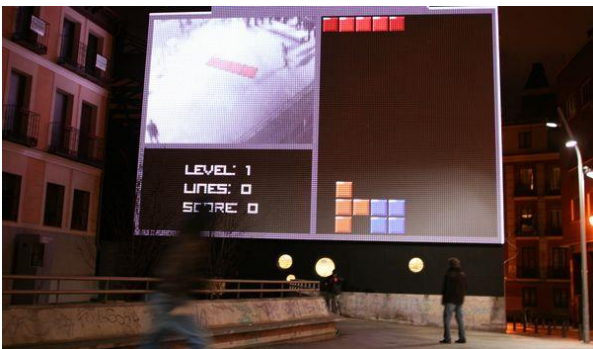


Imagen 31. Personas jugando a tetris mediante movimiento real en la fachada del MediaLab Prado. Fuente: <https://www.tuexpertojuegos.com/2010/10/11/tetris-juega-a-lummblocks-un-tetris-gigante-situado-en-plena-calle/>

A efectos prácticos, el Diseño Performativo, también denominado Performance-Based Design (BSD), sigue los principios sobre los que se rige el diseño paramétrico, siendo estos: Simulación, parametrización y Optimización. (Oxman 2014, como se cita en Marcos & Fernández, 2014)

Esta arquitectura por otro lado necesita de dispositivos que la hagan funcionar correctamente. La arquitectura deja de ser pasiva y comienza a ser reactiva (Imagen 30), por lo que necesita interactuar con el entorno y responder a las situaciones de la forma que se ha programado para hacerlo (Imagen 31).

Los dispositivos principalmente se introducen en cuatro categorías según la función que desempeñan en los sistemas: **Sensores** que captan los estímulos a los que está sometido el edificio, **controladores**, que procesan dichos estímulos y generan una respuesta, **actuadores** que reciben la orden enviada por los controladores y los **materiales** que engloban todo el sistema y hacen todo posible.



### 3.3. Fachadas programables

Como hemos comentado anteriormente en la arquitectura performativa y paramétrica, solemos encontrar fachadas con elementos digitales. Estos elementos por lo general serán: **elementos de sombreado** como pueden ser lamas direccionales o módulos plegables que actúan en función de las exigencias para las que hayan sido programados; y **pantallas digitales** sobre las que proyectar imágenes con diferentes fines y calidades.

Estos elementos se instalan en edificios con instalaciones domóticas. La domótica consiste en la robotización de los edificios, con el fin de volverlos “inteligentes” y que de esta manera puedan hacer la vida de los ocupantes de los edificios lo más cómoda posible, además de asegurarnos una eficiencia energética superior.

En este apartado se va a realizar un análisis de estos dos tipos de fachadas programables, las cuales se encuadran en **fachadas cinéticas** y las **fachadas multimedia o mediales**. Dentro de estas dos categorías encontraremos múltiples variantes y tipologías que serán descritas. Además, se enunciarán las ventajas y desventajas de estos sistemas en la arquitectura contemporánea.

#### 3.3.1. Fachadas cinéticas

La concienciación con el estado del planeta en la actualidad en cuanto a medioambiente se refiere ha hecho que nos replanteemos la situación de la arquitectura en la actualidad. Teniendo en cuenta la necesidad de reducir la cantidad de emisiones que se emiten a la atmósfera debido al consumo desmedido de energía, se han realizado estudios para paliar estos efectos y analizar la situación actual.

En algunos estudios se estima que el 75% del consumo de los edificios se divide en la energía consumida para la climatización y la iluminación. El consumo estimado de los edificios en la actualidad es de entre 150 y 200 kWh/m<sup>2</sup>, frente a los 50 que exigía la Unión Europea que tuviéramos en 2020. (Escolano, 2018)

Por este sentido, algunas soluciones novedosas frente los efectos de este consumo, se han basado en la proyección de **elementos dinámicos de sombreado**. Estos elementos parasoles tienen la finalidad de evitar problemas de excesos de sobrecalentamiento en interiores de edificios, así como paliar una radiación solar y lumínica muy elevada que cause el uso de elementos de refrigeración artificial, así como problemas a la hora de índole visual en la forma de habitar los edificios.

## a. Factores de diseño

Este tipo de sistema, por lo general se aplican a grandes construcciones con grandes superficies de fachada acristaladas, en las que la mayoría de las veces se encuentran oficinas en las que los trabajadores están expuestos a jornadas laborales relativamente largas en las que la envolvente de los edificios puede estar expuesta a una gran cantidad de radiación solar.

La búsqueda del confort de los ocupantes de los edificios depende individualmente de cada persona, pero se estiman unas condiciones estándar en cuanto al confort higrotérmico, en las cuales toman una importancia primordial la temperatura, la humedad, la ventilación de los espacios y por otra parte, la iluminación y la forma en la que ésta accede al edificio de forma natural.

### Temperatura

La temperatura es un factor primordial para tener en cuenta a la hora de proceder a la instalación de este tipo de sistemas. La finalidad principal de estas soluciones es la de evitar que los edificios sufran un sobrecalentamiento que haga tener que realizar una inversión muy elevada en consumo energético para la refrigeración del interior de estos, además de que el bienestar de las personas que ocupan el edificio se puede ver afectado por el tener que estar expuestos a un ambiente que en general está mal ventilado por el tipo de cerramiento fijo, y el aumento de las temperaturas internas.

La instalación de esta solución requiere de un aliciente de altas temperaturas a las que hacer frente para poder tener razón de ser, puesto que la complejidad y coste de este tipo de sistema no está justificada en un edificio situado en una zona térmica que no lo necesita. Por ello, a la hora de proceder a la realización de este tipo de proyecto, se debe consultar y tener en cuenta datos históricos de temperaturas medias de la zona en la que se va a instalar.

El ahorro energético a la hora de instalar este tipo de sistema se puede producir cuando se encuentra en un sitio en el que es necesario que sea así y no un capricho del proyectista o del promotor. Pero en sitios en los que no sea necesario, se puede obtener una protección frente al aumento de temperatura en determinados momentos puntuales con otras instalaciones más rentables como puede ser la colocación de un sistema de lamas fijas.

## Viento

La incidencia del viento es un factor relevante para tener en cuenta a la hora de instalar los parasoles de la fachada cinética. La instalación de los parasoles en una zona con mucho viento puede tener condiciones positivas y negativas.

Las negativas principalmente se basan en la forma en que el viento puede actuar sobre los propios elementos una vez instalados, pues la instalación en una zona en la que vaya a estar sometido a vientos fuertes va a generar que la estructura sobre la que se dispongan tenga que resolver esta circunstancia, pudiendo perder un poco de su carácter liviano.

Por otro lado, un efecto positivo puede ser que, al situarse en zonas de vientos elevados, sea propicia la instalación de elementos que absorban la energía producida por el viento, en especial si se trata de edificios de gran altura, pues los vientos serán superiores en zonas más elevadas. Con esta energía se puede autoabastecer al propio edificio incluyendo el propio sistema dinámico de fachada.

Para estas circunstancias se tienen en cuenta los datos que aportan las rosas de los vientos (Figura 19). Herramientas en las que se monitorea la forma en la que incide el viento a lo largo del año en una zona concreta.

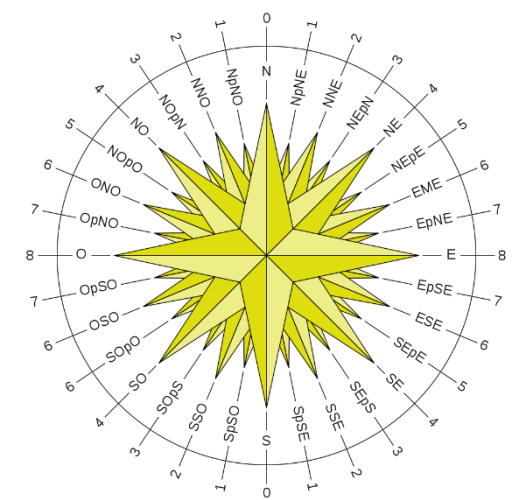


Figura 19. Rosa de los vientos. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Rosa\\_de\\_los\\_vientos](https://es.wikipedia.org/wiki/Rosa_de_los_vientos)

## Radiación solar

En la arquitectura, este es un factor fundamental. A la hora de realizar un proyecto uno de los primeros condicionantes es la radiación solar. La forma en la que incide el sol en los edificios tiene que ser previamente estudiada a la hora de diseñar y construir, acompañada de otro factor como es la orientación del edificio.

En los casos en los que se instalan las fachadas cinéticas, suelen ser en edificios de oficinas de tipo torre en los que todas las fachadas van a tener un mismo sistema de fachada, que por lo general es el muro cortina. Teniendo en cuenta el factor de la orientación del edificio y la localización tendrá fachadas que a ciertas horas tengan problemas con la incidencia del sol y será en ellas en las que habrá que plantearse la instalación de los sistemas.

Este factor también es medible (Figura 20), y además junto a la orientación, deberá tener en cuenta la posibilidad de que edificios próximos reflejen sombra sobre el edificio con el que vamos a trabajar, generando efectos indeseados o haciendo innecesaria la instalación de este sistema en algunas zonas.

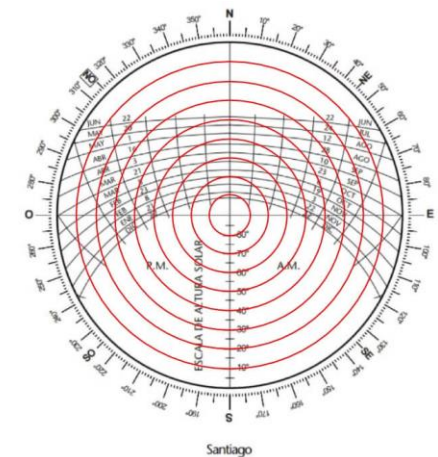
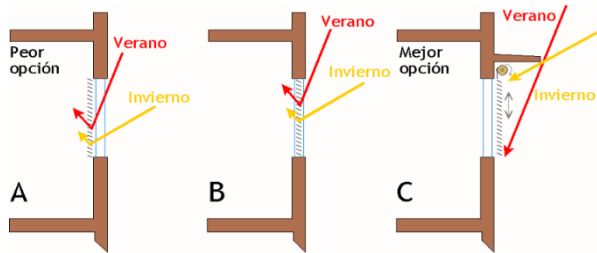


Figura 20. Ejemplo de carta solar estereométrica. Fuente: <https://scsarquitecto.cl/carta-solar/>

## Incidencia solar lumínica

La forma en que la luz incide en los edificios es conocida por medio de las cartas solares. Por medio de ellas se puede saber cómo va a ser la trayectoria del sol con respecto al edificio y como este va a afectar a los ocupantes.



Una vez obtenida esta información se deberá buscar el parasol ideal para ese lugar, evitando los problemas generados por una mala iluminación natural, pero sin que el edificio se quede sin la misma, pues generaría gastos de consumo de luz artificial que es en parte lo que se busca evitar. Esto se puede realizar mediante el encapsulamiento de la luz, previamente filtrada por los parasoles, la cual incide en las superficies internas de una forma deseada, redirigida por medio de la difracción por la propia forma del parasol, que actúa como amplificador y filtro al mismo tiempo.

Figura 21. Disposiciones de lamas redireccionadoras de la incidencia solar lumínica en invierno y verano. Fuente: <https://ecohabitar.org/arquitectura-bioclimatica-conceptos-y-tecnicas/>

La utilización de lamas fijas o direccionales, dispuestas en vertical u en horizontal (preferiblemente), puede actuar también como un elemento redireccionador de la luz, haciendo que la luz rebote en ellas y, posteriormente en las superficies interiores que si están acabadas de la forma adecuada, como puede ser mediante pintura de tonos claros de tipo mate, puedan actuar como amplificador de la luz natural, haciendo que esta alcance mayor profundidad en una misma sala que si no tuviera este mecanismo, y a su vez evitando la incidencia directa y que la iluminación sea más homogénea (Figura 21).

## Confort lumínico y visual

La búsqueda del confort visual debe ser primordial además del confort lumínico. El primero representa los aspectos psicológicos que genera la apreciación espacial y de los elementos que envuelven a las personas, mientras que el segundo aborda los elementos físicos, fisiológicos y psicológicos en torno a la luz. (Coellar, 2018)

Una mala iluminación puede generar aspectos negativos en la salud de las personas como pueden ser la fatiga visual, dolores de cabeza, irritabilidad o falta de concentración. Un buen acondicionamiento lumínico debe regular la **cantidad** de la luz para que tenga un nivel adecuado en función del uso del espacio a iluminar; la **distribución**, que deberá ser lo más homogénea posible (evitando zonas oscuras); y por último la **calidad** para prevenir trastornos, destellos, reflejos y fomentar el bienestar de las personas (Figura 22).

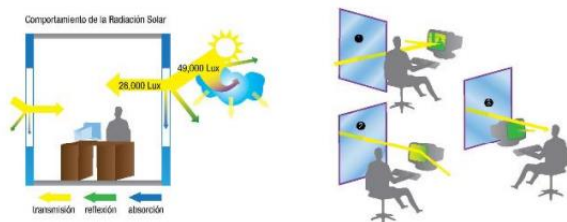


Figura 22. Efectos de la radiación sobre el edificio y los ocupantes. Fuente: CEPEDA ARDILA, V. A. (2019). Fachada modular, adaptable para edificaciones con fachadas acristaladas. Trabajo Final de Grado.

## b. Componentes del sistema

Los sistemas se componen de cuatro componentes en grosso modo, que luego pueden dividirse en más o haber varios dentro de cada grupo. Son los siguientes:

**Módulos.** Este tipo de fachadas se dispone en módulos, que por lo general son iguales, generando una trama geométrica en función de la forma de estos (Imagen 32). Dentro de los módulos encontramos otros tres componentes:

- El **soporte**, que es el marco sobre el que se incorporan los elementos que en principio realizarán el movimiento propiamente dicho, y además es el elemento que se ancla a la subestructura que lo une con la del edificio.

Este soporte debe aportar al sistema resistencia frente a posibles vientos fuertes y a los agentes climatológicos externos, además de ligereza y a ser posible reciclabilidad.

- La **transmisión electromecánica**, que consiste en la propia estructura interna del módulo, y es en la que se suelen incorporar los elementos que efectúan el movimiento de pliegue o desplazamientos, como pueden ser ejes, engranajes, motores, etcétera. Estos elementos necesitan de un mantenimiento adecuado y una revisión periódica para la comprobación de su perfecto funcionamiento.

Estos elementos pueden estar en los módulos individuales o pueden estar en el soporte directamente, haciendo que el movimiento sea de todo el módulo y no solo de la membrana flexible, en caso de que el acabado sea un panel rígido.

- La **piel** puede ser de muy diversos materiales, desde textiles, hasta plásticos o placas metálicas. En función de su materialidad y de si los módulos se mueven enteros y tiene que ser fija, o si cada módulo interiormente efectúa el movimiento deberán tener unas características concretas.

En cualquier caso, es necesario saber la cantidad de radiación solar que pueden soportar y filtrar, su resistencia a la intemperie y la cantidad de ciclos de movimiento que pueden soportar, su permeabilidad, su factor de dilatación en caso de que sean láminas metálicas, entre muchas otras cosas.

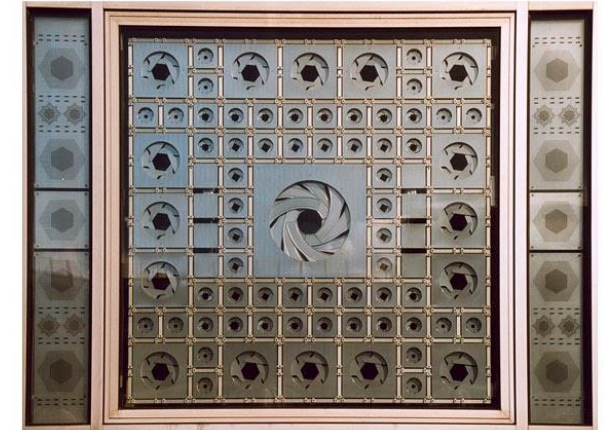


Imagen 32. Módulos de diafragmas del Instituto del Mundo Árabe (París) de Jean Nouvel (1987). Fuente: <http://asombrosaarquitectura.blogspot.com/2014/02/instituto-del-mundo-arabe-institut-du.html>

**Sensores.** Los sensores son los encargados de recolectar la información para la que sean diseñados. En este tipo de aplicaciones podrían ser sensores de temperatura, sensores fotosensibles, sensores de humedad o de viento.

Los sensores podrán estar dispuestos en cada módulo o estar en una estación meteorológica única que controle todos estos parámetros. Una vez recabada la información es enviada a los controladores.

**Controladores.** Son los encargados de procesar la información recabada por los sensores. En este tipo de fachadas se tratan de grandes procesadores programados electrónicamente con las variables que los programadores hayan dispuesto para que en caso de que la información enviada por el sensor indique, por ejemplo, una temperatura muy elevada, procedan a enviar una orden para el cierre de los módulos.

En aspectos más simplificados como podría ser la programación de la domotización de una vivienda encontramos en los controladores Arduino, muy conocidos y de sencillo manejo y fácil acceso.

**Motores.** Son la parte principal de la transmisión electromecánica. El controlador procesa la información recibida del sensor y genera una respuesta que es enviada al motor o como también es conocido actuador. Este hará posible el movimiento del módulo, bien sea completo, o bien sea parcial.

### c. Funcionamiento de las fachadas cinéticas

A la hora de diseñar este tipo de sistemas entran en funcionamiento las bases de la arquitectura paramétrica. De este modo, mediante el empleo de programas de simulación y cálculo, aplicando los parámetros requeridos obtenemos los resultados deseados.

Suponiendo un sistema genérico de parasoles dinámicos podemos realizar una volumetría 3D mediante el programa informático Rhinoceros y, mediante una aplicación de este denominada Grasshoppers, analizar el funcionamiento del diseño generado, produciendo ensayos en tiempo real de las características lumínicas y térmicas que supone la implantación del sistema; pudiendo modificar los parámetros hasta obtener el módulo deseado.

Así pues, la metodología de actuación consistirá en cuatro procesos a desarrollar: **Conceptual, Digital, Técnico y de Fabricación.** (Escolano, 2018)

Una aclaración para tener en cuenta es la posición en la que se van a instalar los parasoles con respecto a la envolvente del edificio, en el interior, entre la cámara de los vidrios, o en el exterior del edificio. Lo más eficiente térmicamente es la colocación en el exterior siempre que sea posible, pues mantendrá mucho más constante la temperatura del interior, mientras que, si no puede producirse el efecto invernadero en el interior del edificio o la cámara de los vidrios una vez que la radiación solar ha penetrado en el edificio, generando el aumento de la temperatura en el interior.

A la hora de realizar la **programación** (Figura 23) de los sistemas encontraremos dos opciones principales:

**Centralizadas.** La mayoría de los proyectos realizados hasta ahora cuentan con este sistema, el cual consta de cinco componentes principales. **Módulos, Estación meteorológica, Controlador central, Actuadores y Cableado.**

El mayor inconveniente de este tipo de instalaciones es la cantidad de cableado que necesita.

**Descentralizados o autónomos.** En este caso, cada parasol puede disponer de sus propios sensores, que bien mediante cables individuales, o bien mediante Wifi o Bluetooth, envían los estímulos a la sala de control, donde se procesan las actuaciones a acometer por **controladores programados**, que envían de la misma manera la orden a los **actuadores** generando el movimiento.

Con esta metodología cada elemento puede actuar de manera individual e independiente.



Figura 23: Funcionamiento de sistemas de elementos dinámicos de soleamiento. Fuente: TFM: Diego Escolano Farto

### 3.3.2. Otros sistemas

#### a. Fachadas homeostáticas

En lo que a elementos de sombreado dinámicos se refiere, podemos encontrarnos con otras opciones que no son tan conocidas o están en instancias muy primigenias de su desarrollo.

La idea de la fachada homeostática corresponde a las que son capaces de actuar sin la necesidad de una programación previa, actuando como organismos naturales e inteligentes.

El caso más conocido, es el prototipo de fachada de Decker Yeadon Architects, en el que emplean a modo de celosía en un panel de muro cortina, un sándwich de vidrio que cuenta en su cámara intermedia con una forma laberíntica de polímeros electroactivos (EAP), que actúan como músculos que se contraen y dilatan en presencia de un impulso eléctrico (Imagen 34; Imagen 33).

Mediante sensores que captan la incidencia de la radiación solar, generando pequeños impulsos, en cuanto a cantidad de voltaje que obligan a desplegar el sistema. En este caso se trata de EAP iónicos, que necesitan voltajes de 1-2 V para activarse. Tienen una velocidad de reacción lenta y su comercialización y fabricación es costosa, por lo que no son muy empleados en arquitectura.

Existen otro tipo de EAP, los electrónicos, que necesitan fuertes impulsos de corriente continua para su funcionamiento. Responden rápidamente y se mantienen activos mientras dure la corriente.

Con los EAP, podemos conformar los Elastómeros Dieléctricos (DE) (Figura 24). La composición de estos elementos consiste en un EAP central (acrílicos, poliuretanos, siliconas), envuelto por dos capas que actúan como electrodos, generalmente metálicos. Actúan como sensores, ya que cuando el EAP estira o contrae su forma, la resistencia del conjunto varía.

La aplicación en la arquitectura se antoja complicada debido al costoso y complejo trabajo de fabricación, así como a la falta de información sobre la posible durabilidad que puede tener el material con exposiciones muy duraderas al sol.

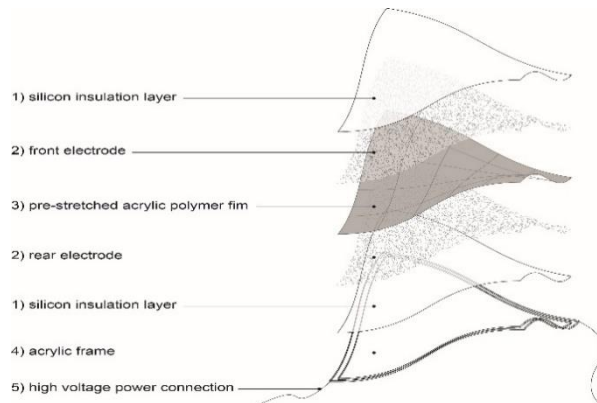


Figura 24. Descomposición de Elastómeros Dieléctricos (DE). Fuente: <http://materiability.com/electroactive-polymers/>

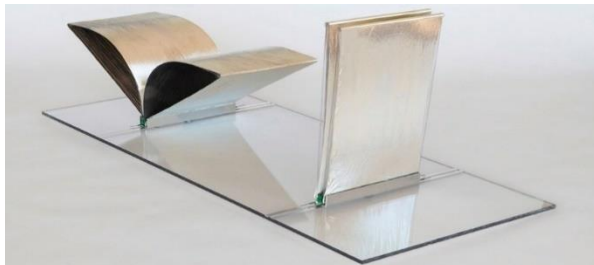


Imagen 33. Diafragmas activado y desactivado del sistema de Decker Yeadon Architects. Fuente:

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-71008/fachadas-homeostaticas-para-edificios-verdes>



Imagen 34. Fachada homeostática Decker Yeadon Architects. Fuente:

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-71008/fachadas-homeostaticas-para-edificios-verdes>



## b. Vidrios inteligentes

Una nueva tecnología incorporada al campo de la arquitectura sobre la que se está investigando es la de los vidrios inteligentes. Estos vidrios son capaces de responder a diferentes impulsos en función de la configuración con la que se diseñen y los componentes de los que se fabriquen.

Dentro de este tipo de material encontramos diversas categorías en función de si son activos o pasivos. En la (Tabla 7) podemos observar la cantidad de este tipo de vidrios que existen y algunas de sus características, que serán explicadas posteriormente.

VIDRIOS INTELIGENTES						
CONTROL ACTIVO					CONTROL PASIVO	
TIPO	SPD	LCD	EC	GASOCRÓMICOS	FOTOCRÓMICOS	TERMOCRÓMICOS
COMPONENTE	Partículas en suspensión	Cristales líquidos	Materiales electrocrómicos	Gas hidrógeno	Haluros metálicos	Gel termocrómico
AGENTE	Electricidad				Luz	Calor
EFEECTO	Claro-oscuro	Opaco-transparente	Claro-oscuro	Claro-oscuro	Claro-oscuro	Opaco-transparente
¿CUANDO ES TRANSPARENTE?	Encendido	Encendido	Apagado	Apagado	-	-
ESTADO DE TRANSICIÓN ENTRE ENCENDIDO-APAGADO	SI	NO	SI	SI	SI	SI
APLICACIÓN DE VOLTAJE PARA MANTENER EL ESTADO	NO	NO	SI	NO	No corresponde	No corresponde
TRANSMITANCIA	0.22-0.05 a 0.57-0.12.	0.22-0.05 a 0.57-0.12.	0.5-0.7 a 0.02-0.25	0.10-0.59	En experimentación	En experimentación
FACTOR U	Dependiendo del tipo de vidrio usado. No varía en la transición.				En experimentación	En experimentación

Tabla 7: Comparativa de vidrios inteligentes. Fuente: EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA UTILIZACIÓN DE VIDRIOS ESPECIALES EN VIVIENDAS SOSTENIBLES. Giménez Molina, C., Lauret Aguirregabiria, B. (2008)

**Vidrios pasivos**

El funcionamiento de los vidrios pasivos consiste en el cambio de su tonalidad en función de las condiciones del ambiente en el que se encuentran instalados (Figura 25). Dentro de estos encontramos dos tipos:

**Vidrios termocrómicos.** Este tipo de vidrio modifica su transparencia en función de la temperatura a la que se encuentra expuesto. De este modo, si la temperatura aumenta el cristal se vuelve más opaco, y si desciende más transparente. Esto supone una ventaja debido a que disminuye la radiación solar que accede al interior.

El efecto que produce se debe a la introducción de un gel termocrómico en la cámara del vidrio o a la utilización de vidrios líquidos que, debido a la incidencia de la temperatura cambian la orientación de sus caras producen esa opacidad.

El cambio de transparencia requiere de un período continuado de incidencia térmica y pueden darse entre 20 y 30 minutos hasta que se produzca.

**Vidrios fotocromáticos.** El vidrio fotocromático por su parte, sufre un proceso similar al del termocrómico. Estos vidrios son sensibles a la incidencia directa de radiación lumínica. De este modo, cuando son expuestos a una iluminación elevada, se vuelven más oscuros, mientras que, si se oscurece el ambiente, éstos se aclaran. Este efecto se produce bien sea luz natural o luz artificial. El proceso de cambio de transparencia se produce de forma gradual e inmediata, dependiendo directamente esta de la cantidad de radiación lumínica recibida.

Una utilización muy común de este tipo de vidrios es la utilización en gafas. Dependiendo de la composición de los vidrios pueden actuar de diferentes maneras. Los más comunes y con mejores propiedades son los que se realizan con halogenuro de plata, que muestran una gran durabilidad y no sufren fatiga de uso.

Figura 25. Funcionamiento de lentes fotocromáticas aplicable también a las termocrómicas pero dependiente de la temperatura. Fuente: <https://longitudeonda.com/polimeros-electrocromicos-el-futuro-de-las-lentes-fotocromaticas/>

## Vidrios activos

Dentro de esta categoría encontramos una mayor variedad de materiales. Las características por las que se denominan activos son debidas a que su activación requiere de la aplicación de una corriente eléctrica, que puede ser continuada en el tiempo o no.

**Vidrios electrocrómicos.** Este tipo de vidrio consiste en un panel de vidrio compuesto de 7 capas que, al aplicar un pequeño voltaje (1-3 V) modifica su claridad u oscuridad (Imagen 35). Las capas externas son vidrios convencionales o con protección solar. Las dos capas interiores a estos son de materiales conductores transparentes (que son las conectadas a la corriente). Las tres capas internas consisten en una lámina de almacenamiento de iones, una conductora de iones y una capa de material electrocrómico.

La activación de la corriente genera el intercambio de iones que al traspasar la lámina electrocrómica produce el cambio de color (Figura 26). La intensidad del color se puede regular por medio de sistemas de regulación convencionales. Una vez obtenido el tono deseado se puede mantener así sin necesidad de aporte de corriente adicional.

Con este tipo de materiales podemos regular la incidencia de la luz en el interior, pudiendo llegar a ser una alternativa de las cortinas tradicionales, aportando una buena protección frente a los rayos UV.



Imagen 35. Funcionamiento de un vidrio electrocrómico interior.  
Fuente: <https://teoriadeconstruccion.net/blog/vidrio-electrochromico/>

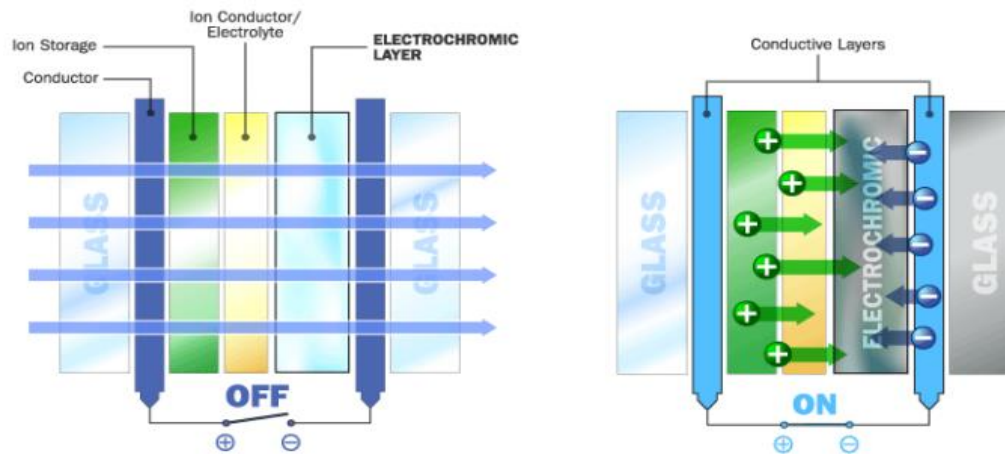


Figura 26: Componentes y funcionamiento. Fuente: Vidrios Estáticos y dinámicos. Estudio comparativo de la eficiencia energética de los edificios de oficina en clima mediterráneo a partir de la utilización de diferentes tipos de acristalamiento. Lydia Lympelopou. (2012)

**Vidrios Gasocrómicos.** El funcionamiento es similar al de los electrocrómicos, pero a diferencia de éstos, los gasocrómicos funcionan con la introducción de hidrógeno además del aporte de corriente (Figura 27), dentro de una cámara entre dos vidrios en la cual hay óxido de Tungsteno ( $WO_3$ ) en forma de lámina acompañada de un catalizador.

En estado apagado el vidrio es transparente, pero una vez activado, el hidrógeno accede a la cámara y reacciona dándole un tono azulado, que varía en función de la cantidad de hidrógeno incorporado a la cámara, así como del espesor de la lámina de  $WO_3$ .

La complejidad del sistema radica en la colocación de las tuberías que deben llevar la corriente y el hidrogeno a la cámara, pues estas deben discurrir por las carpinterías de forma oculta. Por otro lado, lo más preferible es ligarlo a un sistema domótico programable, reduciendo así los consumos de climatización.

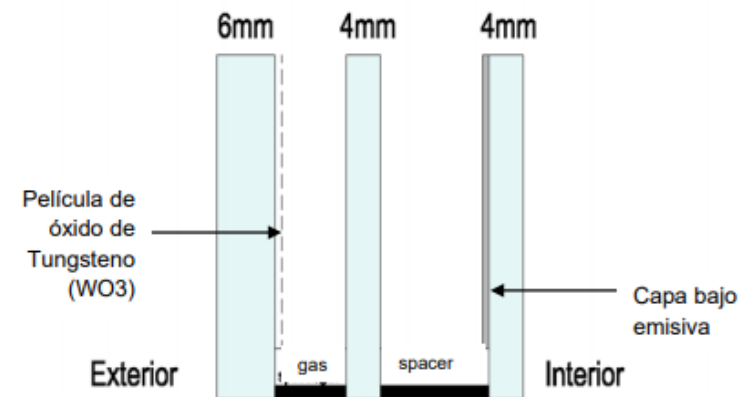


Figura 27: Componentes. Fuente: Vidrios Estáticos y dinámicos. Estudio comparativo de la eficiencia energética de los edificios de oficina en clima mediterráneo a partir de la utilización de diferentes tipos de acristalamiento. Lydia Lympelopouo (2012)

**Vidrio de partículas en suspensión (SPD).** Este tipo de vidrio, en ausencia de corriente eléctrica es de carácter opaco (Imagen 36). Dispone de una cámara entre los dos vidrios, que están recubiertos con una capa protectora, en la cual hay un líquido con micropartículas que si no les llega la corriente eléctrica están desordenadas, manteniendo el vidrio opaco. Una vez se conecta a la corriente adquieren transparencia, según lo graduemos, colocándose las partículas.

Necesita un voltaje de 100V y una potencia constante de 0,05W para encenderse y mantenerse transparente.

El material está siendo estudiado con el fin de reducir el voltaje necesario para su funcionamiento, así como para comprobar cómo trabaja, su durabilidad y los ciclos de uso que soporta. Por otro lado, encontramos la desventaja de que son muy costosos (Figura 28).

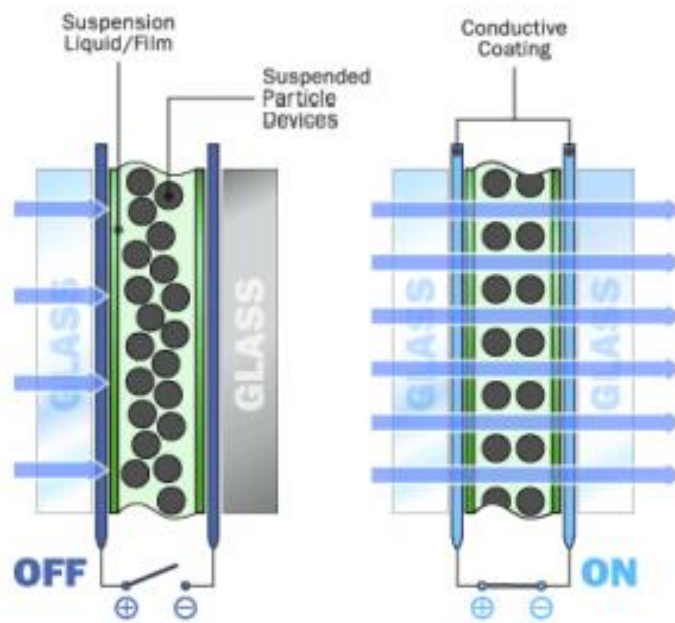


Figura 28: Componentes y funcionamiento. Fuente: Vidrios Estáticos y dinámicos. Estudio comparativo de la eficiencia energética de los edificios de oficina en clima mediterráneo a partir de la utilización de diferentes tipos de acristalamiento. Lydia Lympelopoupo (2012)



Imagen 36. Funcionamiento de vidrio con partículas suspendidas. Fuente: <https://sistemasinteligentesti.wordpress.com/2015/04/09/ventanas-inteligentes-ventana-spd-dispositivo-de-particulas-suspendidas/>



**Vidrios de cristal líquido disperso. (LCD).** Al igual que los SPD, estando desconectados de la corriente son opacos, volviéndose transparentes al conectarlos (Imagen 37). Su composición consta de dos hojas de vidrio en cuya cámara intermedia hay una lámina de cristal líquido colocado entre dos conductores transparentes adheridos a finas partículas plásticas.

Las partículas del cristal líquido impiden el paso de la luz, pero al aplicar la corriente se ordenan de forma que dejan ver a su través (Figura 29). El encendido y apagado del sistema es instantáneo, con la posibilidad de incorporar colores y curvatura en el diseño de los elementos.

Funcionan bajo una corriente continuada de entre 24 y 100 V con una potencia de 0,5 W, permitiendo pasar diferentes grados de luz. Tiene resistencia a los rayos UV debida a las hojas exteriores protegidas, aunque el vidrio líquido sufre frente a su exposición, pero pueden colocarse en exteriores, aunque la mayor parte de ellos se utilizan en interiores.

Por otro lado, son materiales costosos de instalar y para su funcionamiento requiere del uso continuado de energía.

Imagen 37. Funcionamiento del cristal LCD en una mampara interior.  
Fuente: <https://www.glasstek.es/laminar-vidrio-con-eva/aplicaciones-del-eva/laminar-vidrio-con-lamina-lcd-privalite-y-eva-evguard/>

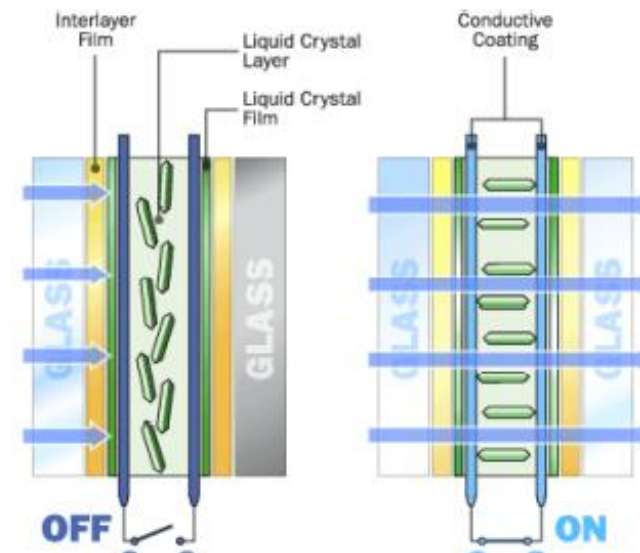


Figura 29: Componentes y funcionamiento. Fuente: Vidrios Estáticos y dinámicos. Estudio comparativo de la eficiencia energética de los edificios de oficina en clima mediterráneo a partir de la utilización de diferentes tipos de acristalamiento. Lydia Lymperopoulo (2012)

### 3.3.3. Fachadas multimedia

Uno de los avances más novedosos en tema de envolventes arquitectónicas en los últimos años, ha sido la aparición de las fachadas multimedia en el paisaje urbano de las ciudades más importantes a lo largo de todo el mundo.

Este tipo de fachadas, que también son reconocidas como mediales o mediáticas, corresponden a sistemas por los cuales, los edificios se ven envueltos de luz, en los que generalmente se muestra publicidad de los productos que se comercializan en el interior de esos mismos edificios. Esto no siempre es así, pero si en la mayoría de los casos.

*“El estudio de proyectos recientes que se denominan "arquitectura mediática" requiere el conocimiento de tecnologías y técnicas muy diferentes entre sí; no se pueden clasificar en categorías predeterminadas. Esta nueva tecnología de construcción requiere el uso de términos dedicados a la arquitectura multimedia y derivados de los campos de la electrónica, la informática, la química y la física de los nanomateriales. En el análisis de los proyectos de arquitectura mediática realizados durante el último cuarto del siglo XX, se muestra un cambio paulatino del uso de tecnologías constructivas al uso de tecnologías electrónicas (utilizadas para la realización de proyecciones arquitectónicas), continuando hacia una integración de sistemas embebidos.” (Gasparini, 2014)*

Un tipo de arquitectura que reúne unas condiciones similares a las mencionadas es la de la arquitectura proyectada (Imagen 38), entendida esta como la que se emplea como un croma en el que se proyectan imágenes o vídeos, pero que no tiene un carácter esencial de fachada multimedia, pues no reúne las características de incorporar su propio sistema de iluminación y proyección de imágenes.

También las envolventes con elementos dinámicos de sombreado antes citadas se podrían entender como arquitecturas mediáticas, pues incorporan cierto grado de tecnología y generan movimientos, en este sentido, de manera literal, pero no se consideran multimedia, aunque puede haber excepciones que combinen ambas tecnologías.

La investigación y el desarrollo de este tipo de fachadas ha dado la posibilidad de encontrar multitud de sistemas para poder resolver de maneras muy diversas y con la posibilidad de encontrar el acabado final deseado. A continuación, se explicarán fundamentos, funcionamientos y tipologías, así como diversos análisis que están a favor y en contra de este tipo de sistemas.



Imagen 38. Proyección artística en el edificio de las Cortes de CYL.  
Fuente: <https://www.elnortedecastilla.es/castillayleon/edificio-cortes-castilla-20170702130203-nt.html>

## a. Conceptos fundamentales de las fachadas multimedia

A la hora de estudiar este tipo de sistemas, hay que tener en cuenta múltiples variables. No todas las referencias construidas cumplen con todas, pues no hablamos de un sistema en absoluto estandarizado y, en función de las fechas de construcción, aunque se den en un breve período de tiempo, las aportaciones tecnológicas en este campo son continuas y esto genera una gran variedad de resultados.

Así pues, basándome en un artículo de Gernot Tscherteu, director en Europa del Media Architecture Institute publicado en 2008 con motivo de la exposición “Media Façade Festival” (Imagen 39), se procede a la enumeración de los principales factores para tener en cuenta en la proyección de este tipo de arquitecturas.

### Propiedades de la imagen

**Resolución.** Es la cantidad de píxeles de que dispone la pantalla. Puede variar de cientos a millones dependiendo del tipo de sistema empleado, sin que necesariamente el proyecto sea de menor calidad. Lo que está claro es que una mayor resolución aporta una mayor nitidez y la capacidad de reproducir imágenes y videos más detallados.

**Distancia entre píxeles.** Factor ligado a la resolución directamente.

**Difusión.** Mediante la superposición de elementos de difusión, se puede aumentar la superficie iluminada del píxel. Un punto LED de escasos milímetros puede iluminar un metro cuadrado de superficie de esta manera. Eso sí, reduciendo la densidad de la luz.

**Distancia del observador.** Hay que considerar desde donde se va a observar el edificio que incorpora la fachada y, en caso de que la vista principal sea lejana, con píxeles grandes y separados, intentar que desde cerca la imagen sea agradable, aunque no se puede observar correctamente el mensaje que publica.

**Brillo.** Factor para tener en cuenta si, por ejemplo, las pantallas tienen que estar encendidas incluso habiendo luz del día. Demasiado brillo puede generar deslumbramientos.

MEDIA FACADES FESTIVAL  
WWW.MEDIAARCHITECTURE.ORG



MEDIA FACADES EXHIBITION  
DEUTSCHES ARCHITEKTUR ZENTRUM (DAZ)  
GERMAN CENTRE FOR ARCHITECTURE  
.....  
BERLIN, OCT 16 - DEC 12 2008

Imagen 39. Portada del "Media Facades Festival" de Berlín en 2008. Fuente: [https://www.mediaarchitecture.org/wp-content/uploads/sites/4/2008/11/media\\_facades\\_exhibition\\_companion.pdf](https://www.mediaarchitecture.org/wp-content/uploads/sites/4/2008/11/media_facades_exhibition_companion.pdf)



## Integración de la pantalla en el edificio

Es un factor imprescindible, pues el sistema debe estar completamente integrado en el edificio para no dar la sensación de funcionamientos independientes, como si fuera una valla publicitaria. Aunque estos sistemas se pueden implementar posteriormente a la realización del edificio, a modo de rehabilitación, suelen obtenerse mejores resultados cuando sistema de fachada y edificio son diseñados paralelamente.

Una correcta integración incorpora en su diseño aparte de la fachada y lo que muestra, los efectos que genera espacialmente, tanto interior como exteriormente.

## Permanencia o Temporalidad

Factor importante, aunque no diferencial, relacionado con la integración, pues es habitual que el hecho de que estos sistemas se implanten de manera permanente suponga una mejor calidad, aunque esto no tiene porqué ser así directamente, como se puede mostrar en decorados que se utilicen para publicidad o arte.

## Dimensionalidad

Esta variable corresponde a que los edificios no están concebidos como superficies planas sino como elementos tridimensionales. Para una integración máxima estos sistemas pueden ser realizados también como superficies tridimensionales, ocupando más de una fachada del edificio, su instalación en superficies curvas (Imagen 40), o la proyección hacia los espacios interiores del edificio. Esto último es muy complejo de resolver de manera adecuada, en los casos en que el edificio tenga ocupantes en su interior.

## Transparencia y translucidez

Imprescindible para una correcta integración del sistema es que no afecte de forma negativa a los ocupantes del edificio. Es muy importante que al interior del edificio acceda suficiente luz natural y de una forma correctamente distribuida para el confort visual de las personas del interior.

No menos importante debe ser que permita la vista adecuada del interior al exterior, y que además esta sea agradable, sin que, por ejemplo, los ocupantes tengan que ver todas las conexiones internas del sistema.

Además, frente a fachadas con superficies de dispersión, estas pueden reflejar la luz al interior, lo que puede generar deslumbramientos internos, por lo que hay sistemas que incluyen persianas que se bajan una vez se encienden las luces de la fachada.



Imagen 40. Taman Angrek 2011, (Indonesia, Yakarta) El Grupo Mulia. Fachada de 354 metros de longitud, curva y 25 de alto. Se adapta a la forma del edificio. + de 8.500.000 píxeles Led RGB. Fuente: <https://awards.mediaarchitecture.org/mab/project/121>

## Consumo de energía y sostenibilidad



Al igual que cualquier otro sistema de iluminación, estos sistemas consumen energía, y en ocasiones mucha, aunque se empleen elementos de bajo consumo (LED), su elevadísima cantidad, o su utilización permanente, incluso haciendo frente a la propia luz del día, es energéticamente cuestionable cuanto menos. La inclusión en su funcionamiento de la utilización de energías renovables puede ser un punto para la justificación.

Por otra parte, hay que tener en cuenta la sostenibilidad desde el punto de vista de los consumos de producción, el ciclo de vida y la reciclabilidad de estos sistemas y sus componentes.

### Contenido audiovisual con respecto al edificio

El contenido debe estar relacionado con el lugar, la gente y el edificio (Imagen 41), no únicamente a la publicidad del propietario del edificio, mostrando publicidad constantemente. Un equilibrio en este sentido puede generar una mejor publicidad que su uso expreso para ello, produciendo efectos a largo plazo más beneficiosos por el reconocimiento positivo del edificio y no tanto por los productos que nos puede vender.

### Interacción

La posibilidad de que las personas interactúen con estos sistemas de forma activa les da una mayor calidad a la hora de que la gente los asimile de una mejor manera, por ejemplo, dándoles la oportunidad de modificar los diseños instantáneamente.

Imagen 41. Estadio Allianz Arena (Múnich, Alemania) de Herzog & de Meuron (2006). Estadio iluminado con la bandera de Alemania para un partido de la selección nacional de fútbol. Fuente: <https://www.expansion.com/directivos/deporte-negocio/album/2016/12/22/585c2c>

## b. Funcionamiento del sistema

El funcionamiento de este tipo de sistemas suele ser el mismo para todos los tipos, independientemente del sistema de iluminación empleado.

En primer lugar, hay que realizar la instalación de los paneles o mallas que se han diseñado previamente en el proyecto. Una vez instalado, deben conectarse a la corriente y al centro de control, donde se realizan los diseños mediante ordenadores de las proyecciones que se van a realizar.

La conexión para enviar la información puede ser mediante un sistema de cableado centralizado o bien mediante el envío de esta mediante Wifi. Lo más común es modular las pantallas en bloques a la hora de instalarlos y conectarlos, así como para introducir la programación de los pixeles al diseñar las proyecciones.

Los módulos irán conectados a la corriente mediante fuentes de alimentación que actuarán como transformadores, reduciendo el voltaje de la corriente para adaptarlo al soportado por el sistema.

En la (Figura 30) se puede ver el esquema de un sistema de malla metálica con Led, perteneciente al sistema Mediamesh®, de tipo centralizado, así como las longitudes máximas que pueden separar las partes del sistema

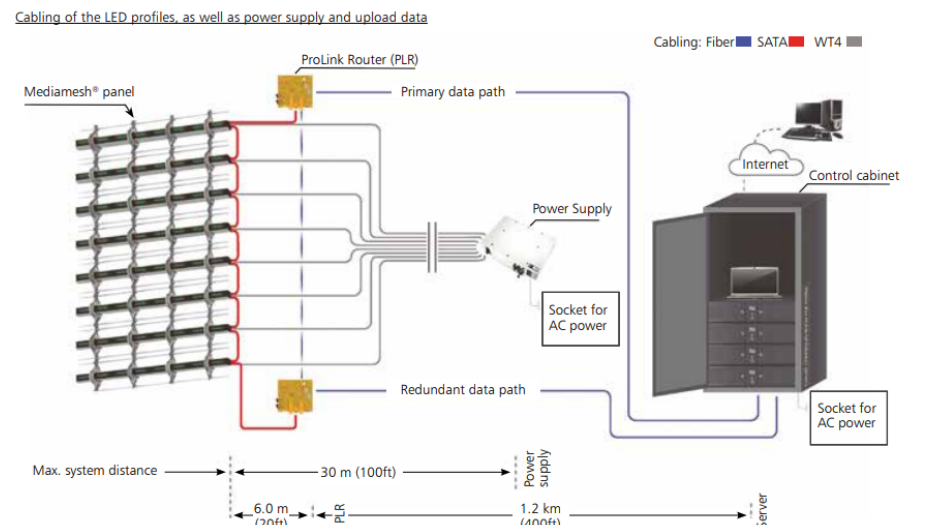


Figura 30: Esquema de instalación y funcionamiento del sistema Mediamesh®.

Fuente: [https://www.gkdmalfabrics.com/malfabrics/mediamesh\\_v4.html](https://www.gkdmalfabrics.com/malfabrics/mediamesh_v4.html)

### c. Problemática de diseño

La aparición vertiginosa de este tipo de arquitectura en las últimas dos décadas ha generado que aparezca una serie de problemas particulares a la hora de diseñarlas y que afectan a multitud de parámetros. Por esto mismo, el artículo de Jasna Čikić-Tovarović, Nenad Šekularac y Jelena Ivanović-Šekularac publicado en 2011 “*Specific problems of media facade design*”, sobre los problemas a la hora de diseñar este tipo de fachadas servirá como guía a la hora de diseñar las fachadas y mostrará los datos a tener en cuenta.

#### La posición que toma la fachada multimedia en los propios edificios

Factor para tener en cuenta pues podemos ubicarla en una fachada, en varias o envolviendo todo el edificio. Por otro lado, puede situarse como un hito dentro del edificio.

Una vez escogida la posición existen múltiples factores para tener en cuenta:

- Estudiar la influencia que tiene con lo que pase en el entorno próximo para evitar problemas como deslumbramientos en vehículos y viandantes.
- Estudiar el nivel de detalle que tendrá la fachada en función de la forma en que el proyectista quiere que se observe y lo que quiere que se observe.
- Tener en cuenta la posibilidad de que, si se instala en una zona del edificio en el que se disponen huecos, las luces internas distorsionen el contenido expuesto en la fachada.
- Estudiar la presencia de vegetación de gran porte y otros obstáculos que impidan o dificulten la visión deseada.
- Posibilidad de que si se sitúa cerca de otra fachada similar se produzcan conflictos visuales y competencia.
- La forma y la posición en la que se sitúa la fachada multimedia no pueden ser las mismas para toda la superficie, especialmente en edificios altos o de formas complejas, por lo que dependiendo de esta posición y formas se emplearán unas tecnologías u otras (Figura 31).

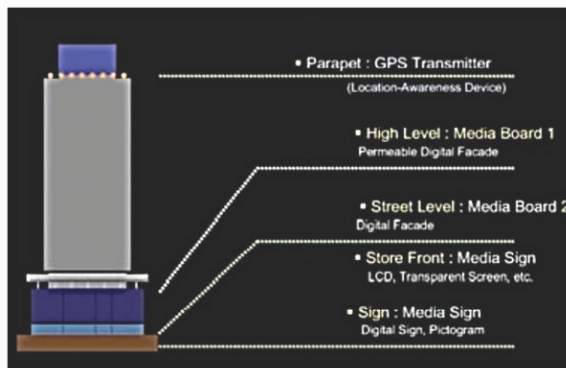


Figura 31: Tipo de fachada multimedia en función a la posición en el edificio. Fuente Jasna Čikić-Tovarović, Nenad Šekularac, Jelena Ivanović-Šekularac. Architecture and Civil Engineering Vol. 9, No 1, 2011, pp. 193 - 203

### Forma y tamaño de la fachada multimedia

En la actualidad estas fachadas son muy adaptables a diferentes formas, pudiendo ser planas o curvadas en una o dos direcciones. De esta manera pueden ocupar una fachada plana pero también pueden girar en las esquinas de los edificios, aunque hay que ver como resulta esto en la proyección de la imagen.

Por otra parte, el tamaño tampoco supone un problema a la hora de proyectarlas, al menos por posibilidades técnicas de los fabricantes de este sistema.

### Integración con el espacio en el que se encuentra el edificio, con respecto a otros edificios, con respecto a viandantes y con respecto a los ocupantes de este

La integración de la fachada dentro del edificio a menudo tiene que ver con la forma en la que es concebida, por ejemplo, cuando las fachadas se instalan en el edificio tiempo después de que este sea construido, sin que ésta estuviera prevista. En este caso la integración suele ser negativa, pues actúa como un elemento independiente dentro del edificio.

Una manera de integración común es la construcción de dobles pieles, y entre las cuales se instalan los elementos de iluminación.

Desde el punto de vista de los ocupantes del edificio, hay dos puntos especialmente relevantes, la entrada de luz al edificio y la posibilidad de que los ocupantes puedan mirar correctamente el exterior son elementos que obstaculicen las vistas. De este modo existen fachadas mediáticas transparentes, semitransparentes u opacas.

Con respecto al entorno y los edificios colindantes, es importante decir que este tipo de fachadas puede generar inconvenientes a los edificios próximos por deslumbramientos tanto de días como de noche, haciendo que se dé una pérdida de confort (Imagen 42).

Dependiendo de la zona en la que se instalen estos sistemas puede generar problemas o no. Su instalación en localizaciones cuyos usos mayoritarios son de tipo comercial u oficina no generará los mismos conflictos que si son en lugares residenciales. Por ello, cuando se instalan en estos últimos es lógico pensar que su instalación debe ser en las plantas bajas del edificio.



Imagen 42. Times Square (Nueva York). Punto de fachadas multimedia referencia en el mundo, en el que es complejo enfocarse en un punto debido al exceso de información. Fuente: <https://www.voyage-prive.es/ppl/viajes-estados-unidos-nueva-york-holiday-inn-nyc-times->

### **Falta de normativa específica del sistema frente a los cambios bruscos de temperatura, viento y fuego**

La falta de normativa específica para este tipo de sistemas obliga a fabricantes y proyectistas a aplicar las normativas de sistemas similares a los que se instalan o incluso sistemas que no tienen mucho que ver con éstos, de modo que se complejiza a la hora de fabricar componentes al no disponer de un marco legal sobre el que basarse.

### **Necesidad de que el sistema y sus componentes sean sostenibles, reciclables y su producción también**

En este sentido es necesario tener en cuenta las premisas de sostenibilidad convencionales más otras añadidas debido a la considerable diferencia de este sistema con respecto a otros.

Energéticamente es necesario tener en cuenta el consumo de la propia fachada durante su fabricación, transporte e instalación, uso durante su vida útil, y que los materiales que la componen sean reciclables una vez se retire la fachada del edificio o este llegue al final de su vida útil.

En cuanto a sostenibilidad se refiere, es preferible que la fabricación y el uso de estos sistemas empleen energías renovables, llegando incluso a producir su propia energía por medio de energías renovables.

### **d. Reacciones generadas por las fachadas multimedia en el entorno**



Existen diversos puntos de vista sobre los que se puede enfatizar la incidencia de las fachadas multimedia en la arquitectura contemporánea a nivel de escala.

A nivel paisajístico, estos elementos pueden aparecer como hitos de referencia o faros marítimos (Scully & Mayze, 2018), hitos que sobresalen del resto de edificaciones y como reclamos mediáticos que hacen reconocible un lugar (Imagen 43).

A nivel ciudad, la aportación suele ser meramente publicitaria y comercial, alejándose de la ciudad tradicional, con su centro histórico desarrollado durante siglos o incluso invadiéndolo, empleándolo como mero marco de proyección.

A nivel personal, en ciertas ocasiones, evitando el tema publicitario y fomentando el cultural, pueden realizarse actuaciones interactivas, en las que el espectador puede experimentar una inmersión virtual.

Imagen 43. Torre Glòries, antes Agbar (Barcelona) de Jean Nouvel (2005). Edificio que actúa como faro, rompiendo el skyline de la ciudad. Fuente: [https://www.theinoxincolor.com/portfolio\\_item/torre-agbar/](https://www.theinoxincolor.com/portfolio_item/torre-agbar/)

Desde el punto de vista material, encontramos por un lado las fachadas de alta resolución y por otro las de baja resolución. Éstas últimas están mejor asimiladas y orientadas dentro de la sociedad (Imagen 44). Sin embargo, las de alta resolución generan conflictos a la hora de ser interpretadas socialmente, por su capacidad de remodelar el paisaje.

Con respecto a estos sistemas surge la duda del contenido proyectado y de los efectos que este puede producir en los lugares, siendo en su mayoría publicidad de grandes multinacionales. Por esto, surge la duda de si el contenido, y en general el sistema, debe ser sometido a regulación por parte de las autoridades de las ciudades que cuentan con estos elementos. Esto ocurre en EE. UU., por ejemplo, donde la Administración de Tráfico de Carreteras, prohíbe la reproducción de vídeo en pantallas de alta resolución junto a las carreteras por la posibilidad de distracción y accidente. (Scully & Mayze, 2018)

Esto último genera una cuestión, y es la de la duración adecuada a las proyecciones en las fachadas mediáticas, pues debe ser mayor a la instantaneidad de una fotografía, pero menor a la de una película convencional.

Michael Scully, dijo en su artículo *“Media Façades: When Buildings Perform”* en 2018, que las imágenes a representar en las fachadas multimedia debían ser así:

*“este video debe decorar el paisaje urbano, no definirlo; debe ser asociativo a las sensibilidades culturales de la comunidad; debe ser ilustrativo sin ceder a las tentaciones del comercio; debe ser fluido, uniforme y único sobre sí mismo; debe contar una historia visual pero no en una forma tradicional de la televisión o el cine; debe reflejar su entorno abordando, posiblemente, las estaciones, las fiestas, las celebraciones locales y / o el clima; debe ser dócil y perenne.”*



Imagen 44. Aspire Tower (Doha, Qatar) de Hadi Seenan (2006). Fachada multimedia de baja resolución realizada para los Juegos Asiáticos de 2006. Fuente: <https://www.telas-arquitectonicas.com/es/galeria-de-proyectos/details/aspire-tower-4/>

## e. Tipos de fachadas multimedia



Imagen 45. Kunsthaus (Graz, Austria) de Peter Cook y Colin Fourier (2003). Fachada multimedia con iluminación de fluorescentes circulares.

Fuente:

<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/kunsthau-de-graz/>

A pesar de que este tipo de fachadas tienen un corto período de historia, podemos encontrarnos con diferentes sistemas en lo que se refiere a los tipos de formas de iluminarlas. A continuación, se muestran los más comunes en la actualidad.

### Fachadas de baja resolución sin tecnología LED

Este tipo de sistema emplea luminarias de tipo halógeno o fluorescente y están englobadas en la categoría de fachadas de baja resolución (Imagen 45), las cuales pueden emitir imágenes concretas de, por lo general, un único color sobre un fondo oscuro.

Permiten la posibilidad de emitir imágenes y textos en movimiento e imágenes poco definidas que se desplazan a lo largo de la superficie que ocupan dentro de la edificación y por lo general se proyectan para ser observadas de una distancia considerable para poder captar de forma correcta el mensaje.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad y el ahorro energético, estos sistemas no son los más indicados, pues las luminarias que incorporan ya no son eficientes en comparación con la tecnología LED y, la iluminación que se pueden aportar este tipo de sistemas se puede resolver de igual manera con LEDs que además tienen la posibilidad de incorporar mayor variedad cromática.

### Fachadas de baja resolución de LED

A diferencia de las anteriormente nombradas, esta tipología emplea LEDs, que pueden ser RGB o de un solo color, para generar iluminaciones de baja resolución de funciones similares a las de fluorescentes y halógenos.

En este caso, los píxeles LED suelen incorporar superficies de dispersión hacia el exterior, de modo que la luz emitida por cada píxel aumente su superficie de iluminación, pudiendo así localizarlos a mayor distancia entre sí (Imagen 46).

Con este sistema se consigue una mayor eficiencia energética por la posibilidad de implantar menos puntos de luz de bajo consumo y pudiendo obtener mayor variedad de tonalidades y colores en el resultado final.



Imagen 46. Green Pix (Pekín, China) de Simone Giostra & Partners con ARUP (2008). Iluminación Led de baja resolución. Fuente:

<https://www.archdaily.com/245/greenpix-zero-energy-media-wall/500ebb6628ba0d0cc7000098-greenpix-zero->



## Fachadas de mallas metálicas con tiras de LED

Una de las tecnologías más empleadas para la aplicación de fachadas multimedia de alta resolución, es la de las mallas metálicas con tiras de luces LED incorporadas. Este tipo de sistema consiste en la superposición de una doble piel sobre la fachada del edificio, que puede ser opaca o no, pues debido a que la malla metálica puede variar la distancia entre tiras de LED, se puede conseguir una piel semitransparente que permite la entrada de la luz natural al interior de los edificios, y permite las vistas del interior al exterior de una forma más o menos permeable.

Además, estos sistemas actúan como filtros de la luz solar, de modo que reducen los aumentos de temperatura en el interior de los edificios y el consecuente consumo de energía de aclimatación con aires acondicionados.

Generalmente estas mallas son de acero inoxidable, aunque pueden realizarse de otros metales para dar otras tonalidades a la piel durante el día, mientras la fachada se encuentra presumiblemente apagada.

Esta materialidad nos permite dar solución a paños de grandes dimensiones, pues además se pueden adaptar a formas complejas. Además, la realización en metal nos asegura que una vez termine su ciclo de vida en el edificio, pueden ser reutilizables y reciclables.

Dentro de esta tipología encontramos dos variantes. Mallas con tiras de LED que iluminan hacia el **exterior** y mallas con tiras de LED que iluminan hacia el **interior**.

**Iluminación hacia el exterior.** Esta tipología consigue una mayor resolución al enfocarse directamente hacia los espacios exteriores, permitiendo una mayor nitidez de imagen, en función del tipo de barras de LED que se introduzcan, permitiendo una vista nítida desde distancias cortas de contenidos concretos (Imagen 47).

**Iluminación hacia el interior.** Esta tipología se emplea para fachada multimedia de baja resolución. Las luminarias LED se disponen colgadas fuera de la malla metálica enfocándose hacia ella, de modo que cuando actúan, en función de la distancia dispersan la luz y aumentan su superficie, generando efectos dinámicos en la fachada, con posibilidad de introducir variedad de colores, pero no contenidos concretos (Imagen 48).

La instalación de ambos sistemas se consigue mediante subestructura metálica con tensores en sus extremos, de modo que la malla no se deforme distorsionando las imágenes.



Imagen 47. Indemmann (Inden, Alemania) de Mauner United Architects (2009). Escultura-mirador que incorpora tecnología Illumesh (GKD). Fuente: <https://blog.bellostos.com/?p=3312>



Imagen 48. Estadio Wanda Metropolitano (Madrid) de Cruz y Ortiz (2017). Pantalla multimedia de alta resolución con sistema Mediamesh (GKD). Fuente: <https://www.gkd-group.com/cl-es/fachadas-mediaticas-transparentes/led-fachadamediatica-atletico-madrid/>

## Fachadas de módulos LED opacos



Imagen 49. Instalación de fachada multimedia de paneles opacos del Estadio de San Mamés (Bilbao, España). Fuente: <https://www.deia.eus/athletic/2015/08/11/san-mames-estrenar-viernes-pantalla/450964.html>

Las fachadas de módulos LED opacos son unas de las más empleadas a la hora de realizar este tipo de sistemas debido a la facilidad de instalación que suponen (Imagen 49), así como a la posibilidad de ser adaptables, ya que en la actualidad también se diseñan módulos flexibles, que permiten su colocación de formas curvas.

Mediante la adición de módulos se pueden conseguir superficies continuas de miles de metros cuadrados con una homogeneidad impresionante, además esta adición de multitud de metros cuadrados de pantalla LED, incorpora millones de píxeles (Imagen 50).

Para la realización de sistemas con curvaturas complejas, será necesaria la realización de una subestructura que vaya dando la forma a los diferentes módulos.

Estos paneles se realizan a modo de envolvente exterior, por lo que están diseñados para aguantar a la intemperie, aunque por otra parte la vida útil de los LED se ve afectada por su exposición continua a la intemperie y los cambios de temperatura, por lo que también es posible su disposición en el interior de edificios con fachadas transparentes, aunque esto suponga eliminar dicha transparencia.

Dependiendo de los fabricantes se estima una vida útil de estos paneles de entorno a los 10 años, por lo que es aconsejable protegerlos de una forma adecuada, y realizar mantenimientos adecuados y periódicos.



Imagen 50. Estadio San Mamés (Bilbao, España) de César Azkarate y Mikel Sanz de Prit (2013). Fuente: <https://newsletter.laliga.es/futbol-global/los-estadios-de-laliga-toman-protagonismo-y-se-lucen-para-homenajear-a-los-sanitarios-en-la-crisis-del-covid-19>

Por otra parte, existen algunos fabricantes que realizan marcos metálicos en los propios paneles, pudiendo colgarlos directamente y simplificando las subestructuras anteriormente mencionadas. El inconveniente es que esta subestructura de los paneles hace que pesen más, en torno a  $30 \text{ kg/m}^2$ , factor nada despreciable a la hora de instalar este tipo de elementos en una rehabilitación o edificio en el que no estaba previsto este uso.

Una parte positiva de este tipo de sistema es la posibilidad de sustitución de módulos individuales en caso de que alguno sufra algún desperfecto. Las programaciones actuales, permiten que los controladores del sistema realicen análisis automáticos para comprobar el completo funcionamiento del sistema píxel por píxel, algo que ahorra tiempo en tareas de mantenimiento.

## Fachadas LED transparentes y semitransparentes

De una forma diferente a la que emplean las mallas metálicas exteriores anteriormente citadas, podemos conseguir fachada multimedia transparentes o semitransparentes mediante diferentes tecnologías.

### Semitransparentes

Existen dos métodos para este sistema. El primero se basa en módulos rígidos con subestructura propia que se colocan en el interior del edificio generando la fachada multimedia por medio de un armazón perimetral que interiormente lleva barras de LED dispuestas paralelamente (Imagen 51).

Dependiendo de la nitidez de imagen deseada y de la cantidad de transparencia que se le quiera dar al interior del edificio estas barras de LED estarán más juntas o separadas.

El segundo tipo se trata de una cortina de plástico en forma de cuadrícula en la que se disponen los LEDs, de modo que se emplea como si fuera una cortina. Por otro lado, esta solución se puede integrar dentro de la cámara dispuesta entre dos vidrios de muro cortina, aunque esto no es lo más usual, debido a que la posibilidad de mantenimiento y sustitución se complica sobremanera, teniendo que desmontar el vidrio completo.

Con estos dos elementos se calcula que se puede obtener una transparencia de un 80% en función del diseño de los elementos de panel o de cortina.

### Transparentes

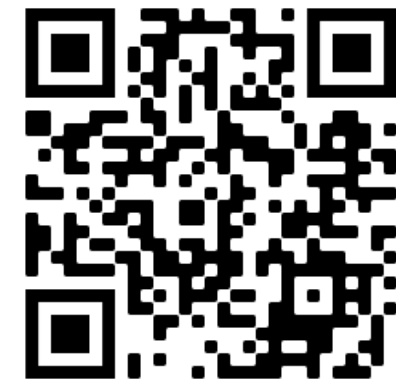
En la actualidad ya se diseñan vidrios templados con LED incorporados en el interior de un doble vidrio, o bien, existe otra tecnología desarrollada que se trata de la aplicación de una película adhesiva transparente que incorpora los LEDs y se pega en el vidrio del muro cortina, de modo que es prácticamente inapreciable y muy ligero, pudiendo ocultarse las conexiones en las carpinterías del muro cortina (Video 1).

Además de esto, existe la posibilidad de instalar otra película táctil interactiva, para dar la posibilidad de interactuar con el propio material.

Estas soluciones son complejas y se suelen encontrar más en interiores que en exteriores, debido a su poco desarrollo comercial y a que no se conoce con exactitud su respuesta a exposición continuada y su durabilidad.



Imagen 51. Cortina de Led semitransparente. Fuente: <https://dreamlux.es/noticias/tipos-de-pantallas-de-led-y-sus-clasificaciones/>



Video 1: Funcionamiento de lámina adhesiva transparente LED. Fuente: <https://streetcommunication.com/es/transparent-led-embedded-inside-a-glass-window-for-building-facade/>

### 3.4. Casos de estudio

#### Fachadas cinéticas. Instituto del Mundo Árabe (París, Francia) Jean Nouvel (1987)



El Instituto del Mundo Árabe de Jean Nouvel, es el primer ejemplo de gran relevancia de fachada cinética que se reconoce a lo largo de la reducida historia de estos sistemas (Imagen 52). La fachada sur del edificio cuenta con el diseño de unas celosías metálicas fotosensibles introducidas en la cámara intermedia de un doble acristalamiento. En contraposición con la fachada norte que se abre hacia el Río Sena.

Estas celosías, se comportan como un diafragma que se abre o cierra en función de la incidencia solar que reciben directamente, protegiendo el interior del edificio del exceso de radiación solar en caso de necesitarlo (Imagen 55).

Las celosías hacen referencia a la propia arquitectura árabe clásica, imitando a “Moucharabiehs”, en la que se necesitaba un filtro protector frente a las altas temperaturas, pero que también aportaba privacidad a los ocupantes del interior del edificio.

En total, la fachada cuenta con una cuadrícula compuesta por 240 paneles, los cuales cuentan con un diafragma central de mayor tamaño, y que a su alrededor se van disponiendo otros de dos tamaños diferentes, acumulando 73 por cada panel. Cada panel cuenta con un sensor fotoeléctrico, que capta la incidencia lumínica y térmica y acciona un motor que se encarga de mover los mecanismos que dirigen los diferentes diafragmas (Imagen 53). Además, flanqueando los paneles aparecen otros diafragmas que también actúan como celosías, pero independientes del panel central. De este modo la fachada acumula más 30.000 elementos de celosía, generando efectos interiores espectaculares (Imagen 54).

Imagen 52. Fachada Oeste del IMA.

Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/c/02-265617/clasicos-de-arquitectura-instituto-del-mundo-arabe-jean-nouvel/51ad51e2b3fc4b225b000014>



Imagen 53. Diafragmas pequeños conectados con la barra que los abre y cierra.  
Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/c/02-265617/clasicos-de-arquitectura-instituto-del-mundo-arabe-jean-nouvel/51ad51e2b3fc4b225b000014>



Imagen 54. imagen interior tamizada con los efectos de la celosía. Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/c/02-265617/clasicos-de-arquitectura-instituto-del-mundo-arabe-jean-nouvel/51ad51e2b3fc4b225b000014>



Imagen 55. Fachada Sur del IMA. Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/c/02-265617/clasicos-de-arquitectura-instituto-del-mundo-arabe-jean-nouvel/51ad51e2b3fc4b225b000014>

## Fachadas cinéticas. One Ocean Pavilion EXPO 2012 (Yesou, Corea del Sur), SOMA (2012)

El proyecto pertenece a un concurso ganado en 2009 para la EXPO de 2012 por parte del estudio austriaco SOMA. La zona en la que se ubica es la que aporta fuerza a la temática y la forma del pabellón, un antiguo puerto industrial en declive en Yesou, Corea del Sur.

El edificio, de forma orgánica, está compuesto por un cuerpo alargado que porta la fachada cinética en el lado Oeste, mirando hacia el resto de la EXPO. A este cuerpo alargado se le adosan varios troncos de cono que se anclan en el propio océano dando una nueva imagen al skyline y el alzado de la ciudad en este punto (Imagen 57).

Todos estos elementos cónicos se encuentran conectados por medio de una rampa que discurre por todo el largo de la cubierta, desde la “cola” del edificio, hasta un jardín estancial situado en la cubierta del tronco de cono de mayor tamaño del conjunto (Imagen 56).

La fachada cinética, situada al oeste del edificio, recuerda las branquias de los peces a medida que podemos observar su funcionamiento, abriéndose y cerrándose éstas para regular las condiciones lumínicas del espacio interior (Imagen 59). Por la noche, la iluminación LED tamiza las propias branquias generando aspectos muy llamativos (Imagen 58).

El sistema lo componen 108 láminas de FRP, que le aportan mucha resistencia a la vez que le otorga flexibilidad y, que van desde los 3 a los 13 metros de altura. Previa programación y acompañadas de una subestructura electromecánica, se pliegan y despliegan al aplicarles fuerzas de compresión o tracción en los extremos superior e inferior, pudiendo funcionar cada una de forma independiente respecto de las otras (Video 2).

El sistema se encuentra alimentado por grandes paneles fotovoltaicos situados en la cubierta, a la cual se puede acceder por la rampa anteriormente citada.



Video 2. Funcionamiento y fabricación del sistema. Fuente: [http://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme\\_pavilion&parent=2#](http://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme_pavilion&parent=2#)



Imagen 56. Imagen general del conjunto y la rampa de la cubierta. Fuente: [http://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme\\_pavilion&parent=2#](http://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme_pavilion&parent=2#)



Imagen 57. Imagen de los troncos de cono de la fachada este. Fuente: [http://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme\\_pavilion&parent=2#](http://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme_pavilion&parent=2#)



Imagen 59. Fachada cinética en posición abierta. Fuente: [https://www.archdaily.com/236979/one-ocean-thematic-pavilion-expo-2012-soma?ad\\_medium=gallery](https://www.archdaily.com/236979/one-ocean-thematic-pavilion-expo-2012-soma?ad_medium=gallery)

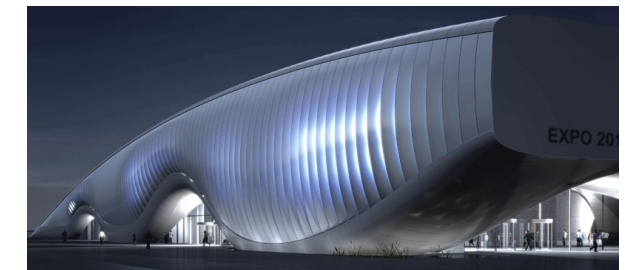


Imagen 58. Imagen nocturna con la iluminación Led de las branquias en funcionamiento. Fuente: [http://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme\\_pavilion&parent=2#](http://www.soma-architecture.com/index.php?page=theme_pavilion&parent=2#)

### **Fachadas cinéticas. Torres Al Bahar (Abu Dabhi, Emiratos Árabes Unidos) Abdulmajid Karanouh + Estudio Aedas (2012)**

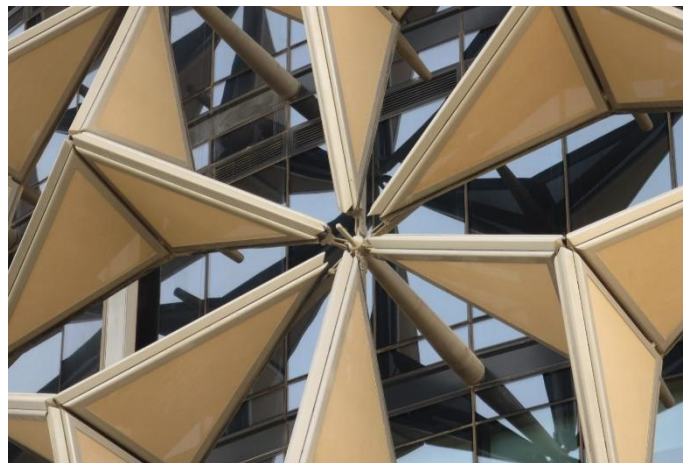


Las torres, proyectadas en 2008 y terminadas de construir en 2012, de 25 plantas cada una, pertenecen al Consejo de Inversores de Abu Dabhi, con el uso general de este tipo de rascacielos, el de oficinas.

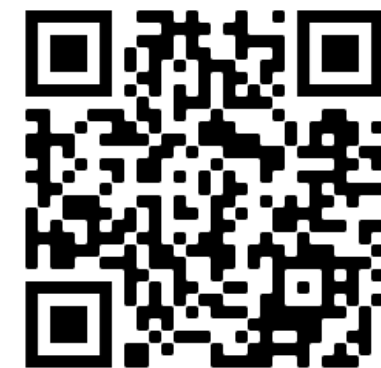
Frente a un clima tan severo como el de la ciudad de Abu Dhabi, temperaturas muy elevadas, seco y en el que frecuentemente se producen tormentas de arenas, se aplica una estrategia similar a la que empleó Jean Nouvel en el IMA de París, introduciendo la cultura árabe en el concepto de la celosía de fachada como elemento de protección solar (Video 3).

De este modo, se instalan más de 1000 parasoles inteligentes, generando una doble piel y empleando la geometría fractal. Cada uno de estos parasoles, de forma triangular, se compone de un marco tapizado con una membrana de PTFE y se fija a la estructura del edificio de manera puntual (Imagen 62), generando una malla de forma hexagonal (Imagen 62). Cada parasol aporta un 50% de reducción de incidencia solar al interior del edificio.

El sistema se encuentra alimentado por los paneles que se sitúan en la cubierta de las torres, de modo que cada panel previamente programado, se abrirá y cerrará, de forma progresiva (Imagen 60), una vez al día según el recorrido que lleve el sol. Una vez el sol se oculta, los paneles se abren por completo.



*Imagen 62. Fijación del sistema a la estructura portante del edificio.*  
Fuente: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/torres-al-bahar/>



Video 3. Video del conjunto y su funcionamiento. Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=RU7kXOR94qg>

Imagen 60. Funcionamiento progresivo según el recorrido solar.  
Fuente: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/torres-al-bahar/>

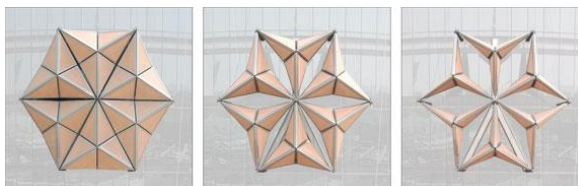


Imagen 62. Módulos triangulares que componen una malla hexagonal. Fuente: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/torres-al-bahar/>

### Fachadas multimedia. Kunsthaus (Graz, Austria) Peter Cook y Colin Fourier (2003)

El proyecto es promovido por la introducción de la ciudad y su centro histórico en Patrimonio Mundial Cultural en 1999. Debido a este nombramiento, la ciudad propuso un concurso para la realización de un Museo de Arte Contemporáneo, del que la ciudad carecía.

El ámbito en el que se sitúa el edificio es muy complejo de integrar, debido al contexto de centro histórico tradicional y abierto hacia el río Mura. La solución llevada a cabo fue la construcción de un elemento totalmente ajeno a su entorno, al que ellos mismos denominaron el “Friendly Alien” (Video 4).

El edificio, de forma orgánica, se amolda para el mayor aprovechamiento posible de parcela, en la que se encuentra un edificio preexistente que será conectado y empleado como cuerpo de servicios auxiliares (Imagen 64). Además, otro cuerpo rectangular, cierra el edificio en su zona sur, vestíbulo y acceso al museo, conectados en las plantas superiores por un puente que actúa como mirador; así como una pasarela-mirador en la planta más superior (Imagen 65).

La envolvente del cuerpo orgánico se concibe como una fachada multimedia de baja resolución que actúa con 930 luces fluorescentes circulares de 40W monocromáticos. Todos estos fluorescentes se cubren por medio de paneles de metacrilato que protegen las luminarias y dan la continuidad a la superficie curva del conjunto (Imagen 66).

Cada lámpara contiene su propia regulación, de modo que se pueden conseguir reproducciones de video a baja resolución, pero con gran dinamismo. Esto se emplea para producciones artísticas y culturales; además de la exposición del contenido temporal que se encuentra en el museo. Su situación junto al río favorece el uso de este tipo de fachada digital, ya que se aprecian mejor desde la distancia (Imagen 63).



Imagen 64. Vista aerea del Friendly Alien. Fuente: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/kunsthau-de-graz/>



Imagen 66. Sistema de fluorescentes y paneles de metacrilato. Fuente: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/kunsthau-de-graz/>



Imagen 65. Vista del bloque de acceso, la pasarela y la fachada multimedia en utilización. Fuente: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/kunsthau-de-graz/>

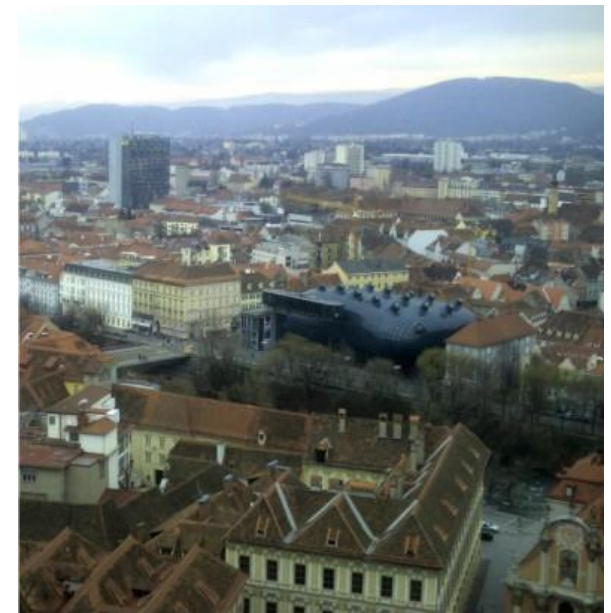


Imagen 63. Vista aerea relación con el río y acceso. Fuente: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/kunsthau-de-graz/>



Video 4. Funcionamiento de la fachada multimedia de baja resolución. Fuente: [https://www.youtube.com/watch?v=Uq1lkrAJ\\_0](https://www.youtube.com/watch?v=Uq1lkrAJ_0)

### **Fachadas multimedia. Biblioteca Nacional (Minsk, Bielorrusia) Viktor Kramarenko y Mihail Vinogradou (2006)**



El proyecto se realizó en 1989, pero fue construido hasta 2002. Se concibe como el centro de la cultura de la ciudad y del país, donde se acumulan más 8 millones de libros, en un entorno rodeado de espacios libres públicos en los que se realizan actuaciones y eventos culturales (Imagen 68).

La concepción y la forma de diamante geométrica del cuerpo central, así como las dimensiones, más de 75 metros de altura, hace referencia a una reinterpretación del Brutalismo soviético por su monumentalidad. El gran prisma descansa sobre un basamento en forma de circunferencia que lo flanquea, y abre patios interiores para la observación del gran diamante central. Las comunicaciones se sacan al exterior, dejando el gran prisma como depósito de libros y acumulando gran parte de las salas de lectura que hay en el edificio.

La fachada exterior del prisma es de vidrio (Imagen 69), formando una doble piel, lo que produce su reflexión durante el día. Para que durante la noche se produzca el mismo efecto, se introduce una fachada multimedia Led de baja resolución. Esta fachada multimedia la componen un total de 4646 Leds de tipo RGB (Video 5), reducido número teniendo en cuenta la cantidad de superficie a iluminar, repartidos de forma homogénea por todas las caras laterales del diamante (Imagen 67). La fachada es completamente programable mediante software y dispone de sistema de detección de errores de cada píxel, facilitando el mantenimiento.

La disposición del muro cortina como doble piel no impide la entrada de luz durante el día, aunque durante la noche, la iluminación interior del edificio aparece por detrás de la fachada multimedia, algo que puede resultar incómodo en la visualización de las animaciones.

Video 5. Funcionamiento de la fachada multimedia de baja resolución Led. Fuente: [https://www.youtube.com/watch?v=X\\_8M27LK9Hs&t=123s](https://www.youtube.com/watch?v=X_8M27LK9Hs&t=123s)



Imagen 69. Imagen exterior del acceso al edificio. Fuente: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/biblioteca-nacional-de-bielorrusia/>



Imagen 67. Vista nocturna del edificio con la fachada iluminada. Fuente: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/biblioteca-nacional-de-bielorrusia/>



Imagen 68. Vista lejana del conjunto. Fuente: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/biblioteca-nacional-de-bielorrusia/>



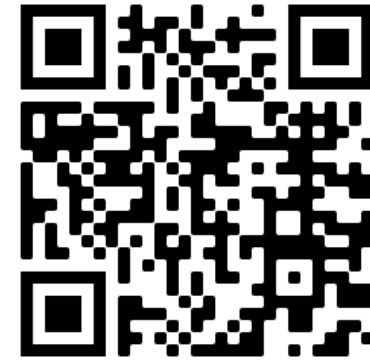
### Fachadas multimedia. Atelier a Torcè (Torcè, Francia) Batir France (2007)

El proyecto en cuestión se trata de una nave industrial, de industrias lácteas, situada en un polígono próximo a la localidad francesa de Vitra, junto a la carretera que une Le Mans con Rennes.

Lo que nos interesa de este edificio es su fachada multimedia situada en la parte delantera, a modo de balla publicitaria, orientada hacia la carretera (Video 6). El edificio incorpora la patente del fabricante GKD de mallas metálicas empleadas en fachadas multimedia semitransparentes, denominada Illumesh® (Imagen 70).

El sistema consiste en la disposición de una malla metálica de acero inoxidable tensada, en la que se disponen barras de Led dispuestas hacia afuera de la malla, iluminando hacia el interior del edificio. Cuando los Leds se encienden, iluminan la malla metálica que las sostiene, así como el paramento del edificio, de modo que estos ejercen de pantalla de dispersión (Imagen 71). Haciendo que, con menos puntos de luz, se ilumine más superficie, generando una fachada multimedia de baja resolución semitransparente, consiguiendo además una protección solar del interior del edificio, sin evitar que la iluminación natural del día se adentre en el mismo (Imagen 72).

Este edificio fue el primero en incorporar este sistema de fachada multimedia, con una superficie cubierta superior a los 100 m<sup>2</sup>, e incorporando 1490 píxeles de Leds RGB.



Video 6. Funcionamiento del sistema Illumesh. Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=p2kO1GuSLg>



Imagen 71. Sistema encendido. Fuente: <https://architizer.com/projects/atelier-a-torce/>



Imagen 72. Sistema apagado. Fuente: <https://architizer.com/projects/atelier-a-torce/>

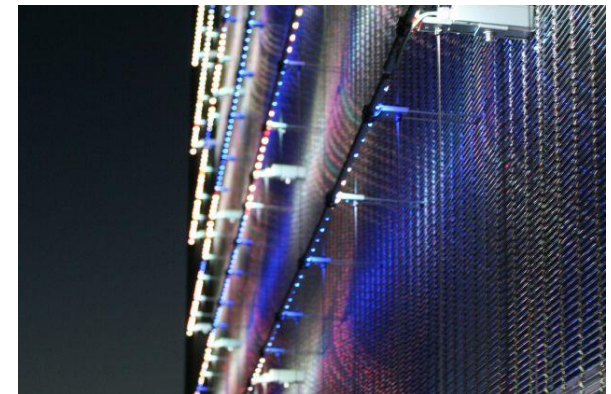


Imagen 70. Detalle del sistema Illumesh. Fuente: <https://www.gkd-group.com/cl-es/fachadas-mediaticas-transparentes/estudio-torce/>

### **Fachadas multimedia. Estación de Autobuses de la Autoridad Portuaria. (Nueva York, EE. UU.) (2011)**

El proyecto aquí enunciado se basa en la rehabilitación de la fachada de la Terminal de Autobuses de la Autoridad Portuaria de Nueva York, situada en Manhattan, que databa del año 1950. El edificio se sitúa en la esquina entre la Calle 42 y la 8ª Avenida, siendo una zona de tráfico rodado concurrida.

La pantalla, instalada en la esquina del edificio entre las dos vías nombradas anteriormente cuenta con la tecnología del grupo GKD (Video 7). En este caso, se instaló la fachada de tipo Mediamesh® (Imagen 75), la cual se basa en la colocación de una malla de acero inoxidable, en la que se incrustan tiras de Led de tipo RGB que permiten la introducción de fachadas multimedia de alta resolución semitransparentes (Imagen 74).

Además de aportar altas prestaciones visuales, permite el paso de la luz a través de la propia malla, y protege el interior del edificio del exceso de radiación solar. Este caso, es el de la mayor pantalla de este fabricante con el empleo de esta tecnología, sumando una superficie total de 560 m<sup>2</sup>, y 1,28 millones de puntos Led RGB (Imagen 73).



Video 7. Funcionamiento de la pantalla de la Terminal de Autobuses de Manhattan, Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=mybA1aBZ03g>

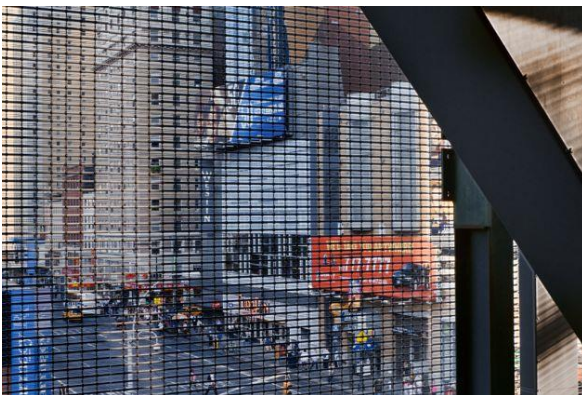


Imagen 74. Vista desde el interior del edificio a través de la fachada multimedia. Fuente: <https://www.gkd-group.com/cl-es/fachadas-mediaticas-transparentes/autoridad-portuaria/>



Imagen 75. Sistema mediamesh del grupo GKD. Fuente: <https://www.gkd-group.com/cl-es/premios/mediamesh-good-design-award/>



Imagen 73. Vista exterior de la fachada. Fuente: <https://www.gkd-group.com/cl-es/fachadas-mediaticas-transparentes/autoridad-portuaria/>

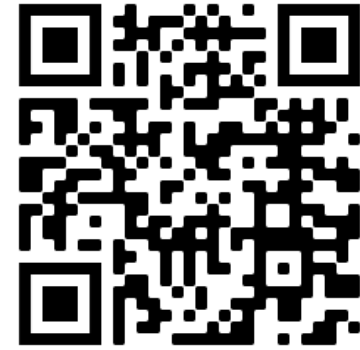
### Fachadas multimedia. Taman Angrek Mall (Jakarta, Indonesia) The Mulia Group (2011)

El proyecto se basa en la renovación de la fachada de un centro comercial situado en Yakarta, capital de indonesia, llamado Taman Angrek. El edificio de grandes dimensiones se sitúa en el corazón de la ciudad y es flanqueado por vías rodadas de gran capacidad, lo que le da una gran visibilidad. En este contexto de centralidad y ante la posibilidad de promocionarse frente a tanto movimiento de gente, surge la propuesta de fachada multimedia desarrollada por STANDARDVISION, promovida por el Grupo Mulia (Video 8).

Esta fachada, a fecha de su instalación fue la mayor y más larga fachada multimedia del mundo, con 354 metros de longitud y 25 metros de altura, cubriendo una superficie curva que se va adaptando y desarrollando a lo largo de todo el centro comercial (Imagen 76).

La fachada, soportada por una subestructura metálica, cuenta con partes de alta y de baja resolución. Sobre la subestructura se fijan barras de aluminio (28152) de aproximadamente 2,5 metros de longitud, en las que se disponen tiras de Led con más de 8,5 millones de puntos Led de tipo RGB en total.

Las zonas de alta resolución cuentan con pixeles de 42 x 42 mm, mientras que las de baja resolución de 166 x 166mm. Las primeras funcionan durante todo el día (Imagen 77), y las segundas se encienden al caer la noche, llegando a ser visibles a más de 10 kilómetros de distancia (Imagen 78). Mientras que en las partes de alta resolución se muestra publicidad, las partes de baja resolución están reservadas para la proyección de arte digital.



Video 8. Funcionamiento de la fachada multimedia. Fuente: [https://www.youtube.com/watch?v=kvG2LTH\\_RGo](https://www.youtube.com/watch?v=kvG2LTH_RGo)



Imagen 78. Vista lejana de la fachada en funcionamiento. Fuente: <https://awards.mediaarchitecture.org/mab/project/121>



Imagen 77. Vista de la fachada durante el día. Fuente: <https://www.google.es/maps/@-6.1773836,106.7939514,3a,90y,259.44h,88.58t/data=!3m6!1e1!3m4!1se-CT-i7T6HS8BMROZc1scg!2e0!7i16384!8i8192?hl=es>



Imagen 76. Vista cercana de la fachada en funcionamiento. Fuente: <https://awards.mediaarchitecture.org/mab/project/121>

## **4. Conclusiones.**

El concepto de fachada y su materialidad ha sufrido un cambio drástico en los últimos tiempos; llegando al punto de que el propio concepto de fachada ha desaparecido, apareciendo conceptos nuevos para definir las superficies que recubren los edificios, como pueden ser envolventes, pieles, membranas, etc.

Estas envolventes han sufrido una desmaterialización paulatina durante la segunda mitad del siglo XX y lo que llevamos del XXI, convirtiéndose en sistemas complejos, divididos en múltiples capas que deben cumplir una función específica en el cerramiento.

La complejización de estos sistemas, ha sido en parte debida a la necesidad de dar respuesta a un problema de primer orden mundial, como es el deterioro que los edificios y las actividades que desarrollan en su uso, fabricación y derribo. Este problema supone un porcentaje muy elevado del consumo energético mundial, 60% del total.

Para mejorar la sostenibilidad de la arquitectura se desarrollan nuevas líneas de investigación, criterios de diseño y sistemas, que dan respuesta a los condicionantes actuales. En este caso, en la actualidad se está trabajando sobre el concepto de la arquitectura regenerativa, en la cual se quiere llevar a cabo un diseño que tenga en cuenta la extracción de materias primas, elaboración, transporte, instalación y retirada de los materiales de construcción y que, en todas estas fases se consuma lo menos posible en cuanto energía se refiere y, que esta energía en la medida de lo posible, sea renovable. Además, se aboga por el desarrollo de un sistema de tratamiento de los materiales al final de su vida útil fomentando la reutilización y reciclaje de materiales.

Además, en la última década, se están imponiendo otros factores de diseño en cuanto a las condiciones energéticas de la arquitectura, con sistemas como Passivhaus, que buscan que los edificios generen impactos positivos teniendo consumos negativos, lo que supone que los edificios consuman menos energía de la que son capaces de generar, siendo autosuficientes.

Para llevar a cabo estos estándares que, en muchos casos, exigen las propias normativas locales, se están desarrollando ciertos sistemas, y los materiales que los componen. Estos dos grupos incluyen muy diversas categorías, y las mismas se encuentran en diferentes fases de desarrollo, estando algunos muy estandarizados, como las fachadas ventiladas, frente a otras más experimentales como pueden ser las fachadas vegetales o las membranas tensadas que, por otra parte, son sistemas más complejos, y generalmente, costosos, empleados en edificios emblemáticos o de carácter privado.

Con el desarrollo de las tecnologías en la construcción, aparece una nueva corriente arquitectónica, y es la arquitectura paramétrica, basada en el diseño en función de la introducción de datos y variables en programas desarrollados meramente para este fin, consiguiendo resolver arquitecturas complejas que, sobre el papel, son de gran eficiencia, pero que su complejidad de construcción genera unos costes difícilmente recuperables durante la vida útil de los edificios.

Con estas tecnologías, aparecen dos tipos de envolventes que se estudian más detalladamente en este trabajo, como son las cinéticas y las multimedia. Las primeras se centran en los elementos de sobreamiento dinámicos que, tienen como principal función reducir costes de climatización pero que, deben contar con un sobrecoste en su diseño y mantenimiento, así como consumo energético que al final reducen su intento de ahorro inicial.

Por último, las fachadas multimedia, son una corriente incipiente en la arquitectura contemporánea, que tienen más un fin propagandístico y comercial que sostenible; bien es cierto que algunos de los sistemas que se emplean pueden generar buenos efectos, como es el caso de las mallas metálicas, que actúan a su vez de doble piel, permiten pasar la luz y ver el exterior, reduciendo la radiación solar directa. La incidencia de este tipo de sistemas en su entorno puede ser negativa por lo que es necesario tener precaución a la hora de incorporarlas en los edificios, pues deberían ser más empleadas de forma cultural, que publicitaria, pudiendo interactuar con entorno y población.

Como se ha podido apreciar a lo largo de este trabajo, los desarrollos y corrientes por los que se está guiando la arquitectura actual, buscan la tecnificación y la máxima eficiencia en cuanto a recursos y consumos se refiere. El paradigma sostenible de la arquitectura regenerativa se antoja complicado de llevar a cabo por la gran cantidad de edificios de los que se dispone en la actualidad que, por otra parte, son los que más recursos consumen y los que menos eficientes resultan, por lo que está claro que antes que desarrollar nuevas técnicas de diseño, que sí, pueden ser muy beneficiosas a la larga, pero antes hay que encargarse de los edificios de los que ya disponemos y que no reúnen las condiciones requeridas mediante un desarrollo muy importante de las rehabilitaciones.

El diseño paramétrico se encarga de que estos sobreconsumos no se produzcan en los edificios de obra nueva, pero para ello necesitan incluir en estos diseños los nuevos materiales que se están diseñando, pero que cumplan con unos mínimos de reciclabilidad y reutilización, puesto que, si no, todos los esfuerzos realizados en los diseños eficientes y sostenibles pierden todo su sentido a la hora de la verdad.

Por lo que se refiere a los nuevos sistemas de envoltentes explicados, sobre todo a los sistemas programables, pienso que aún queda mucho camino por delante a la hora de que lleguen a su máximo potencial. De momento se instalan en construcciones emblemáticas, o en edificios de grandes corporaciones con fines meramente publicitarios en caso de las fachadas multimedia.

En el momento en que estos sistemas se empiecen a integrar en una arquitectura más convencional y puedan ser accesibles a cualquier tipo de persona, podrá decirse que son verdaderamente relevantes para los usuarios, porque en la actualidad actúan como reclamos turísticos y publicitarios, bien sean estrategias de reclamo de los gobiernos locales en unos casos, bien lo sean de las compañías anunciantes en los otros.

Algo con la capacidad de llamar la atención de tanta gente tiene que transmitir una información adecuada, y debe poder emplearse con fines que favorezcan más a la sociedad que a los grandes empresarios, como ejemplos de esto quedan presentes en este trabajo actuaciones muy diferentes como puede ser el MediaLab Prado de Madrid, frente a lo que se puede observar permanentemente en Times Square.

## 5. Bibliografía.

- ANDRÉS, S et al. (2016). “La aportación de los materiales de construcción a la sostenibilidad de la edificación” en *REVISTA EUROPEA DE INVESTIGACIÓN EN ARQUITECTURA*. REIA 5, pp. 9-22.
- ARAUJO, R (2009). “Arquitectura y energía” en *Energía (I) fundamentos TECTÓNICA 28*. ATC Ediciones S.L., pp. 14-31.
- ATTIA, S (2018). *Regenerative and Positive Impact Architecture. Learning from Case Studies*. Serie: SpringerBriefs in Energy. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-66718-8>
- AVELLANEDA, J (2010). “Revestimientos metálicos en fachadas y cubiertas” en *Envolventes metálicas TECTÓNICA 32*. ATC Ediciones S.L., pp. 22-32.
- CEPEDA ARDILA, V. A. (2019). *Fachada modular, adaptable para edificaciones con fachadas acristaladas*. Trabajo Final de Grado.
- VV.AA. Cerámica (I). Cerramientos. (2003) TECTÓNICA 15. ATC Ediciones S.L.
- CERDÁ TALÓN, M. (2019). *Membranas para estructuras superficiales tensadas*. Trabajo de Fin de Grado.
- CHIARELLA, M et al. (2014). “Pielas Arquitectónicas Dinámicas. Prototipos a escala mediante prototipado rápido, microcontroladores y patrones plegados.” En *Conference: XVIII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - SIGraDi: Design in Freedom*. Volumen 1, Nº 8. Pp. 96-100. DOI:[10.5151/despro-sigradi2014-0015](https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2014-0015)
- ČIKIĆ-TOVAROVIĆ, J. et al (2011). “Specific problems of media façade design” en *Architecture and Civil Engineering* Vol. 9, Nº 1. pp. 193 – 203. DOI: [10.2298/FUACE1101193C](https://doi.org/10.2298/FUACE1101193C)
- COELLAR ALVEAR, I. R. (2018). *Fachada cinética: Parametrización para optimizar el confort visual*. Trabajo Final de Grado.
- VV.AA. Envolventes (I). Fachadas ligeras. (1995) TECTÓNICA 1. ATC Ediciones S.L.
- VV.AA. Envolventes (II). Cerramientos pesados: aplacados y paneles. (1996) TECTÓNICA 2. ATC Ediciones S.L.
- ESCODA PASTOR, C (2015). “Arquitectura pixelada” en *EGA Revista de expresión gráfica arquitectónica*. Nº 25. Pp. 208-217. DOI:[10.4995/ega.2015.3701](https://doi.org/10.4995/ega.2015.3701)

- ESCOLANO FARTO, D. (2018). *Sistemas de protección solar dinámicos*. Trabajo Final de Máster.
- FERNÁNDEZ MILITINO, Javier (1996). "GRC en fachadas. El material y sus aplicaciones". *Revista de Edificación*, 22 (1996) pp 38-42. <https://hdl.handle.net/10171/16687>
- GARCÍA ALBARADO, R et al (2013). "Diseño paramétrico en Arquitectura. Método, técnicas y aplicaciones". *ARQUISUR REVISTA* Vol. 3, Núm 3., 2013, pp 20-31. DOI: <https://doi.org/10.14409/ar.v1i3>
- GASPARINI, K. (2014). "Media Façades and the Immersive Environments" en *Wolkenkuckucksheim, Internationale Zeitschrift zur Theorie der Architektur*. Vol. 19, Ensayo 33, 2014, pp. 251–263.
- GIMÉNEZ MOLINA, C et al. (2008). "Eficiencia energética de la utilización de vidrios especiales en viviendas sostenibles". En *II Jornadas de Investigación en Construcción*. <http://oa.upm.es/4571/>
- HERRANZ GARCÍA, S. (2011). *Nuevos materiales en fachadas*. Trabajo de Fin de Máster.
- LYMPEROPOULOU, L (2012). *Vidrios estáticos y dinámicos. Estudio comparativo de la eficiencia energética de los edificios de oficina en clima mediterráneo a partir de la utilización de diferentes tipos de acristalamiento*. Tesina.
- MARCOS ALBA, C.L. et al (2014). "De la transparencia a la optimización: Sobre lo performativo en la arquitectura digital". En *XII Congreso Internacional Expresión Gráfica aplicada a la Edificación - APEGA 2014*
- MILLER A., IP K. (2013) Sustainable Construction Materials. In: Yao R. (eds) Design and Management of Sustainable Built Environments. Springer, London. [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4781-7\\_17](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4781-7_17)
- NAVARRETE S (2014). "Diseño paramétrico. El gran desafío del siglo XXI" en *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*. Nº. 49, 2014, pp. 63-72.
- NAVARRO PORTILLA, J. (2013). *Los jardines verticales en la edificación*. Trabajo de Fin de Máster.
- VV.AA. Plásticos. (2005) TECTÓNICA 19. ATC Ediciones S.L.
- ROMERO, S. M. (2010). *Pieles interactivas. Hacia una arquitectura mediatizada*. Tesina.
- ROSSEL, D et al. (2012). "Tecnologías digitales en la arquitectura contemporánea y la ilusión de objetividad en los procesos de diseño" en *De Arquitectura*. Nº 26, 2012, pp. 66-74. DOI: 10.5354/0719-5427.2012.32542
- RUEDA, O et al (2013). "Bekleidung: Gottfried Semper y la técnica textil como origen de la envolvente en la arquitectura" en *Revista de crítica y teoría de la arquitectura* 25-26. Departamento de composición arquitectónica, UPC., pp 61-72. DOI: 10.5821/dc.25-26.2772



- RUEDA, O et al (2013). “Los velos de las cariátides” en *REVISTA EUROPEA DE INVESTIGACIÓN EN ARQUITECTURA*. REIA 9, pp. 129-144.
- SCULLY, M. (2018). “Media Façades: When Buildings Perform” en *MAB18: Proceedings of the 4th Media Architecture Biennale Conference*. Pp. 19-27. <https://doi.org/10.1145/3284389.3284494>
- TEJERA, J (2012). “Construir membranas.” En *Arquitectura textil. TECTÓNICA 36 (2012)*. ATC Ediciones S.L. pp. 4-19.
- TRACHANA, A. (2021). “Envolventes performativas y “la ciudad escena””. En *Bitácora Urbano Territorial*, 31(II). Pp 173-187. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v31n2.85992>
- TRAMONTIN, V et al. (2012). “Adaptive Buildings for Sustainable Architecture” en Autoría del Congreso *Sustainability in Energy and Buildings*, Springer. Nacer M’Sirdi, Aziz Namaane, Robert J. Howlett, and Lakhmi C. Jain (Eds.). SIST 12, pp. 275–284. DOI 10.1007/978-3-642-27509-8
- TSCHERTEU, G. (2008). “Media façades: Fundamental terms and concepts” en *Media Facades Exhibition Berlin 2008 Exhibition Companion*. <https://www.mediaarchitecture.org/media-facades-exhibition-berlin-2008/-companion>
- VARINI, C (2009). “Envolventes arquitectónicas: Nueva frontera para la sostenibilidad energético-ambiental. ¿Cuáles Modelos y cuáles aplicaciones?” en *Revista Alarife*. Alarife 18, pp. 79-97.

#### PÁGINAS WEB.

- <https://www.mediaarchitecture.org/> (visitada el 22-06-2021)
- [fachadas construidas con electricidad – arquitectura, entre otras cosas \(wordpress.com\)](#) (visitada el 25-06-2021)
- <https://scsarquitecto.cl/carta-solar/> (visitada el 17-07-2021)
- <https://ecohabitar.org/arquitectura-bioclimatica-conceptos-y-tecnicas/> (visitada el 25-07-2021)
- <https://awards.mediaarchitecture.org/mab/project/121> (visitada el 16-08-2021)
- <https://www.archdaily.com/236979/one-ocean-thematic-pavilion-expo-2012-soma> (visitada el 16-08-2021)
- <http://materialesdeultima.blogspot.com/2015/12/titanio-en-revestimientos.html> (visitada el 22-08-2021)
- <https://www.glasstechnologies.es/index.html> (visitada el 23-08-2021)
- <https://timberplan.es/> (visitada el 23-08-2021)

- <https://inarquia.es/fachadas-vegetales-sistemas-constructivos/> (visitada el 25-08-2021)
- <http://fullwat.com/> (visitada el 31-08-2021)
- <https://www.standardvision.com/taman-anggrek> (visitada el 02-09-2021)
- [https://www.novavisionny.net/outdoor\\_bar\\_screen\\_.html](https://www.novavisionny.net/outdoor_bar_screen_.html) (visitada el 03-09-2021)
- <https://architizer.com/projects/atelier-a-torce/> (visitada el 05-09-2021)
- <https://www.onyxsolar.com/> (visitada el 05-09-2021)
- <http://termodinair.com/files/lumira-aerogel-es.pdf> (visitada el 05-09-2021)
- <https://www.okalux.com/> (visitada el 05-09-2021)
- <https://www.experimenta.es/noticias/arquitectura/soma-expo-one-ocean-3433/> (visitada el 09-09-2021)
- <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-265617/clasicos-de-arquitectura-instituto-del-mundo-arabe-jean-nouvel/51ad51e2b3fc4b225b000014> (visitada el 10-09-2021)
- <https://www.gkdmalfabrics.com/> (visitada el 10-09-2021)
- [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-226760/las-torres-al-bahar-y-sus-fachadas-sensibles-por-aedas-architects?ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_all](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-226760/las-torres-al-bahar-y-sus-fachadas-sensibles-por-aedas-architects?ad_source=search&ad_medium=search_result_all) (visitada el 12-09-2021)

## **ANEXO 1. Fichas de materiales**

A continuación, se enumeran una serie de materiales en forma de fichas que se están desarrollando en la actualidad, así como algunas de sus características, formas de aplicación y colocación, ventajas y desventajas.

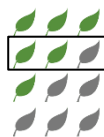
## MATERIALES LIGEROS. PANELES METÁLICOS UNICAPA. ACERO CORTÉN.



Imagen 79. Acero cortén instalado. Fuente: <http://www.quimicos-online.com/construccion-y-reparacion/47-oxidacion-real-acero-corten.html>



Imagen 80. Museo Soulages en Rodez (Francia) RCR Arquitectos. Fuente: <http://www.quimicos-online.com/construccion-y-reparacion/47-oxidacion-real-acero-corten.html>



### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

El acero cortén es una aleación del acero con níquel, cromo, cobre y fósforo.

Su principal característica es su acabado exterior oxidado en un tono anaranjado o rojizo. Esto se debe a que es un material que se autoprotege de la corrosión creando una pátina al entrar en contacto con el oxígeno. Desde su puesta en obra el acero corte suele pasar un período de adaptación al medio en el que la pátina exterior va cambiando su tonalidad hasta conseguir el acabado final. Este período suele rondar el año.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

Al igual que las placas de acero convencionales existen muchos tipos de fijaciones según la forma en la que se proporcionen las piezas. Generalmente se fija en fachadas mediante una subestructura sujeta a la estructura portante del edificio. También puede ser pegado a una superficie plana o, en caso de que se disponga del material como casete o bandeja, ir colgado de grapas de fijación previamente localizadas en una hoja resistente o una subestructura.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

El acero cortén se puede emplear para el revestimiento de fachadas y mobiliario, bien de forma pegada o bien de forma superpuesta sobre una subestructura. Tiene multitud de acabados superficiales en cuanto a forma, y algunos de ellos son perforados, por lo que también pueden utilizarse como celosías.

Por otro lado, no deja de ser acero, por lo que también puede tener carácter estructural, como muestran algunas construcciones de puentes y pasarelas.

Originalmente se ha utilizado con fines industriales, en la fabricación de silos, vagones de tren, o tolvas de fábricas cementeras. Puede emplearse en cubiertas.

### VENTAJAS

- Autoprotección frente a la corrosión atmosférica.
- Acabado estético de calidad arquitectónica, favorecido además por la posibilidad de tratarlo y moldearlo.
- Posibilidad de utilización estructural.
- Impermeable al paso del aire y el agua.
- Disponible en múltiples formatos, planchas, casetes, paneles sándwich...
- Multitud de espesores, desde 0,6 a 90 milímetros.
- Reutilizable y reciclable.

### DESVENTAJAS

- La pátina protectora puede sufrir modificaciones debidas a la escorrentía de agua, por lo que en ocasiones y dependiendo del ambiente debe ser protegido con una imprimación.
- A la hora de realizar soldaduras, si se realizan aportes, deben ser de materiales de la misma composición para que la pátina superficial sea lo más homogénea posible.
- Mal comportamiento frente a ambientes con vapores con materiales químicos que pueden deteriorarlo.

## MATERIALES LIGEROS. PANELES METÁLICOS UNICAPA. ZINC

### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

El zinc o cinc, es un material metálico que en la arquitectura se emplea como aleación de zinc, cobre y titanio. En contacto con el ambiente genera una pátina de óxido que le proporciona un tono gris azulado brillante. Es un material muy maleable lo cual facilita su colocación en forma de engatillado, formas curvas y de gran calidad estética.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

Generalmente se instala sobre superficies planas, de forma que esté ventilado para que no entre humedad y se pueda generar la pátina autoprotectora. Longitudinalmente se realizan juntas engatilladas alzadas o con listones de madera. Mediante el fundido se emplea también para la formación de piezas ornamentales en moldes.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

Su aplicación se realiza principalmente en cubiertas inclinadas, aunque también se puede emplear en fachadas ventiladas empleando la misma técnica de colocación que en las cubiertas. También se dispone en forma de paneles sándwich o casetes solgados de subestructuras.

Una de sus aplicaciones principales es la de capa protectora sobre otros materiales metálicos, el galvanizado mediante inmersión en zinc es muy común para el acero galvanizado.

### VENTAJAS

- Muy maleable para la generación de múltiples formas complejas.
- Resistente a la corrosión atmosférica.
- Autorreparable a los pequeños arañazos.
- Imagen estéticamente agradable.
- Ligereza y facilidad de corte y transporte.
- Reciclable y reutilizable.
- Impermeable al paso de aire y agua.

### DESVENTAJAS

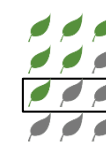
- Necesidad de estar ventilado.
- Muy sensible a ambientes corrosivos, sulfuros y cloruros.
- Muy bajo potencial eléctrico que puede facilitar la corrosión galvánica en contacto con otros metales.
- Su instalación requiere mano de obra especializada.
- Mal aislamiento acústico.
- Muy alto coeficiente de dilatación térmica.



Imagen 81. Bandejas de zinc. Fuente: <https://www.cubimat.com/bandeja-junta-alzada/1645-sistema-junta-alzada.html>



Imagen 82. Estadio de fútbol en Montreal Hcma Architectes (2015) con envoltorio de zinc. Fuente: <https://elzinc.es/listings/estadio-futbol-montreal-cubierta-y-fachada-en-zinc/>



## MATERIALES LIGEROS. PANELES METÁLICOS UNICAPA. TITANIO



Imagen 83. Planchas de titanio. Fuente: <https://technalloy.es/titanio/>

### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

Este material, abundante en la naturaleza, es generalmente extraído de las escorias de los óxidos del hierro.

Es el material que más ha tardado en incorporarse en la arquitectura. Tiene una gran calidad visual, que se le puede conferir mediante baños electrolíticos los cuales, según el voltaje aplicado pueden hacer que varíen los colores que resulten: plateado, dorado, azulado y púrpura.

A diferencia del resto de materiales metálicos de fachada, el titanio mantiene su brillo en el edificio, por lo que la diferencia incidencia del sol en su superficie genera efectos visuales muy llamativos.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

Sus métodos de colocación son similares a los del zinc, mediante juntas engatilladas, alzadas o planas, listonadas o en forma de casete. También pueden atornillarse directamente sobre un panel de trasdós o una subestructura que puede ser de gran complejidad, debido a que la maleabilidad del titanio permite formas complejas. Necesitan subestructura u hoja resistente de apoyo.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

En sus orígenes este material no se empleaba en la arquitectura, sino en la ingeniería aeroespacial. Posteriormente se implementó también en la industria automovilística y en implantes médicos.

Con respecto a la arquitectura se emplea principalmente como material de revestimiento y recubrimiento, tanto interior como exterior de los edificios. Se emplea tanto para cubiertas como para cerramientos verticales.

Es frecuente su utilización en la realización de esculturas.

### VENTAJAS

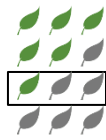
- Muy ligero y maleable.
- Más alta resistencia a corrosión atmosférica que ningún otro metal de revestimiento utilizado.
- Alta resistencia mecánica.
- Muy alta durabilidad sin necesidad de mantenimiento.
- No es tóxico.
- Completamente reciclable.
- Compatible con otros metales.
- Muy bajo coeficiente de dilatación.
- No sufre a la exposición de cloruros y sulfuros.

### DESVENTAJAS

- Coste muy elevado.
- Mano de obra especializada.



Imagen 84. Imagen exterior del Museo Guggenheim (Bilbao) de Frank Gehry (1997). Fuente: <https://www.guggenheim-bilbao.eus/el-edificio/el-exterior>



## **MATERIALES LIGEROS. PANELES METÁLICOS UNICAPA. ALUMINIO**

### **DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.**

El aluminio utilizado en la construcción es una aleación de aluminio con diferentes minerales en función del método de fabricación que se emplee. Es el metal no ferroso más abundante en el planeta.

Para evitar su corrosión suele oxidarse para crear una pátina de protección por medio de la anodización. El efecto de la corrosión en su superficie es de origen puntual, generando pequeños huecos, por lo que además de la anodización se le suele añadir una capa muy fina de algún polímero por medio del termolacado.

Su color natural es blanco plateado pero debido a las protecciones que se le implantan puede tomar cualquier apariencia exterior.

### **COLOCACIÓN DEL MATERIAL**

La colocación de estos paneles puede realizarse tanto en fachadas como en cubiertas mediante subestructuras y pudiendo obtener formas complejas.

Principalmente se suelen emplear como paneles sándwich en la construcción, añadiendo además una cantidad considerable de aislamiento térmico a la envolvente.

### **APLICACIONES DEL MATERIAL**

La principal aplicación del aluminio en la construcción es a la hora de realizar carpinteras, tanto convencionales como muros cortina de gran tamaño, mediante la producción de perfiles por extrusión.

La otra gran aplicación es la de paneles de fachada y de cubierta de tipo sándwich, sobre todo en usos industriales.

Puede emplearse como material estructural, aunque tenga menos resistencia que el acero, por lo que habría que aumentar su sección.

En fachadas también puede emplearse en forma de bandejas o casetes, así como composites.

Pueden realizarse perfiles de variedad de secciones por extrusión para la realización de barandillas, celosías, etc.

### **VENTAJAS**

- Resistencia a corrosión atmosférica de forma natural.
- Muy alta capacidad de reciclaje y reutilización.
- Material ligero y fácil de transportar y mecanizar en obra.
- Amplia variedad de formas y colores.
- Resistente al fuego.
- Necesita poco mantenimiento.
- No es tóxico.
- Es un material relativamente barato por su abundancia.
- Conduce la electricidad fácilmente.

### **DESVENTAJAS**

- La pátina exterior de óxido tarda en producirse y puede necesitar tratamientos adicionales.
- Puede sufrir corrosión galvánica en contacto con zinc.
- Su corrosión genera picaduras en su superficie.
- Es más caro que el acero.
- Conduce fácilmente el calor.
- Se ralla fácilmente, sin autorepararse.



Imagen 85. Planchas de aluminio. Fuente: <https://www.suministrostorras.com/productos/plancha-aluminio-598x948x3mm-3223.html>

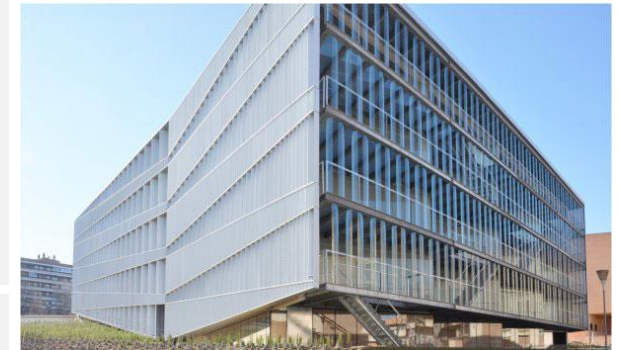
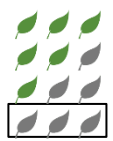


Imagen 86. Archivo Histórico y Provincial (Guadalajara) de Rojo/Fernández Shaw Arquitectos (2012). Fuente: <https://www.culturaydeporte.gob.es/giec/obras/concluidas/archivos/guadalajara.html>



## MATERIALES LIGEROS. PANELES METÁLICOS MULTICAPA INERTES. PANEL DE NIDO ABEJA

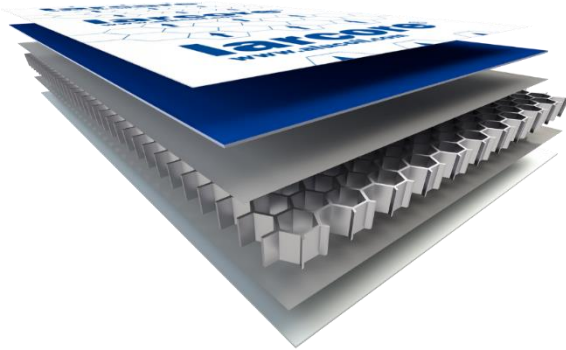
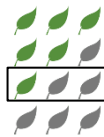


Imagen 87. Paneles en nido de abeja de núcleo inerte. Fuente: <https://larcore.alucoil.com/hidetech-light-es/>



Imagen 88. Sede BBVA (Madrid) de Herzog & de Meuron (2015). Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/c/895381/sede-bbva-en-madrid-herzog-and-de-meuron/5af0a776f197cce61700007c-bbva-headquarters-herzog-and-de-meuron-photo>



### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

Paneles metálicos compuestos de dos hojas de aluminio laterales, pegadas a un núcleo rígido compuesto de celdas en nido de abeja, también de aluminio, que le aportan gran resistencia mecánica y rigidez sin perder la ligereza original del material base.

Tiene la posibilidad de múltiples terminaciones exteriores en función de la aplicación a la que vaya a ser sometido el panel, así como un catálogo de espesores muy variados (desde 4, hasta 40 mm).

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

Para el revestimiento de fachadas se ha patentado un sistema de bandejas de menor espesor, que con el plegado de los bordes obtiene una resistencia considerable, las cuales se cuelgan de una subestructura metálica fijada a la estructura principal o la hoja de trasdós.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

Este material se emplea en la realización de fachadas metálicas en las cuales se desea gran planeidad y rigidez. Además, en arquitectura, se emplea también en interiores de quirófanos, paredes de cabinas de ascensores y casas modulares. En otras industrias se emplea para la realización de las carrocerías de medios de transporte como camiones, trenes o brazos.

### VENTAJAS

- Rigidez.
- Resistencia a fuego y humos
- Resistencia a compresión.
- Facilidad de mecanizado.
- Planicidad.
- Completamente reciclable.
- Posibilidad de múltiples acabados.
- Resistencia a corrosión atmosférica.
- Aislamiento acústico.

### DESVENTAJAS

- No cuenta con aislamiento térmico.
- Absorbe el calor.



## MATERIALES LIGEROS. PANELES COMPOSITE: PANEL METÁLICO + POLIMEROS

### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

Los composites metálicos son paneles realizados mediante la unión de dos hojas metálicas con un material de unión que puede tener múltiples componentes. Este material de unión por lo general suele ser de origen polimérico, aunque también pueden ser minerales, que le aporten otras características.

Las hojas metálicas por su parte pueden ser muy variadas, como sería aluminio, acero inoxidable, cobre, zinc, latón, ... Debido a su producción en fábrica permite gran cantidad de diseños y formas de mecanizado, así como variedad de tratamientos de las hojas exteriores frente a las condiciones climáticas que se le vayan a exigir.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

En función de cada fabricante los composites cuentan con sus propios tipos de anclaje, pero por lo general los paneles lisos se colocan pegados o atornillados a una subestructura metálica. Mientras que los paneles en forma de casete o bandeja se pueden colgar de los perfiles de la subestructura o disponer de forma para colocarlos machihembrados.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

Los composites por lo general se emplean para revestimientos de fachadas o el forrado de elementos interiores como podrían ser los pilares o los paramentos interiores de una nueva construcción o en rehabilitaciones.

Son muy recomendables a la hora de realizar fachadas ventiladas de aspecto moderno, así como para elementos de celosías y dobles pieles en edificios, pues se les puede realizar perforaciones mediante mecanizado en fábrica.

También se pueden emplear en lamas.

### VENTAJAS

- Múltiples posibilidades de acabado exterior.
- Buena resistencia a fuego.
- Ligereza y facilidad de mecanización.
- Múltiples posibilidades de colocación.
- Resistencia mecánica.
- Planeidad superficial.
- Durabilidad y necesidad de poco mantenimiento.
- Coste de producción razonable.
- Mucha variedad de tamaños y formatos.
- Aislamiento térmico y acústico.

### DESVENTAJAS

- Pueden sufrir corrosión si no se tratan bien.
- Montadores especializados.
- Requieren diseño especializado de juntas.

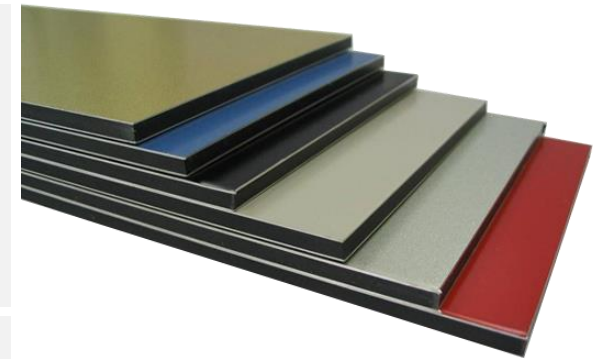
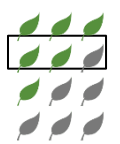


Imagen 90. Paneles composite de diferentes colores. Fuente: [https://www.albasistemas.com/Panel-Aluminio-Composite\\_es\\_7\\_16\\_0\\_1.html](https://www.albasistemas.com/Panel-Aluminio-Composite_es_7_16_0_1.html)



Imagen 89. Auditorio Mar de Vigo (Vigo) de César Portela (2011). Fuente: <https://www.strugal.com/es/auditorio-mar-de-vigo-vigo>



## MATERIALES LIGEROS. PANELES COMPOSITE. WPC. MADERA + POLÍMEROS



Imagen 91. Listones de WPC de diferentes tonos. Fuente: <https://www.rivassanchezcarpinteros.com/que-es-el-wpc-y-sus-ventajas/>



Imagen 92, Vivienda con paramentos y pavimento realizado con WPC. Fuente: <https://es.shanghaiwpc.com/products/wpc-wall-panel>

### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

Los WPC (Wood Plastic Composites), son paneles composites formados por fibras de madera, mezcladas con polímeros. Anteriormente este tipo de producto se empleaba en la realización de pavimentaciones exteriores debido a su resistencia a la intemperie aportada por las resinas con las que se realiza. Ahora se ha incorporado a los cerramientos de fachadas con las variaciones y reducciones de sección pues no tienen la misma sollicitación que al estar en el suelo. Por otra parte, se ha ampliado la gama de colores que se venían utilizando en las pavimentaciones, dando mayores posibilidades a los proyectistas.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

La instalación se produce de forma sencilla, fijando los rastreles vertical u horizontalmente a la hoja de trasdós y colocando a su vez unas grapas en estos las cuales, con la forma de las lamas ranuradas, se van fijando en hiladas. Existen piezas especiales para la realización de los acabados en esquina, aunque se pueden resolver cortando piezas en obra, pues el material lo permite. Además, el material consiente su colocación tanto en vertical como en horizontal, mezclando diferentes colores, etc.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

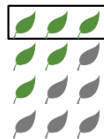
Debido a los tratamientos que se le aplican en su fabricación además de la posibilidad de añadirle todos los aditivos que se requieran, el material es principalmente para ser usado en exteriores. Generalmente se ha utilizado para la realización de pavimentos exteriores, pero en la actualidad también se puede emplear en el diseño de fachadas. También se puede emplear en la realización de cercas y vallas.

### VENTAJAS

- Mantenimiento muy escaso.
- Resistencia mecánica y durabilidad en exteriores.
- No absorbe la humedad ni es atacado por insectos u hongos.
- Posibilidad de mejorarse químicamente añadiendo aditivos, colorantes, resistentes, etc.
- No se astilla ni se agrieta.
- Se fabrica con materiales reciclados y puede reciclarse.
- Ligero y fácil de manipular.
- Aislante térmico y acústico.
- Resistencia a impactos.

### DESVENTAJAS

- Producción relativamente cara.
- Mano de obra especializada.
- Propenso al rayado.
- Escasa variedad en la forma de los productos



## MATERIALES LIGEROS. PANELES COMPOSITE: FRP

### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

Los FRP o Fiber Reinforced Polymer, son materiales compuestos por una matriz de fibras resistentes o esqueleto, generalmente fibra de vidrio o fibra de carbono y una resina que hace de cuerpo que en la arquitectura por lo general es la de tipo epoxi.

Los materiales FRP tienen multitud de formas y apariencias y esta depende en su gran mayoría del tipo de resina utilizada y la función que vayan a desempeñar en la edificación.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

Dependiendo de la función que vaya a desempeñar el material tendrá su metodología de colocación específica.

Así pues, existen paneles de cubierta grecados con apariencia traslúcida las cuales sustituyen a los materiales metálicos tradicionales empleados en este tipo de uso.

Por otro lado, también se desarrollan paneles de fachadas y revestimientos interiores a los cuales se les puede proporcionar diversos acabados y los cuales irán pegados, colgados, remachados, machihembrados, etc.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

Los materiales FRP se utilizan actualmente como sustituto de las estructuras convencionales de hormigón o para la reparación de estas. Así pues, en obras de rehabilitación se pueden emplear barras de FRP para reforzar estructuras de hormigón armado.

También se realizan elementos estructurales como podrían ser los perfiles conformados de acero tradicionales en FRP. Paneles en forma de tramex, paneles grecados de cubierta, paneles sándwich o de nido de abeja para revestimientos. Por otra parte, fuera de la industria de la construcción se emplean en la industria naval, ferroviaria, aeroespacial, equipo deportivo, telecomunicaciones, industria química, ...

### VENTAJAS

- Baja densidad.
- Buena apariencia externa.
- Modelable a temperatura ambiente.
- Alta resistencia a la corrosión química.
- Posibilidad de pegado.
- Aislamiento térmico y eléctrico.
- Muy alta resistencia mecánica.
- Posibilidad de transparencia.
- Posibilidad de tratamiento frente a incendios.
- Puede diseñarse para no sufrir dilatación térmica.

### DESVENTAJAS

- Daño superficial fácil.
- Baja resistencia al calor.
- Mucho tiempo de formación de productos.
- Alto coste material.

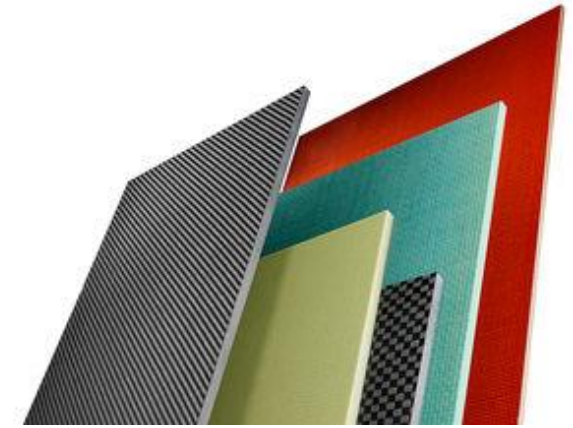
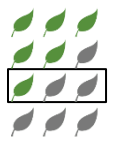


Imagen 93. Paneles de FRP con diversos diseños. Fuente: <https://www.krempel-group.com/es/soluciones/aerospace/laminas-frp/>



Imagen 94. Biblioteca Al Khalifeyeh (Bahrein) de Ismail Khonji Architects (2017). Fachada y celosía de FRP con capacidad estructural. Fuente: <http://www.bfginternational.com/architecture-and-infrastructure/projects/al-khalifeyeh-library-bahrain>



## MATERIALES LIGEROS. PANELES PLÁSTICOS. POLICARBONATO

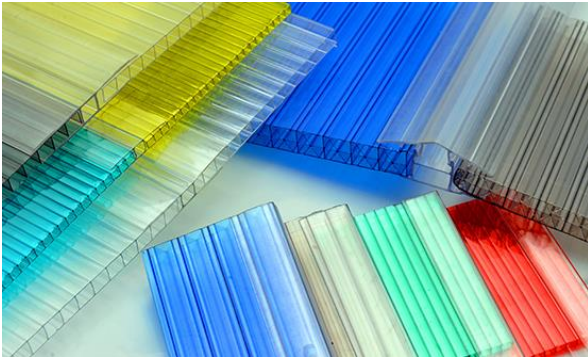


Imagen 95. Diferentes tipos de panel de policarbonato. Fuente: <https://www.devitroeuropa.com/que-es-policarbonato-para-que-sirve/>



Imagen 96. Casa Latapie (Burdeos) de Lacaton & Vassal (1993). Fuente: <https://arquitecturaviva.com/obras/casa-latapie>

### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

El Policarbonato (PC) es un tipo de material perteneciente a los polímeros termoplásticos y ubicado en el grupo de los carbonatos. Tiene una imagen translúcida o transparente y puede adoptar distintos tonos, colores y formas en su aplicación en la arquitectura.

Es un material resistente y ligero que tiene una gran durabilidad y aporta aislamiento térmico y acústico debido a su estructura celular que le hace muy competitivo en la arquitectura actual en el ámbito de la construcción sostenible. Se conforman por extrusión por lo que existe la posibilidad de muy diversos formatos de perfiles, paneles y tubos.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

Los paneles de policarbonato empleados en fachadas se instalan como si fuera una carpintería de vidrio, por lo que necesitan de un marco perimetral que por lo general será de aluminio o de acero.

En el caso de su empleo en lucernarios y cubiertas debe disponerse con la dirección de las células en la dirección de la pendiente y con una pendiente de evacuación mínima del 10%.

Deben sellarse los alveolos una vez se vaya a instalar el panel con una cinta adhesiva de aluminio, y dejar un espacio para dejar dilatar el panel en el marco de la carpintería.

Existen perfiles del propio material para si se desea mantener la transparencia sea posible. Estos se encargan de sellar correctamente las uniones de los paneles entre sí, que pueden ser también machihembradas.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

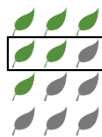
En forma de paneles es común su utilización en muros cortina, fachadas traslúcidas, lucernarios, cubiertas ligeras y ventanales. En forma de tubo se utilizan de forma ornamental para la realización de juegos de luces con la utilización de tiras LED, además de la propia variedad de colores que puede aportar el propio material.

### VENTAJAS

- Material estético de gran calidad visual.
- Aplicaciones interiores y exteriores.
- Resistencia térmica y acústica.
- Material reciclable.
- Diferentes grados de transparencia y variedad de colores.
- Resistencia al impacto y durabilidad.
- Ligereza.
- Buena estabilidad dimensional.
- Buena filtración de rayos solares ultravioleta.

### DESVENTAJAS

- Resistencia media a las sustancias químicas corrosivas.
- Puede fisurarse debido al esfuerzo.
- Sensible al entallado.
- Sensible a la hidrólisis.
- No es reciclable.
- Coste medio



## **MATERIALES LIGEROS. PANELES PLÁSTICOS. METACRILATO**

### **DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.**

Metacrilato o Polimetacrilato de metilo (PMMA), material acrílico perteneciente a los polímeros termoplásticos. AL igual que los policarbonatos, ofrece una gran gama de posibilidades en cuanto a la forma, el espesor, los colores y los acabados, siendo posible su obtención en forma de paneles, bloques, tubos y perfiles. Tiene mayor facilidad para transmitir la luz que los policarbonatos, mayor cantidad de colores y mejor resistencia a la intemperie, también es más barato y rígido.

### **COLOCACIÓN DEL MATERIAL**

La colocación del metacrilato en lo que se refiere e a cerramientos translúcidos es similar a las de los policarbonatos, empleando carpinterías metálicas en su perímetro. A diferencia de estos, no son celulares, sino que es macizo. Existen bloques de gran espesor que pueden llegar a tener carácter estructural. Pueden disponerse curvados los paneles para cubiertas de invernaderos y piscinas o similares.

### **APLICACIONES DEL MATERIAL**

El metacrilato tiene multitud de aplicaciones en la arquitectura como puede ser la realización de perfilería de puertas y ventanas, invernaderos, marquesinas, barandillas transparentes, encimeras, barreras de sonido, fachadas, lucernarios, acuarios, mamparas de protección, mobiliario...

### **VENTAJAS**

- Resiste a los rayos ultravioleta.
- Elevada transmisión luminosa.
- Más ligero que el vidrio y 17 veces más resistente al impacto.
- Rigidez y durabilidad.
- Fácil de cortar.
- Muy resistente a la intemperie.
- Permite pulir su superficie para eliminar rayones.
- Buen aislante térmico y acústico.
- Reciclable.
- Escasa absorción de agua.

### **DESVENTAJAS**

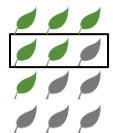
- Poca resistencia a la abrasión.
- Baja temperatura de transición.
- Coste medio.
- El de extrusión consigue una peor calidad superficial y resistencia que el de colada.



Imagen 97. Paneles de metacrilato. Fuente: <https://www.komolakrafts.com/tienda/materiales-para-scrapbooking/herramientas/troqueladoras-de-sobremesa/maquinas-y-accesorios/bases-de-metacrilato-para-sizzix/>



Imagen 98. Sede Central de FEDA (Albacete) de COR ASOCIADOS ARQUITECTOS (2013). Celosía de metacrilato. Fuente: <https://cor.cc/project/sede-fed/>



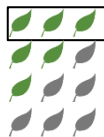
## MATERIALES LIGEROS. PLÁSTICOS. EFTE.



Imagen 99. Cojines de EFTE instalados en fachada. Fuente: <https://revistaestilopropio.com/nota/generos-superficies-etfe-nuevo-material-tendencia/>



Imagen 100. The Shed's Bloomberg Building (Manhattan) de Diller Scofidio + Renfro (2019). Fuente: <https://revistaestilopropio.com/nota/generos-superficies-etfe-nuevo-material-tendencia/>



### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

El Etileno-tetrafluoretileno (ETFE) es un material fluorado perteneciente al grupo de los termoplásticos.

Se dispone en forma de lámina traslúcida, que deja pasar la luz muy fácilmente, filtrando los rayos solares siendo un material muy ligero, como sustituto del vidrio o los paneles de plástico para fachadas modernas traslúcidas en edificios modernos.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

La instalación del EFTE se puede realizar empleando una o varias capas, sujeto mediante un marco metálico, por el que se introducen los conductos de aire que rellenan los cojines neumáticos que además pueden incorporar iluminación LED interna o externa. Puede aplicársele una trama en el interior de los cojines neumáticos para que no pase un exceso de luz al interior de los edificios y así regularla.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

Se emplea para la realización de fachadas traslúcidas de grandes espacios dándole una gran calidad estética y tono futurista.

### VENTAJAS

- Inerte químicamente.
- Muy estables a altas temperaturas.
- Tenaz y resistente al desgarre.
- Aislante eléctrico, acústico y térmico.
- Soporta 400 veces su peso.
- Delgado y liviano.
- Estirable hasta 3 veces su tamaño original sin perder su elasticidad.
- Autolimpiable.
- Transmite el 85% de la luz que le incide.
- No inflamable.
- Multiplicidad de diseños posibles.
- Reciclable.

### DESVENTAJAS

- Muy caro.
- Malas propiedades mecánicas.
- Difícil de fabricar.
- 25 años de vida útil.
- Complejidad de diseño y montaje.
- Pueden requerir mucho mantenimiento, no por el EFTE sino por el sistema de hinchado de los cojines.

## MATERIALES LIGEROS. PLÁSTICO RECICLADO. POLLI-BRICK™

### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

Polli-brick es un material empleado en la construcción de muros cortina y fachadas traslúcidas compuesto de Tereftalato de Polietileno (PET), 100% reciclado. Fabricado por la empresa MIniwiz, quien tiene la patente de su fabricación, se ha empleado poco en la arquitectura (pabellón EcoARK), aunque tiene grandes posibilidades debido a sus buenas propiedades físicas y su carácter sostenible.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

Los bloques de polli.brick se fabrican mediante el reciclado de PET, generando una especie de botellas con forma hexagonal que debido a unas hendiduras en su perímetro se van ensamblando unas con otras, generando un panel con forma de nido de abeja sin la necesidad de adhesivos. En ambos lados de los paneles se coloca una hoja de policarbonato sencilla que protege y contiene a las unidades sujetándolas con los “tapones” de las botellas.

La forma de los paneles puede ser variable, tanto para paneles de muro cortina complejos como para paramentos interiores decorativos.

Se le puede incorporar a cada módulo una lámpara LED, y además un panel fotovoltaico en la superficie exterior que capte energía para alimentarlo y formar una fachada multimedia.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

Los paneles polli-brick se pueden emplear tanto en fachadas haciendo las veces de muro cortina o paredes traslúcidas, como en espacios interiores a los que se les quiera dar un carácter moderno, a modo de partición o paramento.

### VENTAJAS

- Facilidad de reciclaje.
- Abundancia.
- Múltiples opciones de color y forma.
- Material ligero. (1/5 del peso del vidrio).
- No es tóxico.
- Fácil y rápido montaje.
- No emite partículas y cumple los requerimientos de calidad del aire.
- Impermeable al paso de agua, aire y radiación solar.
- Posibilidad de añadir células fotovoltaicas al diseño original, así como iluminación LED.
- Aislamiento térmico y acústico.
- Costes reducidos.
- Fácil mantenimiento y durabilidad.

### DESVENTAJAS

- No constan.

POLLI-Brick™ Curtain Wall Tectonic Standard Module

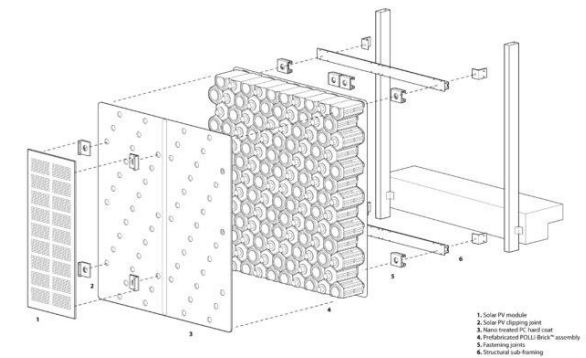
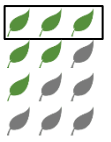


Imagen 101. Axonometría constructiva de montaje y componentes del panel Polli-Brick. Fuente: <https://petmat.cz/petribute/ecoark/>



Imagen 102. EcoARK (Taipei, China) de Arthur Huang (2010). Fuente: <https://haimaneltroudi.com/ecoark-edificio-plastico-reciclado/>



## MATERIALES LIGEROS. AEROGEL.



Imagen 103. Rollo de aislamiento que contiene aerogel en su composición.

Fuente:

<http://spanish.aerogelinsulationmaterial.com/sale-12219522-flexible-aerogel-insulation-material-wall-building-heat-resistant-white-color.html>



Imagen 104. Polideportivo Ursulinas (Pamplona, Navarra) de Loperena y Portillo (2004). Fuente: <http://www.litwall.com/detalles-proyecto/polideportivo-ursulinas/20>

### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

El aerogel, también conocido como humo sólido, es un material aislante nanoporoso y flexible que se dispone en forma de manta y que tiene las mejores cualidades de aislamiento térmico conocidas hasta la actualidad. Tiene una apariencia gris traslúcida debido a su porosidad y a su reducido espesor.

Lo componen aerogel de sílice, alúmina, óxido de cromo, estaño o carbono; que lo convierten en producto de fácil manipulación y relativamente ecológico.

Los fabricantes de aislantes de tipo lanas minerales, lo utilizan en combinación con sus productos para mejorar las propiedades de estos y reducir sus espesores.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

Debido a su desarrollo en forma de manta, se dispone igual que cualquier otro aislante de estas características.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

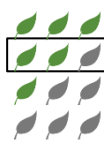
En la construcción se puede emplear para el aislamiento de cerramiento internos y externos, cubiertas, tuberías sometidas a grandes cambios de temperaturas, cubiertas, voladizos, ventanas, etc.

### VENTAJAS

- Hidrofobicidad.
- Excelente aislamiento térmico con espesores mínimos.
- Flexibilidad y ligereza.
- Facilidad de uso e instalación.
- Resistencia a los esfuerzos y el peso.
- Transpirable.
- Fácil de transportar.
- No es tóxico.
- Incombustible.
- Capaz de resistir 1200°C.
- Material sostenible.

### DESVENTAJAS

- Elevado coste.
- Necesita tratamiento para su contacto con el agua.





## MATERIALES LIGEROS. TELA LUMÍNICA. FabriLed

### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

Este tipo de telas compuestas de materiales termoplásticos, que se distribuyen en rollos de 2 metros de ancho por entre 5 y 50 metros de largo. Estas telas se encargan de difuminar la luz de los puntos Led dispuestos tras ellas generando efectos dinámicos y geometrías complejas, sin hacer que, por ello, la luz pierda nitidez.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

La tela lumínica se enmarca de forma que quede tensada, disponiéndola delante de la superficie sobre la que se encuentran las barras o puntos Led. Es fácilmente manejable y manipulable, y se puede cortar y mediante herramientas comunes como cúter o tijeras.

No es recomendable hacerle pliegues muy pronunciados debido a que podría generar efectos visuales no deseados.

Se pueden combinar varias telas para crear efectos más dinámicos, así como realizar curvas, etc.

Suele disponerse posteriormente tras un panel de vidrio o plástico transparente para protegerlo de los impactos.

La proximidad o lejanías de la tela con la luminaria genera efectos de fuga más móviles, mientras que la proximidad genera una dispersión más puntual de las líneas a lo largo de las fibras de la tela.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

Generalmente este tipo de material se emplea en el interior de edificios, como revestimientos, mobiliario, escaparates comerciales, etc. Aunque debido a que es resistente a la humedad puede disponerse también en exteriores.

### VENTAJAS

- Efecto visual llamativo.
- Sin pérdida de nitidez en la luz.
- Fácil de manipular.
- Ligereza y buena resistencia.
- Impermeable.
- Variedad de modelos.
- Ignífugas.
- Escasa variación dimensional frente a cambios de temperatura.

### DESVENTAJAS

- Poca resistencia a los impactos.
- Posibilidad de destensado.

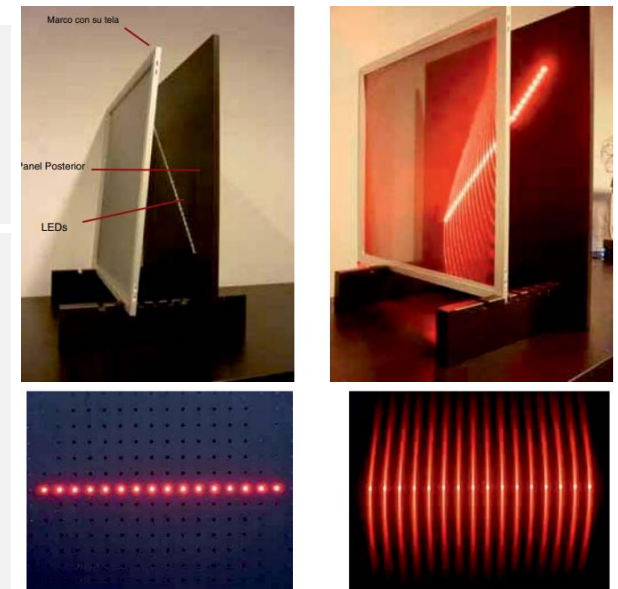


Imagen 105. Funcionamiento de tela difusora. Fuente: Catálogo de telas ópticas FABRILED, Iluminación LED | Fullwat

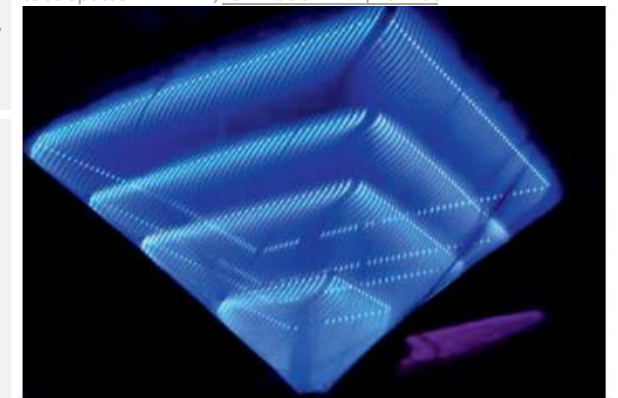
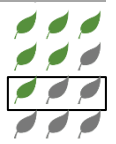


Imagen 106. Ejemplo de instalación de tela difusora de luz. Fuente: Catálogo de telas ópticas FABRILED, Iluminación LED | Fullwat



## **MATERIALES LIGEROS. Mallas metálicas.**

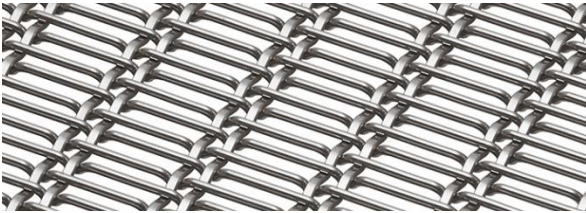


Imagen 107. Malla metálica simple. Fuente: <https://www.telas-arquitectonicas.com/es/telas-arquitectonicas/telas-metalicas/egladuo/4222/>



Imagen 108. Malla metálica con barras LED incorporadas. <https://www.telas-arquitectonicas.com/es/galeria-de-proyectos/details/fachada-multimedia-transparente-haver-boecker/>



Imagen 109. Oficinas Haver & Boecker (Oelde, Alemania). Fuente: <https://www.telas-arquitectonicas.com/es/galeria-de-proyectos/details/fachada-multimedia-transparente-haver-boecker/>



### **DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.**

Las telas metálicas de acero inoxidable son un material muy empleado en la actualidad a la hora de hacer revestimientos de fachadas y dobles pieles en ellos edificios. Generan una doble piel, la cual aporta múltiples beneficios a los edificios, tanto a nivel energético, como a nivel funcional y estético.

A pesar de que las más comunes se realizan en acero inoxidable, existe la posibilidad de utilizar otros metales como pueden cobre, bronce, estaño o latón, aportando diferentes colores a la envolvente del edificio.

Existe la posibilidad de incorporar, según algunas patentes de diferentes fabricantes bandas de Led, con las que los edificios pueden convertirse en pantallas publicitarias-

En el mercado hay una gran cantidad de diseños en la trama de las mallas metálicas, pudiendo combinarse de diferentes formas en el mismo edificio.

### **COLOCACIÓN DEL MATERIAL**

Las mallas metálicas se instalan en los edificios apoyadas en subestructuras metálicas fijadas a la estructura del edificio. Estas subestructuras pueden formar formas complejas al ser independientes, generando efectos visuales destacables. Las fijaciones se producen generalmente en un perfil en la parte superior, sujeto a la subestructura con barras de tensado en la zona central del paño y en la parte inferior unos resortes que se fijan a la subestructura y mantienen la malla rígida. Debido a la dificultad de movimiento en obras, el tamaño de las mallas está limitado, siendo el ancho limitado por la posibilidad de fabricación, aunque la longitud puede cubrir paños de hasta 25 metros.

### **APLICACIONES DEL MATERIAL**

Las mallas metálicas se pueden emplear en la realización de dobles pieles en fachadas, parapetos, particiones interiores, fachadas multimedia, falsos techos o acabados interiores.

### **VENTAJAS**

- Libertad de diseño en tamaño, color y forma.
- Ventilación natural.
- Protección solar y de la privacidad, manteniendo una posibilidad de ver desde el interior al exterior.
- Longevidad y resistencia a impactos.
- Posibilidad de convertirse en elemento publicitario.
- Aportación de seguridad.
- Reciclable.
- Aislamiento acústico.
- Fácil mantenimiento.
- Sostenibilidad.

### **DESVENTAJAS**

- Alto coste.
- Mano de obra especializada.
- Posibilidad de deslumbramiento en el exterior.

## 2.2.2. MATERIALES PESADOS. PLACAS DE PIEDRA.

### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

La piedra ha sido un material muy común a lo largo de la historia en la realización de las construcciones. En la actualidad se sigue empleando a la hora de revestir los edificios, eliminando generalmente el carácter estructural de ésta.

Así pues, encontramos gran variedad de piedras para revestimientos de fachadas ventiladas como pueden ser la pizarra, los granitos y mármoles, calizas y areniscas.

Las nuevas técnicas de cortado por programación digital permiten la explotación controlada de este recurso de la naturaleza sin producir desperdicios de material, con gran precisión y acabados muy elegantes.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

Para la realización de las fachadas de piedra ventiladas es necesaria una subestructura resistente debido a que la piedra pesa mucho, o bien fijarla directamente a una hoja portante por medio de anclajes puntuales, aunque esto puede generar roturas por ser demasiado rígido y ser materiales con diferentes coeficientes de dilatación.

También se puede pegar directamente sobre la hoja portante sin que la fachada esté ventilada, mediante morteros debidamente diseñados para esto.

Existen multitud de patentes de anclajes de fijación, los cuales deben permitir los correctos movimientos de dilatación para evitar que las piezas se fisuren.

En cuanto a las hojas de piedra, hay técnicas de perforación, las cuales permiten la instalación de tacos para su posterior atornillado a la subestructura.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

La piedra se puede emplear como acabado para revestimiento de interiores tanto de exteriores, tanto en paramentos verticales, como de pavimento.

### VENTAJAS

- Acabado estéticamente atractivo.
- Durabilidad.
- Resistencia mecánica.
- Ignífuga.
- Reutilizable.
- Multitud de acabados posibles en la superficie.
- Aislamiento acústico y térmico.
- Mantenimiento reducido.

### DESVENTAJAS

- Elementos pesados.
- Elevado coste.
- La extracción puede generar problemas en el ecosistema.
- Difícil de reparar.
- Mano de obra especializada.
- Algunas absorben el agua.
- Algunas son sensibles a los cambios de temperatura bruscos y a la exposición a ambientes químicos.



Imagen 110. Placas de piedra para revestimientos. Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/china-factory-supply-natural-stone-rough-granite-slab-60768032714.html>



Imagen 111. Centro Galego de Arte Contemporáneo (Santiago de Compostela, Galicia) de Álvaro Siza (1993). Fuente: <https://artist.blogspot.com/2015/04/centro-galego-de-arte-contemporaneo.html?m=1>

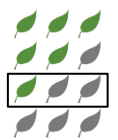




Imagen 112. Bloque estructural de fábrica prefabricado con doble hoja y aislante intermedio. Fuente: <https://terrealstructure.com/products/briques-de-murs/fiche/produit/es-bmi-bmi-s120100/essentiel/>  
Lamas orientables de fábrica. Fuente: <https://www.sanmarco.com>.



Imagen 113. The Doge (Lome, Francia) (2017). Fuente: <https://terreal.co.uk/gallery/offices/realisation/realisation/Produit/bhe-fr-lomme-bureaux/>



Imagen 114. Zodiac Aerospace Headquarters (Plaisir, Francia) (2010). Fuente: [https://www.terreal.es/productos/fachada/bloqueador-solar/detalles/produit/es-shamal-xl-shxl-f310/?tx\\_terrealproduct\\_product%5Brealisation%5D=660908&cHash=1e5d305fb474b26ced89e2dbbd8cf693](https://www.terreal.es/productos/fachada/bloqueador-solar/detalles/produit/es-shamal-xl-shxl-f310/?tx_terrealproduct_product%5Brealisation%5D=660908&cHash=1e5d305fb474b26ced89e2dbbd8cf693)



## MATERIALES PESADOS. CERÁMICA AVANZADA.

### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

La cerámica ha sido un material utilizado históricamente en la arquitectura. Originalmente era empleada para la realización de muros estructurales en la arquitectura, pero posteriormente ha ido perdiendo ese carácter portante y dedicándose a los acabados exteriores.

Los paneles cerámicos de fachada son muy habituales en el revestimiento de fachadas en la actualidad, muestran una gran variedad de acabados, con diversos formatos en tamaños, espesores, colores y métodos de fijación.

El gres es uno de los materiales más destacados en el apartado de los paneles cerámicos en la actualidad, el cual surge de una masa cerámica mezclada con aditivos que una vez cocida queda vitrificada lo que le da una resistencia mayor.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

Los paneles cerámicos se pueden colocar en fachadas ventiladas fijados a una subestructura mediante anclajes ya que debido a su prefabricación se pueden mecanizar, realizándoles hendiduras en sus cantos para introducir los anclajes ocultos, o bien pueden ser de fijación vista o incluso atornillados. Por otra parte, pueden actuar en fachadas pegados con morteros cola. También se pueden emplear en pavimentación pegados mediante morteros cola.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

Las aplicaciones de paneles cerámicos pueden ser las de revestimientos de fachada exterior, pavimentación interior y exterior, alicatado de paramentos interiores.

Por otra parte, han aparecido elementos de diseño como pueden ser lamas orientables de cerámica.

Además de las funciones de revestimiento de superficies, los fabricantes han patentado soluciones que permitan a la cerámica seguir siendo un material competente en cuanto a la realización de muros estructurales, por lo que se han patentado bloques monolíticos cerámicos prefabricados con aislante incorporado para la construcción rápida.

### VENTAJAS

- Múltiples posibilidades de acabado.
- Buena resistencia y propiedades mecánicas tanto en interiores como en exteriores.
- Aislamiento térmico y acústico.
- Material barato y abundante.
- Técnicas de fabricación muy estandarizadas.
- Material muy rígido.
- Sostenible.
- Métodos de montaje estandarizados.

### DESVENTAJAS

- En ocasiones y dependiendo del material absorbe el agua.
- En caso de empleo de pastas de sujeción se hace muy difícil su reciclado y reutilización.
- Su cocción requiere hornos que contaminan.
- Frágil
- Poca resistencia al impacto.
- Puede ser pesado.

## **MATERIALES PESADOS. BLOQUES DE HORMIGÓN TRASLÚCIDO. LITRACON**

### **DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.**

El Litracon es un hormigón con unas capacidades translúcidas que permiten paso de luz a su través gracias a que está compuesto de hormigón tradicional con una adición de fibra óptica de entre 2 micras y 2 milímetros de diámetro.

Este material se fabrica en forma de bloques y paneles prefabricados en acabado pulido.

Los tamaños máximos de estos bloques son de 1,20 x 0,40 metros, con espesores que van desde 2,5 a 20 centímetros.

Debido a su realización con hormigón convencional es posible su aplicación como muro de carácter portante, aunque no se suele ver.



Imagen 115. Muro de bloques Litracon de Hormigón Traslúcido.  
Fuente: <https://arquitecturayempresa.es/noticia/hormigon-translucido-litracon>

### **COLOCACIÓN DEL MATERIAL**

Debido a que se comercializa en bloques de tamaño mediano, su puesta en obra se realizaría como una fábrica convencional, utilizando morteros cola en pequeñas dosis para evitar así que se aprecien demasiado las juntas al pasar la luz a su través.

### **APLICACIONES DEL MATERIAL**

Es un material relativamente novedoso y que no está demasiado implementado en la arquitectura. Se puede emplear tanto en interiores como en exteriores para la realización de fachadas o particiones interiores.

### **VENTAJAS**

- Misma resistencia que el hormigón convencional.
- Permeabilidad al paso de la luz.
- Apariencia muy interesante.
- Posibilidad de múltiples tonalidades.
- Aislante térmico y acústico.
- Material ligero.
- Resistencia a la intemperie.
- Puede suponer un ahorro en consumo de luz.

### **DESVENTAJAS**

- Material caro.
- No es reciclable.
- Poco industrializado.
- No deja ver nítidamente lo que hay detrás, solo siluetas.

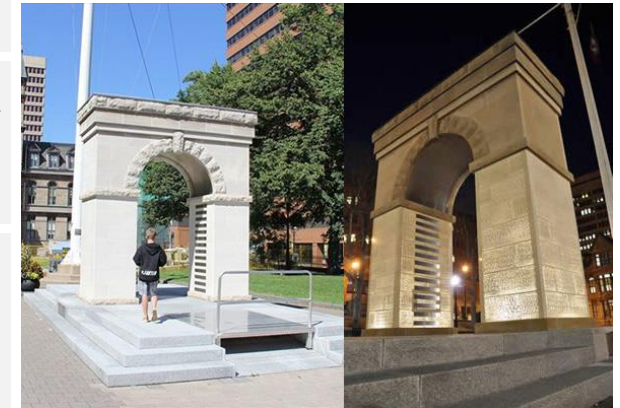
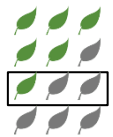


Imagen 116. Halifax Monument. (Grand Parade, Halifax, NS, Canada) de Adam Collins Architects (2007). Fuente: <https://construinnova.net/2015/10/29/hormigones-translucidos/>



## MATERIALES PESADOS.VIDRIOS COMPUESTOS. OKALUX.



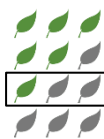
Imagen 117. Vidrios Okawood y OkaTech. Fuente: <https://www.okalux.com/products/product-finder/products/okatech/>



Imagen 118. Centro Cultural (Kungsängen, Sweden) de Werket Arkitekter AB (2014) OkaTech. Fuente: <https://www.okalux.com/references/reference/cultural-center/>



Imagen 119. Archivo Histórico y Provincial (Guadalajara) de Rojo/Fernández Shaw Arquitectos (2012). Fuente: <https://www.okalux.com/references/reference/archivo-historico-provincial-de-guadalajara/>



### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

Okalux es un fabricante de vidrios compuestos de dos o más capas entre las cuales, incorporan diferentes elementos para mejorar las capacidades estéticas y técnicas de los vidrios.

Tienen diferentes gamas de productos entre las que destacan:

- Kapilux: Introducen entre los vidrios una capa de partículas de vidrio a modo de capilares las cuales le dan una cierta opacidad, reduciendo la radiación solar y aumentando el aislamiento.
- Okasolar: Esta gama introduce una subestructura con unas lamas metálicas en el interior de la cámara que filtran y direccionan la iluminación en los interiores.
- Okalux HPI: Paneles de vidrio opacos en los que se puede imprimir gran cantidad de diseños visuales para facilitar que se emplee la misma estructura continua de muro cortina en toda la fachada.
- Okawood: Introducen celosías de madera en el interior de la cámara.
- Okatech: Introduce mallas metálicas de diferentes tonalidades y diseños y aperturas para filtra el paso de la luz al interior y favorecer la privacidad sin eliminar la vista interior-exterior.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

Todos estos paneles se disponen como un vidrio convencional en un muro cortina, con carpinterías hechas con perfiles convencionales.

También se pueden disponer en lucernarios, en los cuales el montaje es igual que con vidrios convencionales.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

Estos vidrios se pueden emplear en carpinterías interiores y exteriores de todo tipo, lucernarios y claraboyas, así como en particiones interiores a modo de mamparas de subdivisión de espacios.

### VENTAJAS

- Diseño atractivo.
- Aislamiento térmico y acústico.
- Control de radiación solar.
- Control de privacidad.
- Direccionamiento de la iluminación exterior.
- Múltiples formatos y soluciones.
- Útil en interiores, exteriores y cubiertas.
- Mantenimiento convencional
- Reciclable.
- Resistencia y durabilidad.

### DESVENTAJAS

No constan.

## **MATERIALES PESADOS. VIDRIO FOTOVOLTAICO.**

### **DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.**

Este tipo de vidrio tiene la misma apariencia que un vidrio convencional, pero a su vez se encarga de absorber la energía del sol, actuando como una célula fotovoltaica.

Dependiendo de la opacidad o transparencia de este captará mayor o menor cantidad de energía.

Además de capturar energía del sol, filtra su entrada al edificio, produciendo así un control sobre un posible exceso de soleamiento.

### **COLOCACIÓN DEL MATERIAL**

La colocación del material es fácil y sencilla, ya que se instala de la misma manera que si fuera un vidrio convencional. Puede emplearse tanto en fachadas como en lucernarios, con la misma tecnología que un vidrio convencional.

### **APLICACIONES DEL MATERIAL**

Muros cortina, ventanas, envolventes exteriores continuas, cubiertas, pérgolas, suelos técnicos y mobiliario público.

### **VENTAJAS**

- Facilidad de instalación.
- Resistente al exterior.
- Aislamiento térmico y acústico.
- Ahorro energético.
- Producción energética.
- Difusión de la iluminación directa.
- Rentable en pocos años.
- Reciclable.
- Durabilidad.
- Empleable en rehabilitaciones.
- Personalizable en color y tamaño.
- Complementario con las fuentes de energía convencionales de los edificios.

### **DESVENTAJAS**

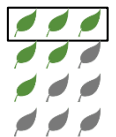
- Reduce su eficiencia según gana transparencia con respecto a los paneles convencionales.
- Poco conocido su uso en la edificación convencional.



Imagen 120. Vidrio fotovoltaico. Fuente: <https://www.onyxosolar.es/hospital-de-punta-arenas>



Imagen 121. Dubai Frame (Dubai) de Fernando Donis (2018). Contiene vidrios fotovoltaicos de color opacos en su envoltorio. Fuente: <https://www.onyxosolar.es/dubai-frame>



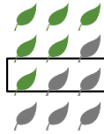
## MATERIALES PESADOS. GRC.



Imagen 122. Paneles de GRC instalándose en obra. Fuente: <https://www.prehorquisa.com/es/grc.html>



Imagen 123. Palacio de la Justicia (Córdoba, España) de Mecanoo + Ayesa (2017). Fuente: <https://www.floornature.es/soluciones-arquitectonicas/fachada-de-grc-para-el-palacio-de-justicia-de-cordoba-cargo-13782/>



### DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL MATERIAL.

El GRC, proviene de Glassfibre Reinforced Cement. Como su propio nombre indica, este material está compuesto de hormigón al que se le ha sustituido la armadura de acero convencional por una argamasa de fibra de vidrio que le aporta la resistencia a flexión que le aportaba el acero, pudiendo reducir así sus espesores al máximo.

La composición del GRC es: cemento portland blanco, áridos finos, aditivos y fibra de vidrio de óxido de zirconio.

Las dimensiones solo están limitadas a las permitidas por el transporte y el montaje en obra.

Pueden conseguirse superficies de muy grandes dimensiones de simplemente 1-1,5 centímetros con pesos de entre 20 y 30 kg/m<sup>2</sup>. Las posibilidades formales son infinitas, debido a que se fabrican en moldes en fábrica.

Existen tres posibilidades de sección: Sección homogénea de láminas sencillas reforzada con nervios del mismo material; sándwich que incorpora una capa de aislante entre dos planchas de GRC y; por último, el “stud frame”, que incorpora un bastidor metálico en la parte trasera del GRC. Pudiendo cerrarse este en la parte trasera por una placa de yeso laminado y relleno de aislante.

### COLOCACIÓN DEL MATERIAL

El GRC se fija directamente a la estructura portante del edificio mediante anclajes puntuales o en su defecto a una subestructura.

### APLICACIONES DEL MATERIAL

EL GRC se emplea en los revestimientos de fachada y en cualquier tipo de molduras de acabados interiores y exteriores, encofrados, encimeras, mobiliario urbano, barreras antiruido de vías rápidas, celosías, vallas, decoración, entre muchas otras aplicaciones en muchos otros campos.

### VENTAJAS

- Durabilidad.
- Resistencia a flexión y al impacto.
- Impermeables.
- Incombustibles.
- Múltiples diseños y variedades de tamaños y formas.
- Ligereza. Posibilidad de transportar mucho más material que si fuera de hormigón convencional.
- Resistencia a la fisuración.
- Escaso nivel de mantenimiento.
- Anclajes más ligeros.

### DESVENTAJAS

- Elevado coste.
- Dificultad de montar y transportar piezas excesivamente grandes.
- No tiene carácter portante.
- No se pueden modificar en obra, por lo que necesita un diseño muy meticuloso previo.
- Preferiblemente utilizar piezas moduladas que reduzca la necesidad de diseñar muchos moldes que encarece el producto.



