



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

"Arquitectura de los nuevos materiales: Vidrio e innovaciones de la transparencia"

"Architecture of new materials: Glass and innovations of transparency"

Autora

Andrea Nuez Martín

Director/es

Cristina Cabello Matud y Miguel Castro Corella

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza

Año 2020



TRABAJO FIN DE GRADO
Grado en estudios de Arquitectura
Noviembre 2020

ARQUITECTURA DE LOS NUEVOS MATERIALES
Vidrio e innovaciones de la transparencia

Andrea Nuez Martín
Directores: Cristina Cabello Matud y Miguel Castro Corella

*“Enriquecer la arquitectura experimentando con
materiales nuevos o procedentes de ámbitos ajenos
a la arquitectura”¹*

¹ _Hegger, Mafred; Drexler, Hans; Zeumer, Martin. 2010. *Materiales*. Editorial Gustavo Gili SL.

RESUMEN

La evolución de la humanidad no puede describirse sin considerar los materiales, los cuales han estado siempre presentes permitiendo su supervivencia y configurando su futuro. Su importancia es clara, ya que los historiadores han clasificado las primeras edades de la humanidad según los materiales utilizados, surgiendo las edades de la Piedra, del Bronce y del Hierro.

Estos materiales sustentan el presente bienestar y hacen posible el progreso hacia un futuro. Con el paso del tiempo se puede decir que, en el siglo XXI se inicia una nueva etapa marcada por la aparición de nuevos materiales y que van a tener gran impacto en la sociedad actual y en la arquitectura.

El vidrio es un material que ejerció una gran influencia en la arquitectura ya desde mediados del siglo XIX, destacando por su carácter innovador y que ha ido evolucionado hasta nuestros días a través de nuevas tecnologías, además de transmitir su esencia de transparencia a otros nuevos materiales.

Esta es la cuestión que aborda el trabajo, a través de un método de análisis sobre el material del vidrio, descubriendo porque fue innovador en su momento y que nuevos desarrollos basados en el mismo están revolucionando la arquitectura tradicional, establecer desde un punto de vista crítico y personal, las pautas para su viabilidad.

PALABRAS CLAVE: Nuevos materiales, vidrio, transparencia, futuro, materiales innovadores, evolución, investigación, eficiencia energética, sostenibilidad

ABSTRACT

The evolution of humanity cannot be described without considering the materials, which have always been present allowing its survival and shaping its future. Its importance is clear, since historians have classified the first ages of humanity according to the materials used, emerging the ages of the Stone, Bronze and Iron.

These materials support the present well-being and make progress towards the future possible. With the passage of time, it can be said that, in the 21st century, a new stage begins marked by the appearance of new materials and that they will have a great impact on current society and architecture.

Glass is a material that exerted a great influence on architecture since the mid-19th century, standing out for its innovative character and that has evolved to this day through new technologies, in addition to transmitting its essence of transparency to other new materials.

This is the question that the work addresses, through a method of analysis on the glass material, discovering why it was innovative at the time and that new developments based on it are revolutionizing traditional architecture, establishing from a critical and personal point of view, the guidelines for its viability.

KEY WORDS: New materials, glass, transparency, future, innovative materials, evolution, research, energy efficiency, sustainability

ÍNDICE

Capítulo 0_ Arquitectura de los nuevos materiales	7
0.1_ Introducción	9
0.2_ Objetivos y metodología	11
Capítulo 1_ “Nuevos materiales y...”	13
1.1_ Antecedentes. ¿Es fácil elegir un material en arquitectura?	14
1.2_ El arquitecto como buscador de materiales ¿Cómo?	18
1.3_ Líneas de investigación / Arquitectura del vidrio	21
Capítulo 2_ “... pasado del vidrio”	27
2.1_ Hacia una arquitectura de vidrio	29
2.2_ ¿Por qué fue un material innovador?	38
Capítulo 3_ “... futuro del vidrio”	39
3.1_ Revisión de tecnologías actuales-Evolución a futuro	40
3.2_ Innovación en la industria. Tipos de vidrio	42
3.2.1_ Vidrio laminado	43
3.2.2_ Vidrio ignífugo	45
3.2.3_ Vidrio inteligente – Nanotecnología de ventanas	46
Vidrio electrocrómico	48
Vidrio autolimpiante	50
Vidrio fotovoltaico	52
3.3_ Innovaciones de la transparencia con otros materiales	57
3.3.1_ Hormigón translúcido	58
3.3.2_ Otros materiales transparentes	64
Paneles translúcidos aislantes	64
Policarbonato	64
3.3.3_ Madera transparente	66
Capítulo 4_ Adiós al vidrio: Revolución de la madera transparente ¿Un nuevo material de construcción?	67
4.1_ Una madera revolucionaria	69
4.2_ ¿El nuevo cristal? / ¿Cómo se hace transparente un material opaco?	70
4.3_ La madera transparente, ¿un recurso sostenible?	72
4.4_ Desventajas y conclusiones	77
Capítulo 5_ Conclusiones: ¿Estos materiales han venido para quedarse?	79
Bibliografía	82
Anexo. Ficha de materiales Materfad	87

Capítulo 0.” Arquitectura de los nuevos materiales”

“Los materiales definen el mundo físico en el que vivimos y forman la base de las cosas que podemos ver, tocar, oír, escuchar, oler o degustar. Imaginar un mundo sin materiales sería como si nos encontrásemos flotando aislados en una gran habitación de oscuridad y silencio que nos apartaría de cualquier tipo de experiencia sensorial. Una especie de horripilante pesadilla ¿no creéis?”

Afortunadamente, nuestro mundo está lleno de color, de diferentes maderas, metales, plásticos, vidrios y cristales y cerámicas que llenan nuestro día a día en un fluir constante de interacciones sensoriales.”

Edward, Kevin. 2013. *Material experience: fundamentals of materials and design.*



*[1] Madera transparente, ¿el material de construcción del futuro?
"Los científicos suecos desarrollan madera transparente para iluminar las casas, los edificios
de forma natural".*

0.1_Introducción

Las personas se hallan inmersas en un universo modelado a partir de una gran variedad de materiales de diferentes naturalezas y todas sus posibles combinaciones. Estos materiales sustentan el presente bienestar y hacen posible el progreso hacia el futuro.

Cabe decir que la disponibilidad de nuevos materiales y procesos de fabricación ha contribuido significativamente durante todas las etapas de desarrollo de la humanidad, llegando a convertirse en motor de la innovación. Su influencia ha sido de tal relevancia que varios periodos históricos fueron bautizados usando el nombre del material más representativo y utilizado en esos periodos temporales. Es así como la sociedad humana atravesó las edades de piedra, del bronce y del hierro, hasta llegar a una era marcada por el uso del silicio y materiales como los compuestos, los inteligentes y los nanoestructurados.²

En la disciplina de la Arquitectura, escoger un material es un aspecto decisivo en la definición de un proyecto. Los arquitectos tienen la capacidad de transformar el mundo que nos rodea, y por tanto influir en el carácter de los espacios que después habitarán las personas.

La motivación para investigar este tema viene a partir de una serie de inquietudes personales entorno a la Arquitectura. Tomar conciencia de que no se está solamente rodeados de los mismos materiales tradicionales definidos durante el siglo XX y anteriores sin grandes variaciones hasta la actualidad, sino que existen nuevas formas de hacer arquitectura a través de nuevos materiales, puede ser una actitud impulsora. Estos nuevos materiales tienen detrás un proceso de investigación extenso y son potenciales candidatos para utilizarse el día de mañana transmitiendo su carácter al proyecto arquitectónico.

Durante mis estudios en arquitectura he cambiado la perspectiva en la que veo y experimento el mundo, siendo algo más consciente de todo lo que me rodea. Con el paso del tiempo he ido aprendiendo que dar forma y materializar un proyecto es muy importante y en el que confluyen diversos factores. Siempre ha tenido mucha importancia la materialidad que finalmente va a dar forma a tu trabajo, ya que esa es la imagen final que vas a tener de él y sobre todo las sensaciones que quieres transmitir al usuario, pero en un momento dado siempre acabamos aplicando los mismos materiales, los materiales tradicionales [2], los que ya se conocen.

Por lo tanto, adentrarse en el mundo de los nuevos materiales es abrir un nuevo abanico de posibilidades, porque la sociedad y las tecnologías evolucionan de forma conjunta y sinérgica [3]. Entre las distintas líneas de investigación planteadas en el trabajo, se profundiza en el mundo de la transparencia y del vidrio, poniendo de manifiesto que un gran material como el vidrio, que deja entrar la luz natural a nuestros interiores, tiene el inconveniente de que es un material con una conductividad térmica alta

² _ Dávila, José Luis; Galeas, Salomé; Guerrero, Víctor Hugo (PhD); Pontón, Patricia; Rosas, Nelly María; Sotomayor, Verónica; Valdivieso, Carla.2011. *Nuevos materiales_ Aplicaciones estructurales e industriales*. Editor: Víctor Hugo Guerrero-PhD.

frente a los materiales aislantes empleados en construcción y que conforman la parte opaca de la envolvente térmica de los edificios. En el trabajo se pone en valor su carácter innovador en el pasado, así como los avances que ha ido experimentando este material, y finalmente como su característica principal, la transparencia, puede transferirse a otros materiales llegando a sorprender, en el caso de la madera transparente. [1]



[2]



[3]

[2] Vista exterior. Fachada con materiales tradicionales de construcción
[3] Cinco nuevos materiales y sistemas robóticos que regulan la temperatura.
Presentado por el IAAC (Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña)

0.2_Objetivos y metodología

El primer objetivo que se plantea en el trabajo es poner de manifiesto que promover el interés de las nuevas generaciones en la investigación y desarrollo de los nuevos materiales que están apareciendo a nuestro alrededor, es una fuente de nuevas oportunidades.

Este trabajo se va a centrar en un material y un concepto o propiedad, el vidrio y la transparencia, y cuya finalidad es hacer una revisión y reflexión de porque este material fue innovador en su tiempo, a mediados del siglo XIX en adelante y como se aplicó a través de varios ejemplos de proyectos arquitectónicos. Posteriormente descubrir los nuevos desarrollos innovadores que está generando este material y/o la transparencia en la actualidad, que está revolucionando la arquitectura tradicional.

Se pretende ofrecer una visión de los materiales innovadores en Arquitectura que extienden y complementan el concepto de la transparencia como respuesta a lo que se puede conseguir con los materiales clásicos en la actualidad como el vidrio. La evolución tecnológica actual genera innovaciones, alternativas e ideas inspiradoras que pueden ser en el futuro claves en el ejercicio dentro de la profesión dotando de nuevas perspectivas a los proyectos arquitectónicos.

El último objetivo será conocer en detalle un nuevo material transparente, la madera transparente, y valorar de forma crítica su viabilidad dentro de la arquitectura.

Todo este trabajo se verá sustentado por la búsqueda de información relacionada con los nuevos materiales en arquitectura, y sobre todo por documentos de investigación con estudios. También se articulará parte del trabajo por medio de ejemplos en la historia de la arquitectura, así como textos de teoría y crítica de la Arquitectura.

Conocer las propiedades de los materiales transparentes nos va a permitir como arquitectos incidir en el confort de los espacios.

La estructura del trabajo estará dividida en varias partes, siendo la primera una introducción a la temática a tratar, mostrando la necesidad de los nuevos materiales y el porqué de su búsqueda. A raíz de ello, se identifica las diferentes líneas de investigación de los materiales, seleccionando y ejemplificando algunos materiales innovadores del siglo XXI atractivos fuera de la línea escogida. De la inmensidad que supone el mundo de los nuevos materiales, se pasa a analizar una línea de investigación específica, la arquitectura del vidrio y la transparencia, que finalmente se desarrolla en el trabajo más adelante.

Posteriormente, se describe el recorrido del vidrio como un material innovador en el pasado y como gracias a los avances tecnológicos permitió crear nuevas arquitecturas, que hoy en día se siguen recordando como incluso símbolos de una época. Del pasado, se pasa al presente y posible futuro de este mismo material.

Esta parte, núcleo del trabajo, supone una revisión de las nuevas tecnologías en el ámbito del vidrio junto a las innovaciones en el mundo industrial, tipificando diferentes clases de vidrios. Además, su influencia se manifiesta con el desarrollo de innovaciones aplicadas a otros materiales con una de las principales propiedades de este material, la transparencia. El factor de transparencia aplicado a otros materiales, como puede llegar a ser el hormigón o la madera transparente.

Finalmente, se describe exhaustivamente la madera transparente como material innovador alternativo al vidrio indicando como se consigue este material y las diferentes investigaciones que se han abordado, concluyendo con las ventajas y las desventajas que supone este nuevo material. Y sí, ¿es cierto que podría sustituir al vidrio a futuro? A través del trabajo se intenta dar respuesta a un material que sigue siendo de investigación y de continuas pruebas.

Capítulo 1.” Nuevos materiales...”

“Los cambios de estilos arquitectónicos fueron siempre culturales. Hoy son materiales; únicamente los nuevos materiales nos permiten hacer nuevas arquitecturas.”

1.1_ ¿Es fácil elegir un material en arquitectura?

“Transferir la idea a la realidad construida, así como el efecto que producirá en el observador depende de la elección de los materiales”³

Los arquitectos tienen una forma diferente de ver y seleccionar materiales con los que quieren trabajar y con ello plasmar una idea o un significado concreto en el mundo. Esta perspectiva va vinculada a esa idea que se quiere transferir a la realidad y ese efecto que se quiere provocar en las personas. Por tanto, hacer una buena selección de lo que queremos transmitir con ellos, es muy importante.

Se pretende transmitir con ellos diferentes sensaciones a las personas. Si algo caracteriza al ser humano es su deseo de ir más allá. Por ello, en ciertos espacios arquitectónicos se perseguía realizar una sensación de sobrecogimiento, o de respeto como se podía encontrar en los templos e iglesias. Muchas de estas sensaciones, son elementos que se perciben y de los cuales no se es consciente.⁴

Los materiales tienen una importancia fundamental no sólo en cuanto a materia prima del proceso constructivo, sino también por su función mediadora entre el edificio y las personas, por su potencial expresivo en términos de lenguaje arquitectónico.

Por ejemplo, se puede transmitir la sensación de calidez, al tocar un material como la madera. Esa sensación de calidez que puede suministrar una madera frente a la sensación fría que puede darnos un vidrio o un metal es realmente el reflejo de una propiedad del material denominada efusividad⁵. El arquitecto que busca crear las sensaciones las cuales en esencia son las que dan seguridad y satisfacción a las personas, debe saber que son en gran parte la manifestación de las propiedades de los materiales. Una buena selección requiere tener el conocimiento de estas propiedades y conexión con las sensaciones producidas.

Además de transmitir sensaciones, también buscamos unas condiciones de confort y habitabilidad para las personas. Los vidrios además de permitir la entrada de luz natural y tener un importante efecto sensorial, son los materiales hasta ahora con más baja resistencia, que permiten la entrada de radiación solar, infiltraciones de aire, infiltraciones acústicas...

Obviamente, en la selección apropiada de los materiales se debe tener en cuenta además de las propiedades (físicas, químicas, mecánicas) con diferentes tipos de atributos, el tema económico, la interacción con el

³ _ Hegger, Mafred; Drexler, Hans; Zeumer, Martin. 2010. *Materiales*. Editorial Gustavo Gili SL.

⁴ _ TFG_Larrea, Sanchez_Hadaop_ *Experiencias y material-sensaciones en la arquitectura*

⁵ _ *Efusividad: Expresa la capacidad de un material para absorber o restituir un flujo de calor o potencia térmica.*

entorno y su comportamiento, la producción, las normativas, el gusto con el cliente...

Es evidente que uno de los atributos que más influyen en los arquitectos es el diseño y la estética del resultado final. La sensación que se experimenta es gracias al carácter que transmiten los materiales al espacio, tanto por su visión, su sonoridad, el tacto, la sensación térmica... a esa conexión con el usuario, que el arquitecto debe siempre tener en cuenta en sus proyectos arquitectónicos. El ser humano percibe el entorno que le rodea gracias a los cinco sentidos.

– *¿Por qué los arquitectos se tienen que preocupar por nuevos materiales en arquitectura?*

Porque la sociedad va avanzando y siempre busca tener un mejor y mayor bienestar. Actualmente se debe proyectar este concepto de bienestar más allá del individuo o de la sociedad humana; extendiéndolo a un nivel global. El objetivo es ahora tener un bienestar global y sobre todo en nuestro entorno.

– *¿Para qué se buscan nuevos materiales en arquitectura?*

Evidentemente esta búsqueda va dirigida a encontrar materiales que tengan mejores propiedades, porque van a permitir desarrollar trabajos y proyectos que anteriormente eran inviables al no disponer de la tecnología y los avances que hay en la actualidad. A lo largo de la historia se han producido cambios muy relevantes por la utilización de nuevos materiales. Así, por ejemplo, el paso de hacer columnas de piedra en el caso del [4] *Partenón en el 447-432 a.C en Grecia*, a columnas de acero de fundición en uno de los primeros rascacielos de Chicago, el [5] *Leiter Building de William Le Varon Jenney*, va marcado por el paso de la historia, que ha permitido buscar y llegar a realizar columnas mucho más esbeltas. Esa mejora de propiedades (materiales) puede permitir llevar más allá el proyecto.

La búsqueda puede ir dirigida a encontrar materiales que ofrezcan mayor seguridad y fiabilidad, porque cuanto mayor sea, menor mantenimiento se requiere y esto significa que un producto tendrá grandes probabilidades de realizar su función correctamente durante la mayor parte del ciclo de vida. Esta perspectiva también está ligada a incrementar la durabilidad de los elementos en el tiempo.

Otro factor de suma relevancia es la reducción del impacto medioambiental y consumo de recursos, que para la búsqueda de un bienestar global requiere reducirlo.



[4]



[5]

[4] Vista exterior. Partenón, Grecia, 447-432 a.C
[5] Vista exterior. Leiter Building, Chicago, William Le Varon Jenney, 1879

Y finalmente para dar satisfacción a uno de los factores que más preocupa a los arquitectos como es el diseño, que es al fin y al cabo lo que dirige el proyecto en su visión global. Hacer nuevas formas, nuevas texturas, nuevas apariencias, nuevas sensaciones...

Se puede enriquecer el mundo de la arquitectura experimentando con nuevos materiales o materiales que ya existen pero que proceden de ámbitos ajenos a la arquitectura. Hay otros sectores que tecnológicamente están muchos más avanzados como, por ejemplo: el sector de la electrónica, el sector del automóvil, el sector aeroespacial... utilizan materiales que hasta ahora no han llamado la atención o que no han hecho su transferencia a la arquitectura. Mantener de forma continuada la atención a estos sectores puede ser el origen de esos nuevos materiales que serían transferidos a la arquitectura.

La utilización de esos nuevos materiales o procedentes de otros ámbitos pueden permitir trabajar otras respuestas o fenómenos que son relevantes en la arquitectura. Controlar la transparencia, la ligereza, la maleabilidad dotando de forma al diseño. Aprovechar el concepto de respuesta, asociada a los materiales inteligentes, es decir, hacer que lo que se está diseñando y construyendo tenga respuesta frente a un estímulo y dé lugar a un efecto útil en el proyecto arquitectónico.⁶

Kevin Edward imagina un mundo sin material como una pesadilla de oscuridad en la que las personas no les gustaría vivir:

“Los materiales definen el mundo físico en el que vivimos y forman la base de las cosas que podemos ver, tocar, oír, escuchar, oler o degustar. Imaginar un mundo sin materiales sería como si nos encontrásemos flotando aislados en una gran habitación de oscuridad y silencio que nos apartaría de cualquier tipo de experiencia sensorial. Una especie de horripilante pesadilla ¿no creéis? Afortunadamente, nuestro mundo está lleno de color, de diferentes maderas, metales, plásticos, vidrios y cristales y cerámicas que llenan nuestro día a día en un flujo constante de interacciones sensoriales.”⁷

⁶ _ Klassen, F. 2005. *“Material innovations: Transparent, lightweight, malleable and responsive”*.

⁷ _ Edward, Kevin. 2013. *Material experience: fundamentals of materials and design. Materials define the physical world we live in and form the base of all things we can see, touch, hear, smell, and taste. Imagining a world without materials could be considered as floating in a big room of darkness and silence that would keep us from any sensorial experiences. A kind of scary dream don't you think? Luckily, our world is full of different Woods, metals, plastics, glasses, and ceramics that fill our daily lives with continuous Flow of sensory interactions.* Editorial: Butterworth-Heinemann.

1.2_ El arquitecto como explorador de materiales ¿Cómo?

El arquitecto, como todo profesional, debe considerar que una de sus actividades es seguir la evolución de su profesión y en concreto de los nuevos materiales disponibles actualmente o en un futuro próximo.

Los arquitectos siempre han intentado explotar todo el potencial de diseño de los materiales disponibles. En el pasado, las opciones arquitectónicas se limitaban a menudo a materiales locales y métodos tradicionales de trabajo. Pero en las últimas décadas, la globalización del comercio más las comunicaciones globales y las redes logísticas de transporte han cambiado drásticamente la situación. Para el arquitecto, la búsqueda del material "perfecto" se ha convertido en la búsqueda del proverbial alfiler en el - ahora global- pajar.⁸

La aparición de materiales innovadores puede realizarse: por el descubrimiento y transferencia de nuevas tecnologías y/o la transferencia de materiales existentes a otros contextos.⁹

_ ¿Qué métodos se pueden utilizar para encontrar todos estos nuevos productos innovadores?

El método para poder encontrar todos estos nuevos productos es adoptar un nuevo hábito de investigación consistente en una vigilancia tecnológica sobre nuevos artículos que se van sacando cada semana o cada mes. Para ello se cuenta con las tecnologías suficientemente avanzadas para descubrir a través de una gran variedad de sitios web y publicaciones impresas los nuevos productos del mercado y sus características.

La comunicación entre profesionales del sector sobre conocimientos de nuevas tecnologías y materiales puede enriquecer significativamente la práctica arquitectónica y su evolución.

Además, para hacer arquitectura siempre se requiere innovación y existen muchas formas de asumir este concepto, pero afecta en gran instancia las cualidades físicas del proyecto. Muchos arquitectos lo han ido demostrando con el paso del tiempo, ya que sin experimentación con nuevos materiales no existirían los materiales con los que construimos actualmente. Un ejemplo emblemático es Le Corbusier con el hormigón armado.

⁸ _Sauer, Christiane. *MaterialScout: The architect as building materials scout.*

⁹ _Sauer, Christiane. *MaterialScout: The architect as building materials scout.*



[6]



[7]

[6] Foto Materfad: centro de materiales Barcelona
[7] Foto Materfad: centro de materiales Barcelona

En los últimos años han surgido centros o plataformas web de vigilancia tecnológica y de referencia consultiva para distintos sectores industriales sobre nuevos materiales que ofrecen unas bibliotecas de materiales novedosos y relevantes para distintos sectores entre los cuales se encuentra la arquitectura. Algunas de estas plataformas donde se pueden encontrar numerosos materiales son *Materialdistrict* o *Material Connexion*, que proporcionan una perspectiva entre industrias sobre materiales, tendencias, diseño y sostenibilidad. También contamos en España con centros de investigación científica y tecnológica en el campo de la construcción y sus materiales, como el *Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc)*.

Otro de ellos es un centro de materiales que se encuentra en Barcelona llamado *Materfad*. [6] y [7]. Además, cuenta con una red global de centros afiliados con los que comparte misión y objetivos, y están distribuidos por diferentes partes del mundo.

*MATERFAD*¹⁰, es un centro de materiales que nace de la creciente importancia que adquieren los materiales en el desarrollo de nuestra sociedad. Su finalidad es prestar servicio a empresas, profesionales, centros tecnológicos y universidades. En este sentido, Materfad proporciona la información y asesoramiento necesario sobre materiales y sus tecnologías asociadas para hacer realidad proyectos innovadores.¹¹

Su labor de vigilancia tecnológica le reporta un conocimiento exhaustivo de las tecnologías y nuevos materiales utilizados a nivel multisectorial. Le permite detectar materiales y tecnologías de un determinado sector para aplicarlos en otro, ofreciendo el conocimiento a las empresas y profesionales que utilizan los servicios de consultoría de Materfad.

En Materfad se encuentran representadas todas las familias de materiales (metálicos y aleaciones, naturales, cerámicos y vidrios, poliméricos e híbridos y/o procesados).

Además, ofrece una materialoteca física donde poder conocer, tocar o sentir una muestra de 1200 materiales innovadores o singulares que se actualiza y va creciendo día a día con las últimas novedades a escala nacional e internacional. También cuenta en su página web con una materioloteca en línea de acceso inmediato a 3500 materiales innovadores con información y contacto de los fabricantes y distribuidores.

Una de sus actividades bastante interesante es que, un día a la semana eligen un material sorprendente, tanto por su innovación como por su posible aplicación, y es una manera atractiva de poder inspirar a la hora de crear.

¹⁰ _ Materfad_Materiales de vidrio e innovaciones de la transparencia. Fichas materiales (Anexo_Pág.90)

¹¹ _ (<https://youtu.be/l-BJWbtsAbg>_Materfad, centro de materiales de Barcelona).

1.3_ Líneas de investigación

Dentro de todo este mundo de nuevos materiales en la arquitectura del siglo XXI, existen muchas líneas de investigación específicas en cada material y que se clasifican por familias de materiales.

Para poder enmarcar el tema del trabajo, se revisó los posibles grupos de interés, ya que el mundo de los nuevos materiales engloba una gran cantidad de familias. Durante esta labor preliminar se fue clasificando los resultados en las siguientes categorías: materiales naturales, materiales reciclados, materiales acumuladores de energía, materiales inteligentes, materiales sostenibles y, por último, materiales transparentes. De estas seis líneas de investigación de interés se escogió la línea relacionada con los materiales de vidrio y la transparencia, ya que en el último tiempo se ha aumentado el uso de este material y en el que han surgido nuevas tecnologías que abrirán nuevas oportunidades para seleccionar soluciones más óptimas en el proceso de diseño.

De esta labor preliminar se descubrieron materiales innovadores de los diferentes grupos nombrados anteriormente que resultaron bastante curiosos e interesantes y que de los cuales no se sabía de su existencia hasta que se realizó la búsqueda por la web.

_Cemento fluorescente – Material acumulador de energía

"El cemento es un cuerpo opaco, no permite el paso de la luz al interior, por lo que debemos hacer un cambio en su microestructura para permitir una entrada parcial de luz en el interior para que tenga este comportamiento"¹²,

dice José Carlos Rubio Ávalos, un arquitecto mexicano que desarrolló este invento abriendo puertas no solo para la experimentación, sino para las posibilidades de la arquitectura.

Este cemento se obtiene mediante un proceso de policondensación, fundiendo materias primas como la sílice, desechos industriales, hidróxidos de sodio y potasio y, por último, agua. Se realiza a temperatura ambiente y no requiere altos hornos o consumos de energía, y la contaminación por su elaboración es baja comparada con el cemento Portland tradicional y los plásticos sintéticos.¹³

Sus aplicaciones son muy amplias, pero donde más sobresale es dentro de la arquitectura, destacando frentes de fachada, señalamiento en suelos y seguridad vial [8], piscinas, baldosas, baños ... [9] [10] [11] y en general, en cualquier lugar donde se desee iluminar o marcar espacios donde no alcance a llegar las instalaciones eléctricas. Su durabilidad según Rubio Ávalos es de 100 años, por su naturaleza inorgánica y fácilmente reciclable.

¹² _ Rubio Ávalos, José Carlos.2016. *Mexicano desarrolla cemento emisor de luz para la construcción*. Entrevista: Agencia Informativa Conacyt (AIC).

¹³ _ Rubio Ávalos, José Carlos.2016. *Mexicano desarrolla cemento emisor de luz para la construcción*. Entrevista: Agencia Informativa Conacyt (AIC).



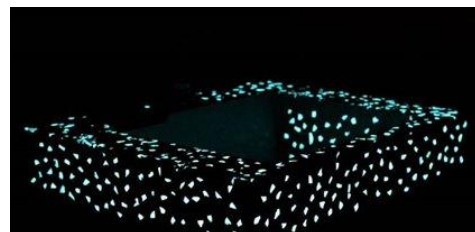
[8]



[9]



[10]



[11]

[8] *Cemento fluorescente señalando el camino de un parque*
[9, 10 y 11] *Agregados luminosos AGT en un fregadero de hormigón, que se muestran a varios niveles de luz*

Su proceso consiste en acumular energía durante el día a partir de luz natural o artificial y posteriormente, en la oscuridad emitir toda esa energía de forma lumínica pudiendo llegar a las 12 horas de emisión con la acumulación de todo un día.

Ladrillos fabricados con colillas de cigarro – Material reciclado y ecológico

'La basura de un hombre es el material de construcción de otro'¹⁴.

Un grupo de investigadores australianos del Royal Melbourne Institute Technology (RMIT) han demostrado que la combinación de los ladrillos de arcilla y colillas de cigarro [12] pueden ahorrar energía en la producción mediante un estudio. Según el Dr. Abbas Mohajerani [13], responsable de la investigación,

“cada año se producen cerca de 6 billones de cigarrillos, lo que genera 1,2 millones de toneladas de residuos. Se espera que estas cifras aumenten en más de un 50% para el 2025, debido principalmente a un aumento de la población mundial”.

Una alternativa para utilizar de forma útil estos residuos consiste en introducir las colillas de cigarros acumuladas en el ciclo productivo de los ladrillos, en la arcilla antes de cocerla. Los ladrillos terminados mantienen unas propiedades estructurales similares a la de los ladrillos normales, pero son más ligeros y tienen mejores propiedades de aislamiento. Además, el proceso de cocción también atrapa los contaminantes tóxicos de los cigarrillos dentro de los ladrillos, de manera que no se liberan al medio ambiente. Mohajerani explica:

“La incorporación de colillas en los ladrillos puede resolver eficazmente un problema global de basura ya que las colillas de cigarrillos recicladas se pueden incorporar en los ladrillos sin ningún temor a la lixiviación o la contaminación”.

Y concluye:

“También son más baratos de producir en términos energéticos, y a medida que se incorporen más colillas, el coste energético disminuye aún más”.

Este estudio ha demostrado que los ladrillos fabricados con un 1% de colillas de cigarro tienen unas propiedades muy similares al ladrillo estándar, se ahorra energía en la fabricación, se gana en aislamiento y son más ligeros. Se puede pensar que si se añade un 2% se ahorraría más y se crearían ladrillos ecológicos de arcilla con colillas de cigarro más ligeros y aislantes. Sin embargo, esta afirmación debe confirmarse y por ello se debe comprobar si las propiedades no varían significativamente y así poder realizar con seguridad construcciones ecológicas con este tipo de ladrillo. ¹⁵

¹⁴ _ Lynch, Patrick.2016. *Investigadores de RMIT desarrollan un ladrillo más eficaz y liviano utilizando colillas de cigarros*. Traducido: Yunis, Natalia. Fuente: Plataforma Arquitectura.

¹⁵ _ Inarquía. 2020. *Construcción Sostenible con Ladrillos ecológicos de Colillas de Cigarro*. <https://inarquia.es/construccion-sostenible-ladrillos-ecologicos-colillas-cigarro>



[12]



[13]

[12] Ladrillos fabricados con colillas de cigarro
[13] Doctor Abbas Mohajerani con ladrillos de colillas de cigarro

_Impresión líquida de materiales metálicos – Material inteligente

El metal impreso líquido se mostró por primera vez en la exhibición "Diseños para diferentes futuros" del Museo de Arte de Filadelfia. Es un nuevo proceso para imprimir metal líquido dentro de un soporte de polvo. Este proceso de impresión puede producir objetos metálicos desde centímetros hasta metros en escala con tiempos de impresión que van desde segundos a minutos. Es el primer proceso de impresión capaz de producir objetos metálicos grandes en cuestión de segundos a minutos que son 100% reciclables y reutilizables.¹⁶

Este proceso de fabricación se logra dibujando en 3 dimensiones con metal fundido dentro de un lecho de polvo [14] [15] [16] eliminando la necesidad de soportes impresos, procesos de sinterización lenta o técnicas de soldadura de baja resolución. Al imprimir rápidamente objetos metálicos a gran escala, se puede realmente permitir la impresión 3D en metal, que ha sido limitada en escalabilidad y factibilidad para la fabricación hasta hoy en día.

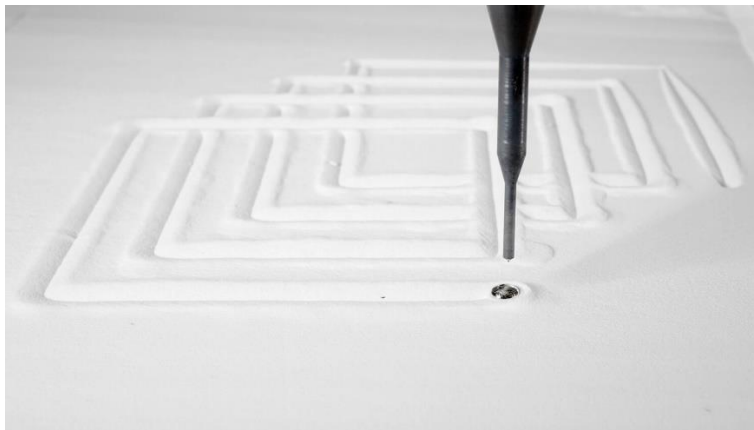
En la actualidad, el metal constituye una parte importante de los productos y componentes fabricados. La posibilidad de impresión más rápida, más barata y personalizable confiere a esta tecnología la capacidad de cambiar los procesos de diseño y producción en el futuro. Se puede visualizar aplicaciones prometedoras en el diseño de productos, componentes arquitectónicos o potencialmente piezas de aviación y automotrices.

En este sentido, el enfoque de búsqueda se relacionó con el desarrollo realizado en la industria del vidrio y las innovaciones de la transparencia. La evolución que ha ejercido este material a lo largo de la historia desde sus primeras aplicaciones a proyectos arquitectónicos de gran envergadura hasta aplicaciones presentes y futuras debido a los avances tecnológicos del momento, pueden generar arquitecturas de vidrio innovadoras.

¹⁶ _ <https://selfassemblylab.mit.edu/liquid-printed-metal>
Equipo de laboratorio de autoensamblaje: Bjorn Sparman, Schendy Kernizan, Jared Laucks y Skylar Tibbits. Comisionado por el Museo de Arte de Filadelfia, el Centro de Arte Walker y el Instituto de Arte de Chicago para la exposición "Diseños para futuros diferentes".



[14]



[15]



[16]

[14,15 y 16] Imágenes de metal impreso líquido_ Laboratorio de autoensamblaje.
Equipo de laboratorio de autoensamblaje: Bjorn Sparrman, Schendy Kernizan,
Jared Laucks y Skylar Tibbits. Comisionado por el Museo de Arte de Filadelfia, el
Centro de Arte Walker y el Instituto de Arte de Chicago para la exposición
"Diseños para futuros diferentes".

Capítulo 2.” ... y pasado del vidrio”

La tradición de construir edificios en vidrio se inicia ya en el siglo XX. Los grandes invernaderos, las galerías urbanas cubiertas y las estaciones de ferrocarril, son el punto de partida de una arquitectura abstracta que juega con nuevos elementos: transparencia, brillos, reflejos...



[17] Vista exterior. Palacio de Cristal, Parque El Retiro en Madrid, (1887), Ricardo Velásquez Bosco (Fotografía de la autora, Madrid, 2019)

2.1_Hacia una arquitectura de vidrio

“La mayoría de nosotros vivimos en habitaciones cerradas. Ese es el ambiente en que se desarrolla nuestra cultura. Nuestra cultura es el producto de nuestra arquitectura. Si queremos elevar el nivel de nuestra cultura hasta su cota más alta, estamos obligados, para bien o para mal, a cambiar nuestra arquitectura. Y esto será solamente posible si ponemos fin al carácter cerrado de los espacios en que vivimos. Pero esto sólo lo podremos hacer por medio de la introducción de la arquitectura del cristal, que dejará entrar en nuestras viviendas la luz del sol y la luz de la luna y de las estrellas, no por un par de ventanas solamente, sino, simultáneamente, por el mayor número posible de paredes completamente acristaladas. El nuevo ambiente que creemos cambiará completamente la humanidad.”¹⁷

Es imposible saber cuál fue el primer elemento de vidrio en la historia de la arquitectura, pero si se puede retroceder en el tiempo hasta el siglo XI y citar el uso del vidrio soplado en vidrieras de las catedrales románicas. Sin embargo, no será hasta la Revolución Industrial cuando comience a ocupar espacios públicos y de diseño fuera del ámbito religioso y ornamental.

El momento histórico en el que inicia la utilización del vidrio para nuevos usos arquitectónicos es a mediados del siglo XIX, ejerciendo una gran influencia sobre la humanidad y en especial sobre los arquitectos, que les ha permitido desarrollar una serie de técnicas constructivas cuyo resultado ha venido de la mano de edificios transparentes y luminosos.

La arquitectura moderna se formula en el siglo XX, y en concreto en la década de 1920 y se puede decir que los materiales que definen la arquitectura moderna son el hormigón armado, el acero y el VIDRIO. En este capítulo se hace un recorrido por los edificios que, en juicio de la autora, han empleado en el S.XX el vidrio de forma innovadora.

El atractivo del vidrio es casi como una obsesión para el espíritu humano y el único motivo para esta obsesión radica en la TRANSPARENCIA y la relación que establece con la luz.

Además, si “la tarea histórica de la arquitectura ha sido dar forma a los sistemas constructivos”, como escribía Rafael Moneo, se puede decir que la arquitectura de vidrio también se determina formalmente en esa década.

¹⁷ _ Scheebart, Paul. 1914.Arquitectura de cristal



[18] Vista exterior. Crystal Palace en Hyde Park de Londres, Joseph Paxton (1851). La estructura de hierro y cristal parecía flotar en el aire a los ojos de los espectadores como un edificio poderoso. Sus paredes de cristal se convirtieron con rapidez en una obra de arte viva para pintores y poetas.

Anteriormente no era posible poder crear grandes paños homogéneos y liberar a la arquitectura de su carácter pesado y masivo. También era difícil pensar en la posibilidad de poder crear una arquitectura basada en construcciones livianas y fachadas transparentes. Desde entonces, la evolución técnica del vidrio ha sido imparable, logrando que un material caracterizado por ser frágil y sin cualidades aislantes, ahora nos permita actualmente producir estructuras enteramente en vidrio o fachadas con un muy buen nivel de aislamiento térmico y acústico, e incluso con una alta resistencia al fuego.

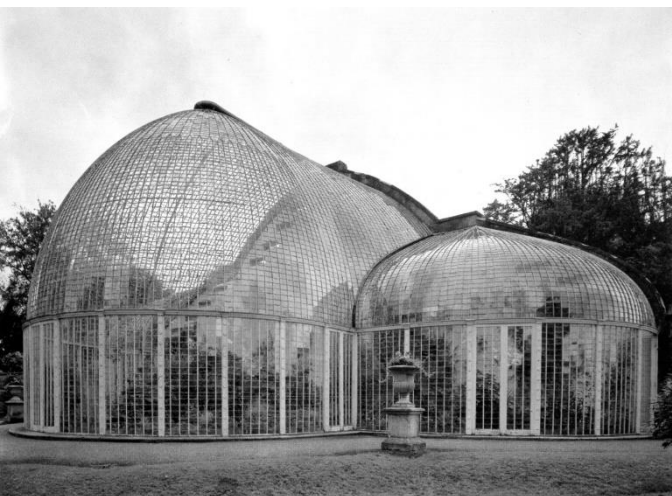
Los grandes invernaderos, las galerías urbanas cubiertas y las estaciones de ferrocarril, son el punto de partida de una arquitectura abstracta que juega con nuevos elementos: transparencia, luces, brillos, reflejos...

Se debe señalar que a comienzos del siglo XX ya existía una larga tradición de grandes y pequeños edificios construidos totalmente en vidrio y en acero con una técnica exquisita. Eran las novedosas galerías urbanas cubiertas y los grandes invernaderos.

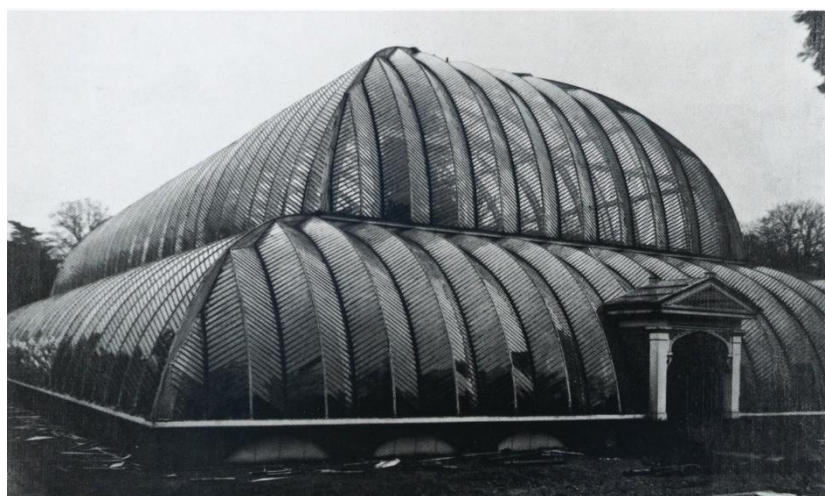
Uno de los ejemplos más claros de esta época fue el *Crystal Palace en Hyde Park de Londres de 1851* [18]. Un edificio que incluso sin haber sido erigido, era un edificio visionario lleno de formas utilitarias que se disolvían en transparencia y se encogían en sí mismas, ofreciendo un símbolo conmovedor de la Era Industrial y logrando emocionar a los visitantes con sus efectos futuristas.¹⁸

Otros ejemplos importantes de la época fueron, el invernadero [19] *Palm House de Bicton (1820-1840)* que se caracteriza por sus vidrios escamados; [20] *La Chatsworth House (1836-1840) de J. Paxton*, precedente del Crystal Palace y por último uno de los invernaderos más bonitos que jamás se han construido, [21] *la Palm House en los Royal Botanic Gardens de Kew (1845-1848), Reino Unido*, obra de Burton y Turner. Esto fue el legado de los invernaderos y la fascinación que produjo la arquitectura, toda de vidrio.

¹⁸ _ Trachtenberg, Marvin; Hyman, Isabelle. 1990. *Las formas de la arquitectura de alta tecnología_* (pág. 595-596). Ediciones AKAL



[19]



[20]



[21]

- [19] Vista exterior. Palm House de Bickton (1820-1840)
[20] Vista exterior. La Chatsworth House (1836-1840) de J. Paxton
[21] Vista exterior. Palm House en los Royal Botanic Gardens de Kew (1845-1848), Reino Unido, Burton y Turner.

Entre 1914 y 1932 aparece un nuevo lenguaje arquitectónico cuyo protagonista es el vidrio, encargado de jugar un papel muy importante en este periodo. Sin embargo, también se manifestarán sus dificultades y defectos a la hora de usarlo.

En 1914 se publica *“La Arquitectura de Cristal”* de Scheerbart, donde propugna la creación de una nueva arquitectura y unos nuevos materiales para ascender la cultura a otro nivel. Propone una arquitectura que se aleje del funcionalismo para dejar espacio a las ideas estéticas. Sustituir el ladrillo por el vidrio era la expresión de este nuevo movimiento, dando comienzo el ideario de la Bauhaus.

También se realiza *el Pabellón de Cristal de Bruno Taut* y [22] *la Fábrica modelo en la Exposición del Werkbund en Colonia por W. Gropius*, que supusieron un impacto visual y tecnológico tan grande que fueron considerados los pioneros de la arquitectura moderna.



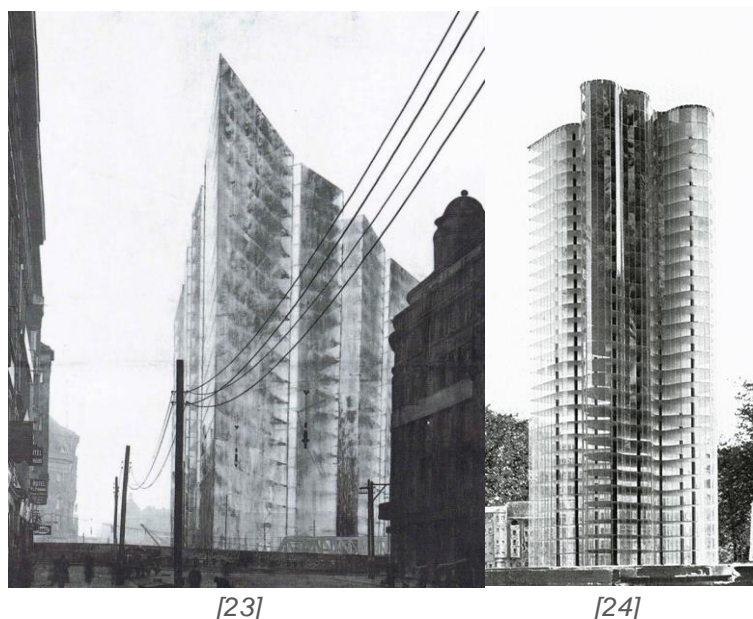
[22] Vista exterior. *Fábrica modelo en la Exposición del Werkbund en Colonia, W. Gropius, 1914.*

Mies Van der Rohe será el encargado de proponer el lenguaje y la técnica de lo que será la futura arquitectura del vidrio en la siguiente década. Estas propuestas vendrán de la mano de dos proyectos no construidos, [23] *el rascacielos en la Friedrichstrasse (1919)* y [24] *el rascacielos en la Friedrichstrasse (1920-21)* con la fachada alabeada, anticipando la arquitectura del momento y cuyo propósito era hacer patente la estructura de ambos edificios.

“... Quería mostrar el esqueleto y pensé que la forma más sencilla de hacerlo era poner el cristal como piel” ¹⁹,

“...al estar utilizando cristal, estaba preocupado por evitar que las superficies reflejaran demasiada luz, así que rompí las fachadas un poco en planta de modo que la luz incidía en ella reflejándose en diversos ángulos.” ²⁰

Dos propuestas más de Mies, en este caso ambas construidas, completaron la arquitectura de vidrio en esta década. Por un lado, *la casa Tugendhat en Brno (1928-1930)* y por otro, *el Pabellón de Alemania en la Expo de Barcelona (1929)*. El vidrio juega un papel arquitectónico fundamental en estos proyectos y da lugar a una serie de propuestas, que podríamos denominar “construcción de pequeñas casas de cristal”. También usó el vidrio de manera más radical en pequeñas viviendas privadas, siendo el mayor exponente *la casa Farnsworth (1951)*.



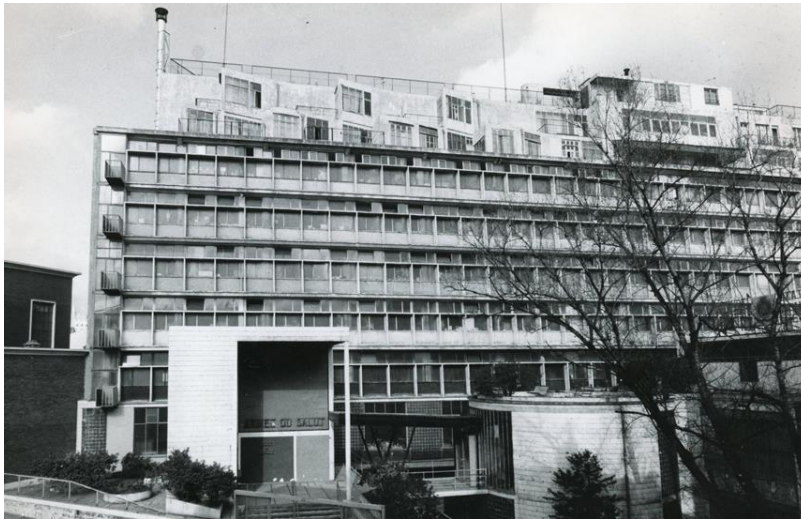
[23] Vista exterior. Rascacielos en la Friedrichstrasse (1919), Mies Van der Rohe

[24] Vista exterior. Rascacielos en la Friedrichstrasse (1920-21), Mies Van der Rohe

¹⁹ _Mies Van der Rohe _ *Monografías de arquitectura, tecnología y construcción, Tectónica 10_Vidrio – (Pág. 8)*

²⁰ _Mies Van der Rohe _ *Monografías de arquitectura, tecnología y construcción, Tectónica 10_Vidrio – (Pág. 8)*

Le Corbusier dejó de tener en cuenta algunos principios físicos elementales en su proceso de diseño para el confort y la energía del edificio en la [25] *Cité de Refuge en Paris (1930-31)*, en el que tenía su fachada orientada al suroeste completamente acristalada. Más adelante introdujo una innovación estructural muy notable, sus célebres brises-soleil en 1951 [26], como elementos constructivos imprescindibles para eliminar los problemas de aislamiento del muro de vidrio.



[25]



[26]

[25] Vista exterior. *Cité de Refuge en Paris (1930-31)*, Le Corbusier
[26] Vista exterior. *Cité de Refuge con brisé-soleil en Paris (1951)*, Le Corbusier

Otro proyecto que contribuyó a la arquitectura del vidrio del momento fue [27] *La maison de Verre en París (1928-32) de P. Chaureau*, una casa para un médico en torno a un patio de manzana. En sus dos fachadas principales (norte y sur), sus muros están contruidos con bloques de vidrio translúcido y con ventanas transparentes en determinados lugares que permiten la entrada de una luz tamizada independientemente del paisaje que se encuentra al otro lado, ya sea el patio de acceso o el jardín posterior. Se comenta que el arquitecto quería que la casa fuera «una caja de luz».

En muy poco tiempo se había formado un nuevo lenguaje arquitectónico en el que el material protagonista era el vidrio. *Lo que comenzó como una casa de vidrio para plantas, no mucho después plantearía modelos para el hábitat humano.*²¹ El vidrio era el material innovador del momento.

La arquitectura poco a poco se hizo más abstracta y se convirtió en un juego de muchas sensaciones primarias que no estaban aún contaminadas por la cultura.

²¹ _ Loudon fue el primero en proponer grandes superficies de paisaje cubiertas por cúpulas de vidrio: Loudon, J. 1822. *Encyclopedia of Gardening*. Londres.



[27] Vista exterior. Fachada de la maison de Verre en París (1931) de P. Chaureau, con sus elegantes marcos de 24 bloques de vidrio cada uno.

2.2_ ¿Por qué fue un material innovador?

“... elaborar una piel independiente de cristal. No más pared ni ventana. El muro en sí mismo una ventana. En esta nueva disposición, el muro exterior no se hace visible mucho tiempo. De esta forma, aparece la cualidad absolutamente única del cristal comparado con otros materiales: está y no está. Es el gran misterio de la ventana, delicada y fuerte a la vez.”

El vidrio se utiliza, no para cerrar un hueco, que es como se venía utilizando en ese momento, sino que la idea misma de hueco se veía superada y el vidrio pasó a ocupar la totalidad del muro y la cubierta, a convertirse en la piel de los edificios.

Fue un material innovador en su tiempo debido a que, anteriormente no era posible poder construir grandes edificaciones con este material, porque no existían los recursos avanzados ni las tecnologías para poder lograrlo. Con el paso del tiempo se fue demostrando la potencialidad y las características que tenía el material para poder hacer arquitectura y pasó a ser un componente importante del lenguaje arquitectónico.

Además, era necesario para poder liberar a toda esa arquitectura ligada a construcciones masivas y pesadas, y pasar a una arquitectura mucho más liviana y ligera, llena de matices, de transparencias, de sensaciones, de brillos, de reflejos... Supuso una innovación tecnológica muy importante en la historia de la humanidad, sobre todo con relación al confort de los espacios cerrados.

Las fachadas acristaladas fueron posibles gracias a los desarrollos de los sistemas de calefacción y de refrigeración, de lo contrario el edificio hubiese sido inhabitable. Hicieron posible una innovación tecnológica que supuso una tremenda mejora del confort térmico interior: la estufa. Fue posible poder disfrutar de la iluminación natural en un ambiente uniformemente cálido. Además, el vidrio era capaz de atrapar la radiación solar, y en un día soleado, el confort térmico interior mejoraba incluso sin tener fuente de calefacción.

La arquitectura de cristal es sinónimo de luz, experiencias, transparencia, dinamismo, unión de interior y exterior, sobriedad, elegancia, sencillez y ligereza. Como decía el poeta alemán Paul Scheerbart:

“Con un palacio de cristal, la vida parece un poco más liviana.”

Capítulo 3.” ... y futuro del vidrio”

3.1_Evolución a futuro del vidrio.

La conquista en el siglo XX de la arquitectura por el vidrio supuso la liberación de la masividad y la conquista de la transparencia, la cual acompañaba a los cambios sociales de la época. Hoy, en el siglo XXI el progreso en los cerramientos acristalados se alía con la sociedad en su esfuerzo por la sostenibilidad energética y el incremento de las prestaciones en general.

En las últimas décadas, el uso de vidrio en edificios ha aumentado notablemente debido a las innovaciones desarrolladas por la industria, como han sido vidrios con mejor aislamiento y que ofrecen una mayor protección frente al sol, las cuales junto con un gran progreso en la vía estructural han abierto nuevas posibilidades en la arquitectura del vidrio. La imagen del vidrio como material de construcción volvió a cambiar, y tuvo un gran auge en proyectos de carácter mediático; que, gracias a las nuevas posibilidades, se amplió de manera que el vidrio simbolizó no solo el progreso técnico, sino también los valores de la sociedad. Ejemplos como [28] *la Pirámide del Louvre en París, I.M. Pei (1989)* y [29] *la Mediateca de Sendai, Toyo Ito (2001)*.

Fruto de esta nueva imagen, se han construido varios edificios transparentes, en los que los materiales casi han desaparecido. Se tiene que evaluar la situación actual investigando nuevas posibilidades y su efecto en el desarrollo de edificios acristalados. Varios estudios muestran que la durabilidad, seguridad, apariencia y eficiencia de los edificios transparentes pueden mejorarse mediante el perfeccionamiento continuo de los diseños, la sustitución de elementos envejecidos, la rápida reparación de revestimientos protectores dañados y una mayor explotación de las pantallas de doble cara basadas en el uso de elementos de electrónica flexible transparentes.²²

El resultado de este análisis debe reflejar un escenario en el que, el progreso científico y tecnológico abre una serie de oportunidades para seleccionar las soluciones más óptimas en el transcurso del proceso de diseño. Además, estos avances garantizan que la próxima generación de edificios transparentes sea más segura, duradera, hermosa e incluso sostenible.

²² _ Pariafsai, Fatemeh. 2016. "A review of design considerations in glass buildings" (Pág.172) _ Department of Sheikh Sadough, Islamic Azad University of Shahr Rey, Tehran, Iran



[28]



[29]

[28] Vista exterior. Pirámide del Louvre en París, I.M. Pei (1989)
[29] Vista exterior. Mediateca de Sendai, Toyo Ito (2001)

3.2_Innovación en la industria. Tipos de vidrio

Muy recientemente, la forma de la vida humana ha sido testigo de un gran énfasis e interés en saber cómo enfrentar los problemas futuros. A través de la invención de nuevos productos, así como de nuevas tecnologías, los arquitectos ahora pueden enfrentarse a los desafíos globales representados en la preservación de la energía, la protección ecológica y la búsqueda de un hábitat o medioambiente libre de emisiones de carbono.²³

Actualmente, la mayor parte del mercado de ventanas en el mundo está dominada por la tecnología de doble acristalamiento, y en la gran mayoría de viviendas que se construyen cuentan con esta instalación, incluso de triple acristalamiento. Sin embargo, las ventanas siguen siendo responsables de más de la mitad de las pérdidas de calor de las envolventes de los edificios. No solo comprenden el componente de acristalamiento sino también el marco, que tiene aspectos de transmisión de calor y hermeticidad que se deben considerar. En este sentido, es importante identificar tecnologías apropiadas para fabricar ventanas eficientes energéticamente, que también mejorarán el confort visual y térmico de los ocupantes.²⁴

Además de las propiedades del vidrio y de las ventanas, es importante la buena instalación de las carpinterías acristaladas para garantizar las características térmicas adecuadas de la envolvente.

A continuación, se muestra una revisión de algunos de los últimos avances en tecnologías de acristalamiento de última generación que tienen como objetivo proporcionar aislamiento térmico de alto rendimiento, control de ganancia solar y soluciones de iluminación solar.

Este abanico de productos y tecnologías de alto rendimiento actualmente disponibles que se analizan y se complementan con ejemplos de aplicación en la arquitectura, tiene como objetivo ofrecer una perspectiva sobre las tecnologías de acristalamiento utilizadas tanto para el reacondicionamiento de edificios existentes como para aplicaciones de nueva construcción.

²³ _ Mohammed Hosni Aggour, Mona. 2013. "Nanotechnology as a Generator of Creative Architectural Glass" (Pág.758) _ Departament of Architecture, Faculty of Engineering, Mataria, Helwan University, Egypt

²⁴ _ Cuce, Erdem; B. Riffat, Saffa. 2014. "A state of the art review on innovative glazing technologies" (Pág. 696) _ Department of Architecture and Built Environment, Faculty of Engineering, University of Nottingham, University Park, NG7 2RD Nottingham, UK

3.2.1_Vidrio laminado

“La nueva plaza frente al edificio General Motors es un triunfo del diseño urbano” asegura James Gardner en el New York Sun. De repente, la ciudad de Nueva York cuenta con un nuevo espacio público, que parece surgir de ningún sitio en el que se encuentra la Apple Store de la 5ª Avenida, convirtiéndose en un icono arquitectónico de la ciudad.

Apple ha contribuido al desarrollo del vidrio estructural como material protagonista de sus famosas estructuras y que ha ido evolucionando debido a los avances tecnológicos. En 2006 [30] se inauguró esta tienda, cuya estructura estaba conformada por un cubo compuesto de pórticos con paneles de vidrio autoarriostrados en ambas direcciones. Las uniones entre los paneles de cerramiento de vidrio, las vigas y montantes se hicieron por medio de insertos metálicos fijados a ambos lados. Fue diseñado y construido de acuerdo con las técnicas disponibles en materia estructural en aquellos años.

Sin embargo, tan solo 5 años más tarde, se desarrollaron una serie de fijaciones y conexiones con el fin de mejorar la estructura. En 2011 [31] se hace una renovación del proyecto, en el que se mantienen las dimensiones del cubo, pero se redujeron considerablemente el número de elementos. Se utilizaron elementos de vidrio estructurales donde el protagonista es el vidrio laminado, que presenta avances tecnológicos. Se emplearon piezas de titanio embebidas en los paneles durante la fabricación del laminado.

Además, las propiedades del vidrio laminado ahora se pueden mejorar con la capa intermedia *SentryGlass Plus (SG)*, tratándose de un cristal laminado estructural más resistente que el laminado tradicional y que tiene las mejores características de flujo, de modo que se pueden fabricar paneles laminados de mayor superficie y de menor espesor gracias a las propiedades de la capa intermedia. Esta capa intermedia dada sus características de flujos superiores, abre la posibilidad de incorporar metal dentro del cuerpo del laminado del vidrio, lo que resulta en uniones más delgadas.²⁵

Esta transformación evolutiva ha supuesto que una estructura que constaba de 106 paneles de vidrio y 250 piezas metálicas presentes en el primer cubo se reduzca a tan solo 15 paneles de vidrio y 40 piezas de fijación. Durante el día el cubo de cristal es una fuente de luz natural para el espacio enterrado, al cual se accede por unas escaleras y un ascensor totalmente transparente [32], mientras que por la noche se convierte en un rótulo iluminado desde el interior, reconocible a muchas manzanas de distancia.

²⁵ _Pariafsai, Fatemeh. 2016. “A review of design considerations in glass buildings” (Pág.172-173) _ Department of Sheikh Sadough, Islamic Azad University of Shahr Rey, Tehran, Iran



[30]



[31]



[32]

- [30] Vista exterior. Apple Store, 5ª Avenida, Nueva York (2006)
[31] Vista exterior. Apple Store, 5ª Avenida, Nueva York (2011)
[32] Vista interior. Acceso por escaleras y ascensor de vidrio. Apple Store, 5ª Avenida, Nueva York (2006) _ Arquitecto Bohlin Cywinski Jackson y el ingeniero estructural Eckersly O'Callahan.

3.2.2_Vidrio ignífugo

La escasa resistencia al fuego del vidrio común limita su uso como material estructural. A diferencia del vidrio común, el vidrio de borosilicato es resistente al fuego, pero no se usa comúnmente en la construcción. Los materiales transparentes de protección contra incendios también pueden mejorar el rendimiento de las estructuras de vidrio durante la exposición al fuego.

Es “una mirada desde dentro, desde un espacio que crea emociones”. Así define el equipo de jóvenes arquitectos madrileños, *el Monumento de homenaje a las víctimas del 11 de marzo de 2004 en Madrid* [33], realizado con motivo del tercer aniversario.

La obra está construida por bloques de vidrio borosilicato transparente e incoloro [34], sometidos a compresión, que van unidos con un adhesivo acrílico que se debe curar con la luz ultravioleta para que tome las condiciones de rigidez necesarias y permitir la unión de los vidrios sin llegar a ser rígida totalmente. Tanto el techo como la pared están contruidos con vidrio de borosilicato, que puede resistir los choques térmicos.

Por consiguiente, la combinación de los bloques de vidrio como la aplicación del pegamento han sido novedosos en un sistema constructivo tradicional para adaptarlos a la idea de cáscara vítrea transparente [35]. Esta estructura de cáscara consiste en, bloques de vidrio de 30x20x7cm pegados entre sí, sin usar acero en la estructura y con una cúpula irregular que continúa bajo tierra.

Por otra parte, se puede actuar sobre la superficie del vidrio para mejorar su comportamiento frente al fuego. Así, por ejemplo, el *revestimiento intumescente transparente* reduce el intercambio térmico al ralentizar el desarrollo de deformaciones térmicas en los elementos de vidrio. Además, después de pequeños incendios, la necesidad de reemplazar los elementos de vidrio estructural se elimina cuando se usa pintura intumescente fácilmente reemplazable. Cuando se calienta una capa intermedia intumescente transparente, se hincha y se convierte en una espuma aislante opaca lo que reduce la transferencia de calor y ralentiza el desarrollo de deformaciones de origen térmico.²⁶

Por lo tanto, la selección adecuada de materiales y métodos de fabricación mejora la seguridad, la eficiencia, la apariencia y el comportamiento estructural de los edificios de vidrio antes y después del daño.

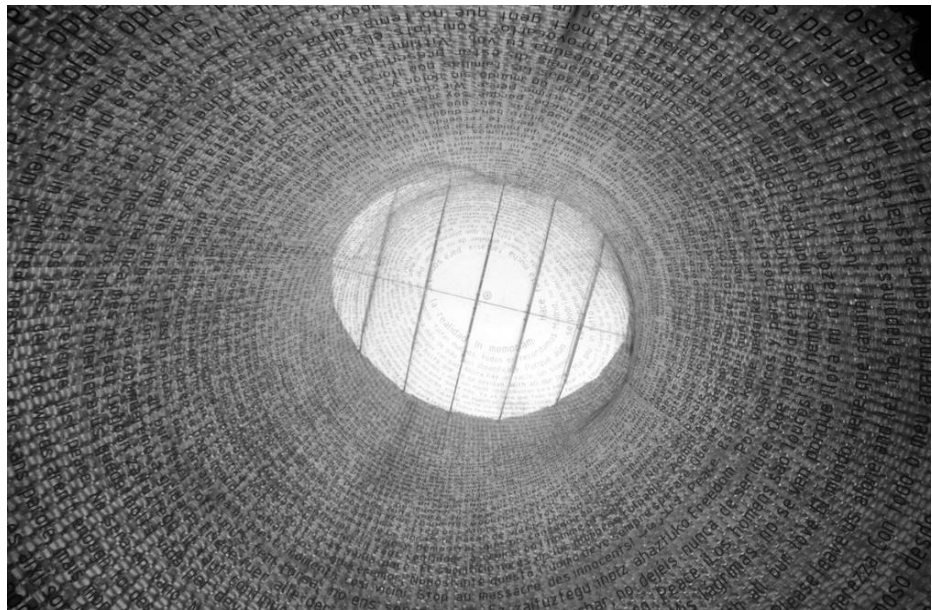
²⁶ _ Pariafsai, Fatemeh. 2016. “A review of design considerations in glass buildings” (Pág.174) _ Department of Sheikh Sadough, Islamic Azad University of Shahr Rey, Tehran, Iran



[33]



[34]



[35]

[33] Vista exterior. Monumento homenaje víctimas del 11 de marzo, Madrid (2004)

[34] Bloques de vidrio borosilicato transparente e incoloro (30x20x7cm). Tanto el techo como la pared están contruidos con vidrio de borosilicato, que puede resistir los choques térmicos.

[35] Vista interior. Monumento homenaje víctimas del 11 de marzo, Madrid (2004) - Cáscara vítrea transparente

3.2.3_Vidrio inteligente. Nanotecnología en la arquitectura del vidrio

El vidrio inteligente engloba una serie de tecnologías de vanguardia que permite cambiar las características de transmitancia térmica y visibilidad para poder obtener el nivel deseado de iluminación o temperatura en el interior de los edificios, a partir de la radiación solar. La nanotecnología aplicada sobre elementos arquitectónicos de vidrio, ejercen diferentes roles para crear soluciones innovadoras que puedan reaccionar ante diferentes problemas aportando una nueva dimensión y una visión en la arquitectura.

Controlar la entrada de luz y calor a través del acristalamiento de edificios es un tema de sostenibilidad importante. Las fachadas son la interfaz entre el interior y el exterior de un edificio, que protegen de agentes externos y son uno de los principales contribuyentes para la creación de ambientes cómodos. Las fachadas de los edificios deben incorporar la tecnología necesaria para reaccionar y adaptarse a las condiciones ambientales de su entorno.²⁷

El concepto de “fachada inteligente” se menciona cada vez más. Una fachada se puede considerar inteligente cuando se adapta a las condiciones de su entorno y se transforma. Esto se debe a la respuesta que ejercen sus componentes (activos o pasivos) para adaptarse a las diferentes condiciones que suceden en el exterior e interior del edificio. El acristalamiento inteligente permite ahorrar energía en tres áreas principales:

- Calefacción, minimizando las pérdidas energéticas de energía cuando la temperatura exterior es baja (invierno),
- Aire acondicionado, realizando un control solar, minimizando la energía utilizada para mantener una temperatura de confort en el interior al existir una alta temperatura en el exterior (verano),
- Iluminación eléctrica, al favorecer la visibilidad en el interior de los edificios gracias a la luz natural del día.

Actualmente existen en el mercado comercial vidrios inteligentes que permiten controlar la transmisión de luz y la transparencia, haciendo que los edificios sean más inteligentes y sostenibles. Algunas soluciones ya aplicables en la arquitectura son: el vidrio electrocrómico, el vidrio autolimpiante y el vidrio fotovoltaico, las cuales se describen a continuación.

²⁷ _ Souza, Eduardo. 2019. *Fachadas inteligentes de vidrio: edificios que se adaptan al clima a través de su piel*. Patrocinado: Saint-Gobain. Traductor: José Tomás Franco. Fuente: Plataforma Arquitectura

_ Vidrio electrocrómico

El vidrio electrocrómico es un vidrio que cambia de apariencia a partir de un estímulo, reduciendo el deslumbramiento y las pérdidas térmicas al tiempo que permite la transmisión de la luz visible. Este fenómeno sucede cuando se le aplica una tensión eléctrica, la cual una vez alcanzado el estado buscado (transparencia u opacidad) se puede eliminar ya que el estado alcanzado permanece. Es un proceso reversible de manera que, al aplicar la tensión eléctrica con la polaridad opuesta se recupera la opacidad o la transparencia, pudiendo ajustar el grado de oscuridad hasta un nivel deseado.

La tecnología incorpora dos láminas delgadas de espesores de varias decenas de nanómetros, una correspondiente al material electrocrómico (el más común es el WO_3) y la otra es una capa de almacenamiento de iones (típicamente NiO), que tiene porosidades bien definidas. Intercalado entre estas nano-láminas está presente un electrolito transparente (conductor de iones). Todos estos se intercalan entre un conjunto de electrodos transparentes de óxido de indio y estaño (ITO), que luego se colocan entre láminas de vidrio.²⁸

La integración de ventanas electrocrómicas en la envolvente de un edificio de grandes dimensiones puede ahorrar entre 40- 50% de la energía primaria utilizada para el aire acondicionado.

SageGlass es un vidrio electrocrómico comercializado por Saint-Gobain [36]. Al modificar la tensión aplicada en la lámina de vidrio, es posible controlar su color y, en consecuencia, cambiar las intensidades de luz y la radiación ultravioleta e infrarroja transmitida a través de este producto.

SageGlass es un acristalamiento ecológico que ofrece ahorros de energía evitando el deslumbramiento, la decoloración y la acumulación excesiva de calor. Es un vidrio dinámico que se tiñe electrónicamente y se utiliza en edificios para universidades, galerías de arte, escuelas, centros de conferencias como en el *Edificio gubernamental de Utrecht* [37]... permitiendo a los ocupantes del edificio elegir el mejor nivel de luz natural y la vista exterior sin comprometer su comodidad. Eliminar la necesidad de persianas mecánicas externas e interiores para prescindir de estos gastos adicionales.

Incorporadas al sistema de automatización de una casa o edificio, las ventanas *SageGlass* ayudan a reducir el consumo de energía entre un 20% y un 30% en comparación con una instalación estándar.²⁹

²⁸ _ Mohammed Hosni Aggour, Mona. 2013. "Nanotechnology as a Generator of Creative Architectural Glass" (Pág.763) _ Departament of Architecture, Faculty of Engineering, Mataria, Helwan University, Egypt

²⁹ _ *SageGlass* – Empresa Saint-Gobain
<https://www.saint-gobain.com/en/sageglass-r>



[36]



[37]

[36] SageGlass – Saint Gobain
[37] Vista interior. Edificio gubernamental de Utrecht, Países Bajos
SageGlass – Saint Gobain

_ Vidrio autolimpiante

El vidrio autolimpiante se caracteriza por presentar una capa transparente de materiales minerales hidrofílicos y fotocatalíticos que se depositan durante el proceso de fabricación. El vidrio utiliza el poder de la radiación UV, contenida en la luz solar y de la lluvia, para controlar eficientemente la descomposición de la suciedad que se acumula en el exterior de las ventanas.

Este vidrio tiene un revestimiento duro e invisible de unas 15 micras de espesor, que incorpora dos características especiales. La superficie que incorpora dióxido de titanio (TiO₂) que tiene propiedades fotocatalíticas y absorbe la luz ultravioleta, desencadenando la descomposición de la suciedad orgánica y convirtiendo a la superficie del vidrio en hidrófila. Esta última característica, hace que el agua de lluvia se extienda y fluya sobre la superficie, en lugar de caer y permanecer en forma de gotas, lavando uniformemente toda la superficie y evitando que aparezcan rayas o manchas antiestéticas cuando la superficie se seca.³⁰

El principal beneficio de este vidrio es el mantenimiento, ya que la idea es reducir a la mitad la necesidad de limpieza y el uso de andamios, grúas o todas las operaciones peligrosas que implican la limpieza de edificios de gran altura.

*SGG BIOCLEAN*³¹ es un vidrio autolimpiante comercializado por la empresa Saint-Gobain que se comercializa junto con otras funcionalidades como aislamiento acústico, control solar y de seguridad. Se utiliza en cualquier entorno geográfico, particularmente en zonas fuertemente contaminadas (áreas urbanas, aeroportuarias, industriales...).

80-ONCE Business & Living [38] es considerado un edificio inteligente, que cuenta con el software BMS-Andover (Building Management System) que integra todos los aspectos de seguridad. Por otra parte, al ser un proyecto LEED, el edificio se diseñó y construyó para cumplir los requerimientos establecidos por el U.S. Green Building Council, entre los cuales están: el uso de materiales no contaminantes en muros y cubiertas verdes, equipos de bajo consumo energético e iluminación led en zonas comunes, vidrios de alto rendimiento que permite ahorro energético y que proporciona alta protección contra los rayos UV.³² Exteriormente el edificio de oficinas está recubierto casi en su totalidad por vidrio y cuenta con tecnología autolimpiante en fachada.

³⁰ _ Mohammed Hosni Aggour, Mona. 2013. "Nanotechnology as a Generator of Creative Architectural Glass" (Pág.764) _ Departament of Architecture, Faculty of Engineering, Mataria, Helwan University, Egypt

³¹ _ *SGG BIOCLEAN – Empresa Saint-Gobain*
https://es.saint-gobain-building-glass.com/sites/saint-gobain-building-glass.com/files/2018-01/41_1399888315_1.pdf

³² _ *Revista Equipar. 80-ONCE Business & Living_ Constructora Sestral S.A., Bogotá (2018).*
<https://www.revistaequipar.com/colombia/contenido-editorial/80-once-business-y-living>



[38] Vista exterior. 80-ONCE Business & Living – Constructora Sestral S.A., Bogotá (2018) ©Jairo Llano

_ Vidrio fotovoltaico

Una célula fotovoltaica es un dispositivo eléctrico que convierte la energía incidente de la radiación solar, en electricidad a través del efecto fotovoltaico. Los compuestos de un material que presenta un efecto fotovoltaico absorben fotones de la luz y emiten electrones. Estos electrones capturados dan como resultado una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

Este vidrio se presenta en forma de un producto en el que se agrupan muchas unidades de fotocélulas. En su fabricación se utiliza la nanotecnología, utilizando técnicas de capas delgadas como son la deposición física en fase vapor por pulverización (*sputtering-PVD*) o de deposición química en fase vapor mejorada con plasma (*PECVD, plasma enhanced chemical vapour deposition*) entre otras. Básicamente, las células fotovoltaicas obtenidas con las técnicas anteriores de silicio amorfo, de CdTe o de CIS/CIGS se integran en el vidrio, bien en el vidrio laminado o en el doble acristalamiento convirtiéndose en una fuente de energía eléctrica. El acristalamiento puede ser semitransparente para ofrecer el contacto visual con el exterior u opaco en varios colores. Las conexiones eléctricas se realizan a través del perímetro de las unidades dentro del marco. La distribución y espaciado entre las distintas unidades o celdas se puede ajustar para dar el equilibrio óptimo entre generación de electricidad y transmisión de luz diurna. Estos productos permiten incorporar dichas unidades en partes del edificio como paredes, techos o añadiéndolas a la cubierta exterior del edificio en diferentes formas.³³

*Onyx Solar*³⁴ ha desarrollado el primer vidrio arquitectónico transparente para edificios. Un vidrio fotovoltaico transparente que, además de generar energía fotovoltaica, filtra la entrada de calor al interior del edificio. De esta forma, el vidrio fotovoltaico aporta una generación energética gracias al sol, a la vez que un ahorro energético debido a una climatización optimizada y al paso controlado de luz natural al interior del edificio.

Estos paneles de vidrio podrían instalarse adicionalmente en una amplia variedad de edificios e instalaciones existentes, contribuyendo así a su mejora tanto desde el punto de vista estético, como energético. Es robusto y personalizable en color y tamaño para que se pueda integrar fácilmente en cualquier edificio, respetando el diseño arquitectónico. Además, es capaz de generar retornos de inversión inalcanzables para cualquier otro material de construcción.

Al proporcionar el mismo grado de aislamiento térmico que el vidrio convencional, junto con la capacidad de generar electricidad limpia y gratuita a partir del sol, el vidrio fotovoltaico permite a los edificios mejorar drásticamente su eficiencia energética, disminuir los costes de operación y mantenimiento y reducir su huella de carbono.

³³ _ Lyons, Arthur. 2010. "Materials for architects and builders" (Pág. 388) _ Forth Edition, Elseviers.

³⁴ _ Vidrio fotovoltaico _ Empresa Onyx Solar_ <https://www.onyxsolar.com/es/>

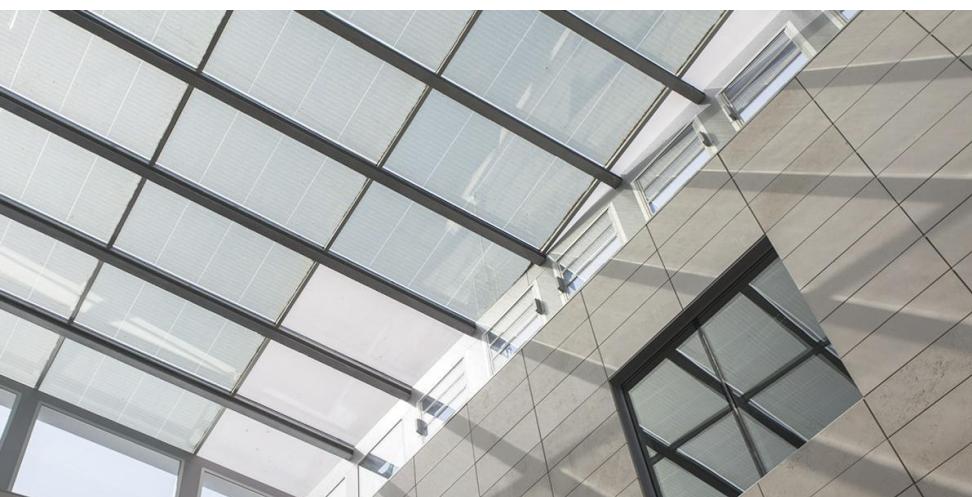
Algunos ejemplos de edificios donde se ha aplicado este vidrio funcional son, [39] *Fachada sede Coca Cola/ Femsa en Monterrey (2014)* donde se integran 400 unidades de vidrio fotovoltaico en su fachada ventilada y cuyos resultados 6 meses después de su puesta en marcha generó energía limpia gracias al sol, equivalente a 5500 kWh y evitando la emisión a la atmósfera de 2,7 toneladas de CO₂; [40] *la Pirámide de la Ciencia, situada en los Jardines Botánicos de Denver (2015)*, con forma piramidal donde se han integrado vidrios fotovoltaicos hexagonales en silicio cristalino con un diseño 100% personalizado; y en la [41] *Rehabilitación Autoridad Portuaria de Baleares en el Puerto de Mallorca (2012)*, utilizando un vidrio de 2.2x1.3 m que cuenta con un grado de semitransparencia capaz de permitir la entrada de luz natural a la vez que filtra la radiación no deseada (UV & IR), lo que evita el efecto invernadero interior del edificio y mejora sustancialmente el confort de sus ocupantes.



[39]



[40]



[41]

- [39] Vista exterior. Fachada sede Coca Cola/ Femsa en Monterrey (2014)
[40] Vista exterior. Pirámide de la Ciencia, Jardines Botánicos, Denver (2015)
[41] Vista interior. Rehabilitación Autoridad Portuaria de Baleares, Mallorca (2012)

Es importante tener en cuenta que, a pesar de los avances tecnológicos relacionados con las fachadas, se pueden lograr muchos avances en términos de sostenibilidad mediante un diseño consciente y eligiendo materiales que sean adecuados para el clima y el medio ambiente. La combinación de sistemas y materiales tradicionales e inteligentes buscando su efecto sinérgico puede mejorar enormemente la comodidad y la eficiencia de un edificio.

Entre los ejemplos relacionados con los vidrios o fachadas inteligentes, cabe destacar no solo por su impresionante arquitectura, el proyecto de oficinas denominado [42] [43] *Cube Berlín en Washingtonplatz, Berlín (2019)*, diseñado por 3XN, sino también por su alto nivel de compromiso con la sostenibilidad medioambiental, con un consumo de energía bajo en comparación con los edificios tradicionales de oficinas. La fachada ventilada de doble piel fue un factor crucial.

Al tiempo que proporciona luz natural, la fachada también ofrece una protección eficiente contra la radiación solar, permitiendo a su vez que los ocupantes se beneficien de ventilación natural. Para prevenir el sobrecalentamiento de la cámara, se instalaron vidrios de altas prestaciones de control solar procedentes de la empresa Guardian Glass como, *Vidrio de aislamiento térmico Guardian ClimaGuard® Premium2, Vidrio flotado de bajo contenido en hierro Guardian UltraClear®, Guardian SunGuard® HD Diamond 66 Ultra y vidrio de control solar Guardian SuperNeutral SN 62/34.*³⁵

Además, cuenta con un conjunto de soluciones técnicas que absorben la radiación solar en la piel exterior por medio de láminas de recubrimiento de PVB, permitiendo que el Cube Berlín funcione como un edificio totalmente acristalado de alta eficiencia energética. Esta solución se desarrolló desde cero y el arquitecto tuvo que pedir una aprobación a nivel nacional durante las fases de diseño y construcción. Al añadir ese intercalario estructural, se aumentó la estabilidad de los bordes y disminuyó el riesgo de delaminación, al mismo tiempo que se redujo la apariencia amarillenta.

³⁵ _ Interempresas. 2020. "Una fachada de doble piel que combina estética y técnica"_Guardian Glass <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/300575-Guardian-en-el-edificio-Cube-Berlin.html>



[42]



[43]

[42] Vista exterior. Proyecto Cube Berlín (2019): 3XN A/S. ©Adam Mørk, Washington Platz, en el distrito urbano Europa City de Berlín. La combinación de vidrios utilizada en la fachada favorece una estética atractiva, reflejando el entorno del edificio por todos los lados y cambiando su apariencia de forma dinámica.

[43] Vista exterior. Proyecto Cube Berlín (2019): 3XN A/S. ©Adam Mørk, Washington Platz, en el distrito urbano Europa City de Berlín. La espectacular fachada, diseñada a medida cumple con las prestaciones de eficiencia energética requeridas.

3.3_Innovaciones de la transparencia con otros materiales

Los rápidos desarrollos que se realizan en el campo de los nuevos revestimientos de vidrio permiten nuevas combinaciones de materiales con el vidrio y su factor más importante, la transparencia, y las nuevas ingenierías y métodos de construcción asociados para garantizar su continuidad como componente clave de la construcción de edificios.

Más allá de la obtención de vidrio con distintas composiciones para modular de forma intrínseca sus propiedades ópticas, se debe tener en cuenta que los rápidos desarrollos que se realizan en el campo de los nuevos revestimientos de vidrio, permiten implementar nuevas funcionalidades junto con un control de la transparencia o el paso selectivo de la radiación solar mediante estímulos externos. Estas tecnologías junto con nuevos métodos de construcción parecen garantizar su continuidad como componente clave de la construcción de edificios en el futuro.

La Ciencia y Tecnología de materiales está constantemente avanzando en el estudio de propiedades de nuevos materiales como el procesado, conformado o combinación de varios los puede modificar o generar nuevas propiedades. Una línea con hallazgos interesantes e innovadores de interés para la arquitectura es la del desarrollo de materiales translúcidos y materiales autoluminiscentes para paredes, techos y elementos estructurales. La principal ventaja del material transparente es el hecho de que puede transmitir luz de fuentes naturales y artificiales. Las propiedades de los materiales luminosos abren amplias posibilidades de diseño en arquitectura, de interiores, de productos y áreas relacionadas con la seguridad vial.

Un material translúcido puede crear una apariencia visual interesante, dando lugar a un diseño más dinámico, rico y flexible.

3.3.1_Hormigón translúcido

Un material presenta transparencia cuando deja pasar fácilmente la luz. La transparencia es una propiedad óptica de la materia. En cambio, un material es translucido cuando deja pasar la luz de manera que las formas se hacen irreconocibles, y que es opaco cuando no deja pasar a penas la luz.

La reinención de materiales tradicionales, añadiendo nuevos componentes o modificando sus procesos de fabricación, nos aporta una gran variedad de opciones hoy en día, y el hormigón translúcido es una de ellas. El arquitecto Áron Losonczy patentó su invención en el 2002 con la abreviatura de “Ligth Transmiting Concrete “, donde utilizó fibras ópticas embebidas en el hormigón como forma de transmisión de luz. Existe otra variedad inventada en 2005 por dos estudiantes de ingeniería civil en México, Joel Sosa y Sergio Galván, en el que se trata de un mortero polimérico, a base de cemento Portland (al igual que un mortero tradicional), pero con un elemento nuevo llamado “llun”, que es el que le confiere la propiedad de translucidez.

Durante la pasada década, la tecnología del hormigón alcanzó su punto de desarrollo más alto debido al desarrollo de las tecnologías especiales basadas en los avances de la industria química de aditivos.

Cambiar la forma de ver los materiales como el hormigón, de material opaco a uno translucido es parte del hecho de que el mundo en el que la humanidad vive y se desenvuelve está en continuo cambio, con el objeto de mejorar su entorno.



[44] Hormigón translúcido. Litracon

En la actualidad, la tecnología del hormigón ha dejado de ser una ciencia joven y la gran cantidad de trabajos de investigación durante este periodo respalda esta afirmación. Actualmente el hormigón no se fabrica solo con agua, cemento y agregados (áridos), sino que existen minerales y aditivos que ya han pasado a formar parte de una mezcla de hormigón tradicional. El hormigón tradicional es de color gris, cuya densidad (densidad normal: 2300- 2500 kg/m³, áridos ligeros: 1000-1300 kg/m³ y áridos gruesos: 3000-3500 kg/m³) impide dejar pasar la luz, y tampoco es posible distinguir cuerpos, colores y formas a través de él. Es el material de construcción más utilizado en todo el mundo por su versatilidad y maleabilidad, de naturaleza pétreo y opaca. [45]



[45] Vista exterior. Muros de hormigón tradicional en la Universidad de Alicante (Arq. Javier García Solera) / Vía: COACV

La resistencia del hormigón a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente utilizada en los cálculos para el diseño de todo tipo de proyectos y estructuras. (El hormigón tradicional tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kg/cm²). La resistencia a cortante puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia de compresión y la resistencia a la flexión se utiliza generalmente en el diseño de pavimentos losas en el terreno.

Este material es fruto de la combinación de materiales convencionales como el cemento, agua y agregados, con la fibra de vidrio, cuya finalidad es ofrecer de tener mejor apariencia frente a la luz y sin descuidar las propiedades fundamentales del material como la resistencia a la compresión.

TRANSLÚCIDO VS TRADICIONAL

Desde su creación, el hormigón translúcido, ha estado en constante proceso de mejora en sus acabados, precio, estabilidad y translucidez. El hormigón tradicional tiene una resistencia que va desde los 250 a los 9000 kg/cm², el gris de 2500 kg/cm² y el hormigón translucido en cambio llega a alcanzar una resistencia de hasta 4500 kg/cm².

Otra ventaja además de su estética es que permite un ahorro de consumo eléctrico al facilitar el paso del 70% de la luz natural. Pero tiene una desventaja y es que, por su alto grado de transparencia, las estructuras internas quedan a la vista y expuestas a la radiación y se ven afectadas al cabo de un tiempo, llegando a resultar antiestético. Se busca la forma de que con un buen acabado todos sus elementos sean agradables para la vista.

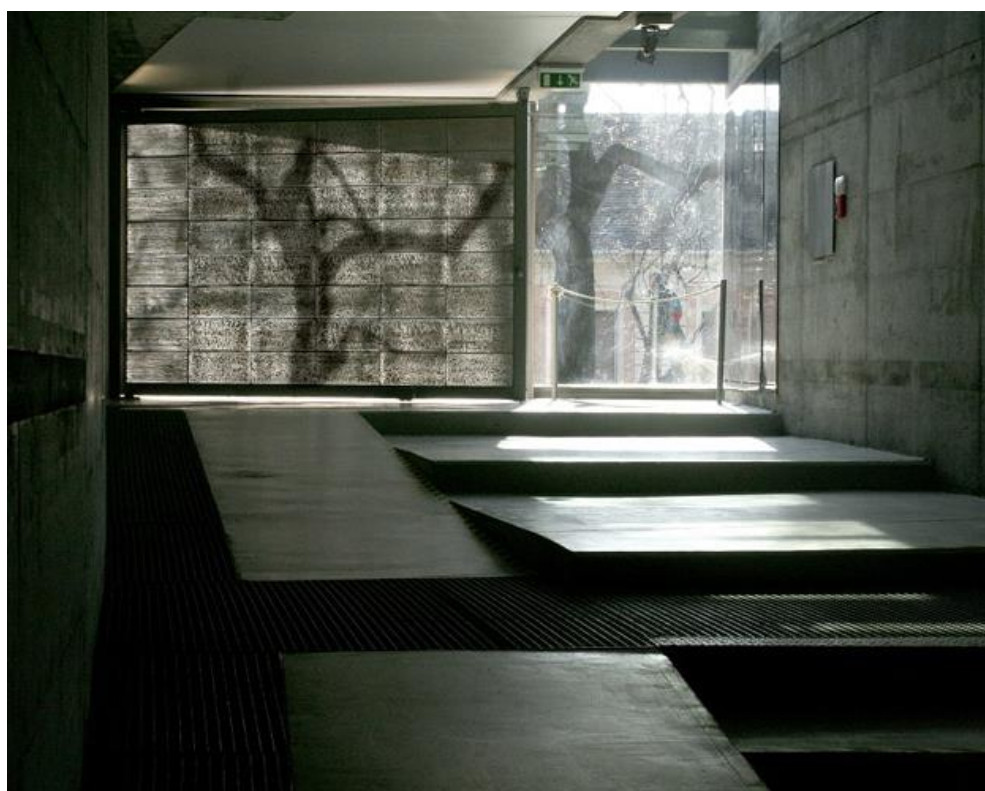
El sistema de elaboración del hormigón translucido se realiza de manera industrial gracias a la *empresa Litracon®*³⁶ y/o de manera manual, con un proceso de elaboración similar al del hormigón tradicional. Si se produce de manera manual, el encofrado se debe realizar según el diseño que se requiera. Pero en el caso del Litracon® [46] [47], proporciona el hormigón translucido a través de bloques de 30x60cm y el sistema de instalación se caracteriza por ser de bloques de hormigón prefabricados en el que se pueden apreciar divisiones de ambientes, llegando a alcanzar alturas de hasta 4m y longitud de 5m.

Las uniones entre los paneles divisorios de hormigón translúcido se realizan mediante juntas verticales de dilatación, y esta estructura se logra gracias al mortero armado en hilera que soporta los esfuerzos del viento que caen sobre el mismo. Cada panel actúa de forma independiente respecto a los esfuerzos que se efectúan en cualquier otro punto del proyecto.

³⁶ _ Empresa Litracon ® y productos (<http://www.litracon.hu/en>)



[46]



[47]

[46] Litracon Classic® - Bloques hormigón translúcido
[47] Vista interior. Museo Cella Septichora, Pécs, Hungría (2006) _ Bachmann Architects (H)_ La puerta de entrada principal de 2 Tn de peso hecha de bloques Litracon Classic® de 10 cm de espesor.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS ³⁷

El hormigón translúcido tiene algunas propiedades físicas y químicas que mejoran con respecto a las del hormigón tradicional:

- 100% impermeable
- Poder adquirir solo los agregados y producirlo en obra.
- Más ligeros
- Permitir el paso de 70% de la luz
- Ahorro de energía
- Mayor confort por el paso de luz natural
- Variedad de diseños arquitectónicos
- Resistir el ataque de las sales
- Soportar altas temperaturas

Como todo elemento constructivo, cuenta también con desventajas, esto no disminuye las características antes mencionadas, las desventajas son:

- 15% a 20 % más caro
- Su destrucción es muy difícil y esto aumenta los gastos para su demolición
- No se encuentra todavía normado como hormigón estructural
- Tiene poca difusión en cuanto su preparación y colocación en obra al ser un hormigón nuevo, por tanto, el coste de la mano de obra al ser especializada es superior

El hormigón translúcido es un potencial candidato gracias a sus propiedades físicas y químicas, para permitir crear muros y techos que dejen pasar la luz y con ello aportar un nuevo modo de construcción y arquitectura. Un ejemplo de aplicación en la arquitectura de este material fue en el [48] *Pabellón de Italia para Shangai en la Expo 2010 por el arquitecto italiano Giampaolo Imbrighi*. La transparencia del edificio viene dada por losas de hormigón translúcido unidas por silicona estructural de alta resistencia y que están fijadas mecánicamente a perfiles de aluminio integrados en las estructuras de acero que componen la arquitectura del pabellón.

Las superficies translúcidas provienen del Centro de Investigación de Italcementi y de la Universidad degli Studi della Sapienza de Roma que han experimentado "el conglomerado transparente". Los 3.774 paneles de 50x100x5 cm, han sido realizados con 189 toneladas de "hormigón transparente" y revisten una superficie total de 1.887 m², cerca del 40% del total del Pabellón, creando una secuencia de luces y sombras en el transcurso del día.³⁸

³⁷ _Sobrado Maucaylle, Yohana_ Muros de hormigón translúcido

³⁸ _Pabellón de Italia para Shangai en la Expo 2010, China
<https://www.granitifiandre.es/realizaciones/exposici%C3%B3nes/pabell%C3%B3n-italiano-de-shanghai-expo-2010>



*[48] Vista exterior. Pabellón de Italia, Expo 2010, Shangai, China
Giampaolo Imbrighi*

3.3.2_Otros materiales transparentes

_Paneles translúcidos aislantes

El panel estructural Kalwall® es un transmisor de luz difusa altamente aislante utilizado en fachadas y cubiertas, para transmitir la máxima cantidad de luz natural al interior, evitando deslumbramientos, puntos calientes y sombras. Es un sistema ligero (inferior a 15Kg/m²) y autoportante, sin necesidad de soportes estructurales intermedios (hasta 4 metros y un número mínimo de uniones), permitiendo múltiples aplicaciones sencillas y rápidas para cerramientos, muro cortina con o sin ventanas, cubierta autoportante y especialmente en lucernarios, donde el peso y el control solar son dos factores a tener en cuenta.³⁹

Está formado por dos láminas de resina de poliéster reforzadas con fibra de vidrio y unidas a una estructura de aluminio con o sin rotura de puente térmico. La lámina exterior es resistente a los rayos UV en toda su masa, y la interior tiene una clasificación al fuego de B-s2, d0.⁴⁰

Estos paneles Kalwall® controlan el factor solar al mismo tiempo que maximizan el aislamiento térmico, con beneficios en los costes de utilización y medioambientales. Un ejemplo de aplicación de control solar es en la cubierta del [49] *Centro Cultural Palacio de los Serrano en Ávila*, cuyo objetivo es recuperar la unidad central del atrio, como elemento articulador del espacio.

_Policarbonato

El policarbonato es un polímero termoplástico que, gracias a sus propiedades livianas, aislantes y su sugerente translucidez, se ha convertido en un material cada vez más utilizado en arquitectura con aplicaciones en techos y revestimientos; debido a su fácil instalación y sus propiedades permeables y térmicas. Aunque anteriormente estuviera asociado a la industria, actualmente se aplica también en la arquitectura residencial, equipamientos culturales, deportivos, escolares...⁴¹

Se convierte en un separador idóneo para generar ambientes y espacios debido a su absorción acústica, aislando sonidos indeseados tanto en el interior como exterior.

Un ejemplo de aplicación es en la remodelación realizada en la [50] *Escuela de primaria G. Zanella* a las afueras de Villafranca y Verona (Italia), cubriendo la fachada con policarbonato blanco, generando ambientes y mejorando el coeficiente aislante. Además, permite múltiples acabados, colores y texturas con un alto valor estético. El color amarillo aplicado sobre algunos paneles, reflejan los colores del entorno y varían según las diferentes fases horarias. [51]

³⁹ _ Panel estructural Kalwall®_ <http://www.litwall.com/kalwall>

⁴⁰ _ Panel estructural Kalwall®_ <https://tectonica.archi/materials/panel-traslucido-aislante/>

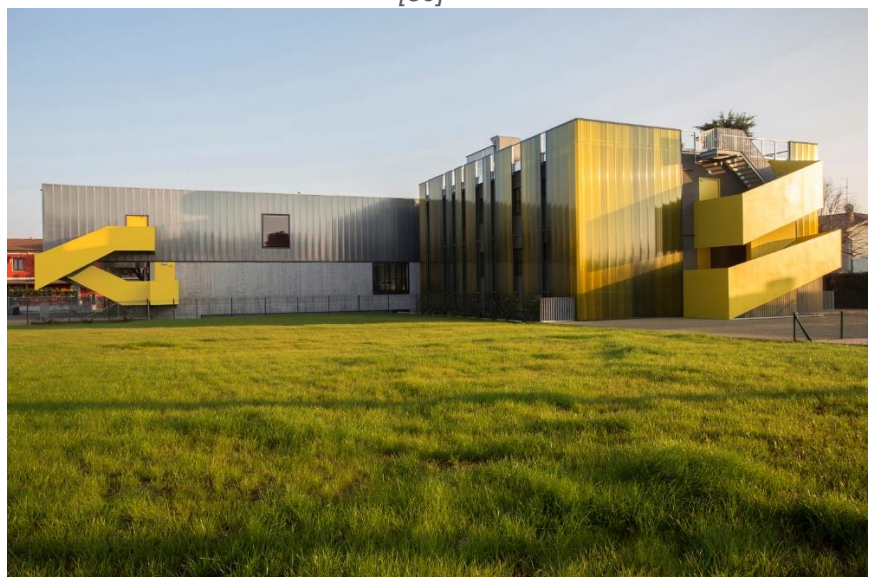
⁴¹ _ Detailers.2019. *Fachadas policarbonato*_ <https://www.detailerssimon.com/fachadas-policarbonato/>



[49]



[50]



[51]

[49] Vista interior. Cubierta Centro Cultural Palacio de los Serrano, Ávila (2000-2003) _ José Manuel Sanz
 [50 y 51] Vista exterior. Escuela de primaria G.Zanella, Villafranca - Verona, Italia (2016) _ Guiulia de Appolonia. Fotografía: Atelier XYZ

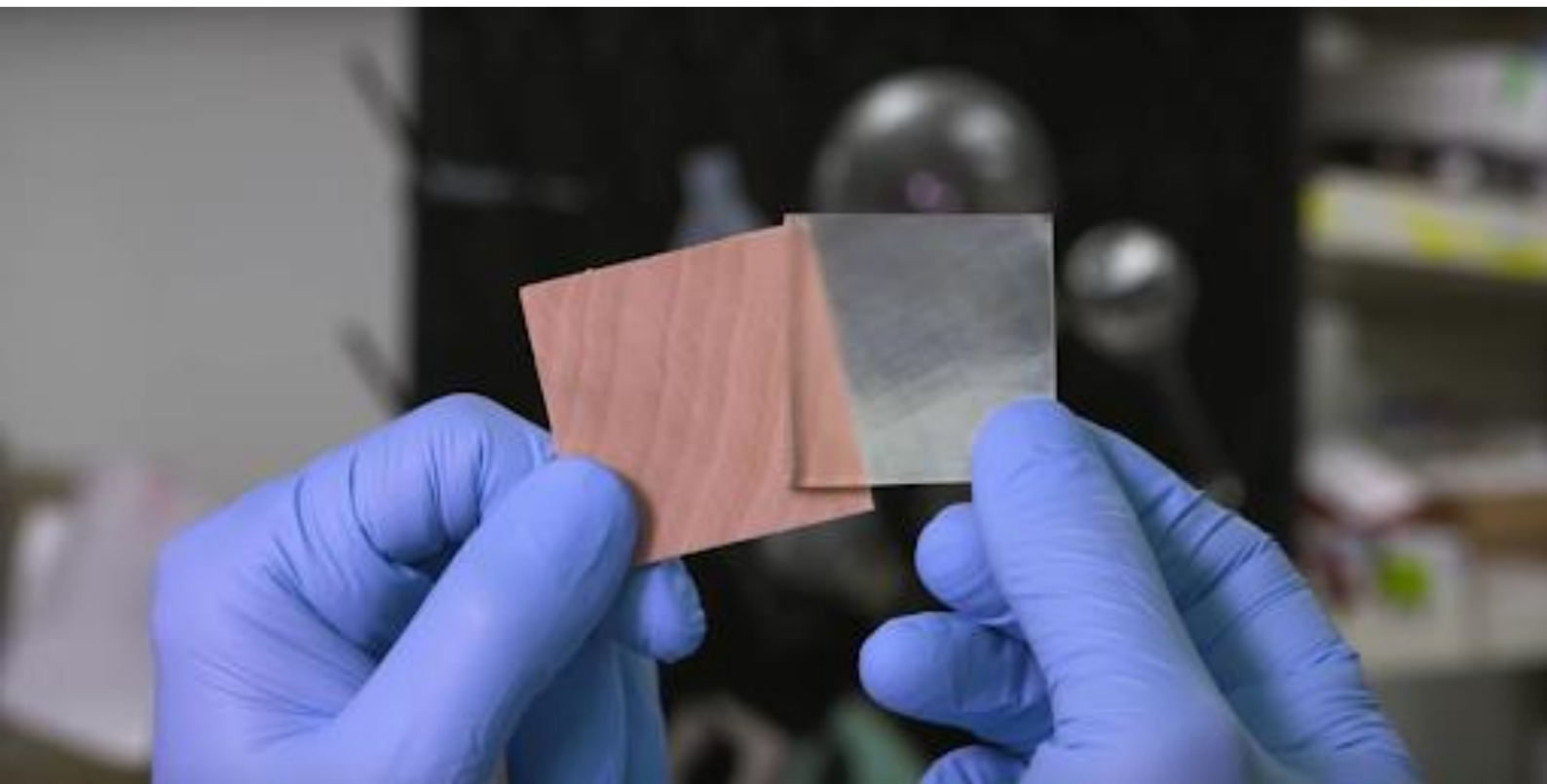
3.3.3_Madera transparente

En los últimos años, ha resurgido el interés en el uso de la madera, uno de los materiales más usado del mundo. El rápido desarrollo de las tecnologías ha permitido su utilización en formas cada vez más innovadoras, especialmente en las estructuras, ofreciendo un menor impacto ambiental propio de los procesos de construcción y producción de materiales.

La madera es un material renovable, biodegradable y reciclable, además de ser un buen aislante térmico, pero es un material opaco por naturaleza. Si se convirtiera en transparente, ¿podría llegar a ser un material sustituto del vidrio?

Capítulo 4.” Madera transparente, ¿Un nuevo material de construcción?”

“Puede tener aplicaciones que reemplacen potencialmente al vidrio y algunos materiales ópticos”



*[52] Madera Transparente; © Plataforma de Futuros
Universidad de Maryland*

4.1_Una madera revolucionaria

*"La madera es el material de base biológica más utilizado en los edificios; además es muy atractivo porque proviene de fuentes renovables y ofrece excelentes propiedades mecánicas, que incluyen resistencia, tenacidad, baja densidad y conductividad térmica."*⁴²

La madera es un material sostenible y renovable, y ofrece infinidad de acabados entre los que elegir. Se puede hablar de un *boom* en la construcción de edificios en madera impulsado por las ventajas que presenta frente a otros materiales y que aún permanecen desconocidas. Por ejemplo, requiere un mínimo consumo energético, genera menos emisiones y residuos que otros materiales de construcción y es 15 veces más aislante que el hormigón. Era fácil prever que las investigaciones científicas para innovar con ella llegarían tarde o temprano; pero era difícil de imaginar que se le podría incorporar la transparencia.

La madera transparente es un material innovador introducido por primera vez por Siegfried Fink en 1992, con el objetivo de poder observar y estudiar sus estructuras específicas. Su trabajo fue redescubierto entre los años 2015 y 2016 por dos institutos de investigación: *el KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suecia bajo la dirección del científico Lars Berglund y la [52] Universidad de Maryland en EE. UU. con el Doctor Liangbing Hu.*⁴³

Ambos equipos se inspiraron en el proceso de fabricación de madera transparente de Fink, que modificaron para satisfacer sus necesidades y examinar las propiedades de la madera transparente. Ambos procesos fueron diferentes, pero el concepto de creación fue el mismo y superar la limitación del cristal que es un material que tiene el inconveniente de ser un mal aislante y poco eficiente energéticamente.

Quizás se puede hablar de un material constructivo del futuro, donde ya no existirán los cristales que recalienten el interior de la vivienda por su efecto lupa y que, no son biodegradables.

⁴² _ Lars Berglund_KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suecia

⁴³ _ Karl'a, V. 2019. "Update on Research on transparent Wood" (Pág. 1) _Technical University of Kosice, Slovakia, Faculty of Civil Engineering, Department of Architectural Engineering.

4.2_ ¿El nuevo cristal? ¿Cómo se hace transparente un material opaco?

*“Aunque el cristal es un gran material para dejar que, entre la luz a nuestros interiores, tiene el inconveniente de ser un aislante muy malo. Por tanto, hay una necesidad de desarrollar nuevos materiales que permitan dejar entrar la luz para reducir la cantidad de luz artificial, pero también debemos utilizar materiales que tengan grandes propiedades de aislamiento térmico”.*⁴⁴

El tema de la madera transparente no es muy novedoso, pero sin embargo es tan solo recientemente lograr una transparencia semejante a la de un cristal gracias a dos pasos químicos. Para realizar esta transformación de opaco a transparente, los investigadores de ambos institutos de investigación siguieron procesos diferentes, pero obtuvieron los mismos resultados.

El proceso que siguieron para conseguir un material como la madera transparente fue, en primer lugar, una etapa de deslignificación de una muestra de madera para eliminar químicamente una sustancia llamada *lignina*⁴⁵, cuya función es mantener unidas las fibras de celulosa aportando rigidez y que da un color oscuro constituyendo el 25% de la madera. Su presencia impide el paso de luz. En el instituto KTH, se usó 1% en peso de NaClO₂ (clorito de sodio) con una solución tampón de acetato con un pH 4.6 a 80 °C; en Maryland, se utilizó una solución hirviendo NaOH (hidróxido de sodio) y Na₂SO₃ (sulfito de sodio), transfiriendo posteriormente la muestra a una solución de H₂O₂ (agua oxigenada) para eliminar la lignina restante. Ambas muestras densificadas eran blanquecinas y no naturalmente transparentes.⁴⁶ [53]

Después de la deslignificación, la estructura de la madera se vuelve más porosa y las paredes de las células se vuelven más delgadas. Por lo tanto, el segundo paso consistió en llenar la muestra porosa resultante con un polímero transparente, igualando las propiedades ópticas de ambos (que posee un mismo índice de refracción). Los científicos del KTH utilizaron el PMMA (polímero termoplástico amorfo altamente transparente), mientras que los científicos de Maryland inyectaron resina epoxi (polímero termoestable transparente) para fortalecer la estructura de la muestra y aumentar la resistencia.⁴⁷

⁴⁴ _ Céline Montanari - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo
https://www.youtube.com/watch?v=FPRjSvVah0U&ab_channel=EIPa%C3%ADs

⁴⁵ _ Lignina: Polímero que da color oscuro, solidez y resistencia a la madera cuya función es mantener unidas las fibras de celulosa aportando rigidez y que los elementos de conexión entre las células transporten agua y nutrientes a las secciones vivas, mejorando su sistema defensivo frente a microorganismos.

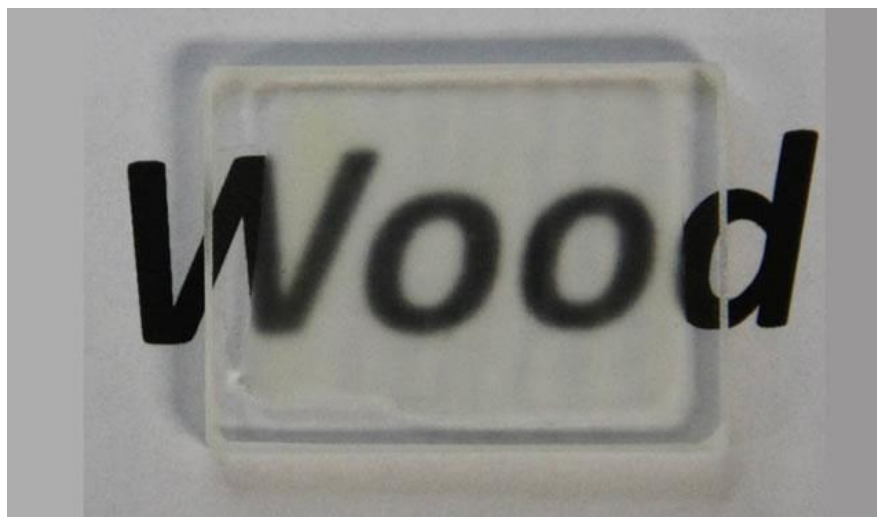
⁴⁶ _ Karl'a, V. 2019. "Update on Research on transparent Wood" (Pag.1) _ Technical University of Kosice, Slovakia, Faculty of Civil Engineering, Department of Architectural Engineering.

⁴⁷ _ "Clear Wood toward High-Performance Building Materials" – (ACS Nano 2019)
<https://pubs.acs.org/sharingguidelines>

El resultado final era una muestra de madera modificada, reforzada y casi completamente transparente llegando a eliminar en su gran mayoría la presencia de lignina, adquiriendo la transparencia que la asemeja a un cristal. [54]



[53]



[54]

[53] Proceso posterior a la designificación, empapar la madera en un polímero transparente.

[54] Madera transparente: material desarrollado en Suecia. Advanced Materials.

4.3_La madera transparente, ¿un recurso sostenible?

Los materiales sostenibles son actualmente una prioridad en la lista de intereses mundiales con el objetivo de moderar el impacto ambiental y como parte de la solución para reemplazar los materiales no renovables.

El auge de la madera en el ámbito de la arquitectura sostenible es un elemento que está favoreciendo el desarrollo de investigaciones sobre este material ecológico, que cuenta con infinitas posibilidades.

La madera transparente promete ser más respetuoso con el medio ambiente y más resistente que el vidrio, que en comparación tiene una mayor capacidad de aislante térmico.

El grupo de científicos del *KTH Royal Institute of Technology* de Estocolmo desarrolla la madera transparente como un potencial material con un uso ilimitado en fachadas, ventanales o incluso en paneles solares semitransparentes [55]. Estos investigadores han conseguido producir madera transparente con un 93% de transmitancia lumínica, afirmando su carácter 100% biodegradable y con unos residuos generados en su fabricación que no son nocivos para el medioambiente. Con el proceso explicado anteriormente, han obtenido un material similar a la madera en rigidez, dejando pasar la luz a través de ella y siendo capaces de absorber el calor.⁴⁸



[55] © Fotografía de *KTH Royal Institute of Technology*. Madera transparente

⁴⁸ _ "Madera transparente, la alternativa sostenible al vidrio" (2020)
<https://arquitectura-sostenible.es/madera-transparente-alternativa-sostenible-vidrio/>

A partir de esta investigación se ha comprobado que, cuando la madera transparente se calienta por la acción solar, tiende a adquirir un aspecto translúcido que es el que lo define. Si embargo, cuando la temperatura disminuye, el proceso se invierte. Por lo tanto, la madera libera energía capturada y por ello surge la idea de aplicarlo como un material de construcción que almacena energía para liberarla en forma de calor cuando fuera preciso. Este comportamiento tendría una aplicación directa para suavizar el efecto actual del sistema de calefacción urbana.⁴⁹

Otra aplicación de la madera transparente es su uso como células solares para generar energía fotovoltaica. Aún se encuentra en fase de investigación, pero si se llegase a desarrollar, se estaría consiguiendo una forma efectiva de generar energía solar de forma económica, con un sistema sostenible y duradero.

Por otro lado, el grupo de científicos de la *Universidad de Maryland* en EE. UU., han patentado la madera transparente como un material que promete ser más sostenible, resistente y eficiente que el vidrio, aunque sus usos aún no han sido probados. Pretenden realizar construcciones sostenibles a largo plazo y los científicos afirman que se puede utilizar en la fabricación de ventanas o para sustituir cualquier superficie transparente en la que habitualmente utilizamos un cristal. Además, es un material con características antideslumbrantes siendo más eficaz que el propio vidrio. Esta reflexión conduciría a la difusión de la luz en lugar de su paso directo, llevando al interior una distribución más uniforme y libre de la posición del sol.⁵⁰

Tal y como se ha mencionado anteriormente, uno de los usos más relevantes de la madera transparente es en la creación de paneles solares, que puede ser un gran invento revolucionario en la tecnología de energía solar fotovoltaica. El objetivo sería aprovechar la dispersión de la luz (efecto difusor) generada por la madera transparente y con ello aumentar el camino o recorrido óptico de la luz en las celdas solares mejorando de forma muy significativa la eficiencia de estas.

Otro aspecto relevante es que, si la madera procede de una plantación de cultivo controlado, ayudará a evitar la deforestación.

Su aplicación no se limitaría solo a la construcción de edificios, también podría tener cabida en otros campos como, por ejemplo, construir bicicletas sostenibles, casas modulares en el campo...

Esta solución de madera transparente puede suponer un gran avance en la arquitectura sostenible como alternativa al vidrio, pero sigue en proceso de investigación y por ello no existen todavía aún aplicaciones domésticas. [56]

⁴⁹ _ Ramos, Jaime. 2020. "¿Es la madera transparente el material de construcción del futuro?" <https://www.smartcitylab.com/blog/es/ambiente-urbano/madera-transparente-material-construccion/>

⁵⁰ _ "Madera transparente: ¿un nuevo material de construcción?" <https://www.emedec.com/madera-transparente-nuevo-material-de-construccion/>



[56] Simulación de madera transparente aplicada a fachada de un edificio

La investigación actual se limita a una fabricación de muestras de pequeño tamaño en el laboratorio, porque la madera transparente en piezas de grandes dimensiones o de espesor apto para formar parte de la envolvente de los edificios, es difícil de lograr. Para las aplicaciones prácticas se debería desarrollar un método que pueda producir madera transparente de manera fácil y eficiente de cualquier tamaño y grosor. Ya se han llevado a cabo ciertos estudios que han desarrollado un método innovador donde el material fabricado presenta estas características.

Este método consiste en impregnar con una solución de pre-polímero del termoplástico altamente transparente (PMMA, polimetilmetacrilato) las fibras de madera delignificadas (a diferencia de la madera transparente en la que se infiltra la madera deslignificada) obteniendo así una madera de fibra transparente, en el que las paredes celulares se unen fuertemente al polímero impregnado, lo que resulta en una alta transmisión de luz. Además, conserva las mismas ventajas que la madera transparente, pero con una mayor eficiencia en su preparación, pudiendo ser adecuada en la producción a gran escala.⁵¹

Se realizó un estudio de aplicación en un entorno real simulado para demostrar el efecto aislante de la madera de fibra transparente en comparación con la madera transparente y el vidrio tradicional en una *casa modelo*⁵². [57]

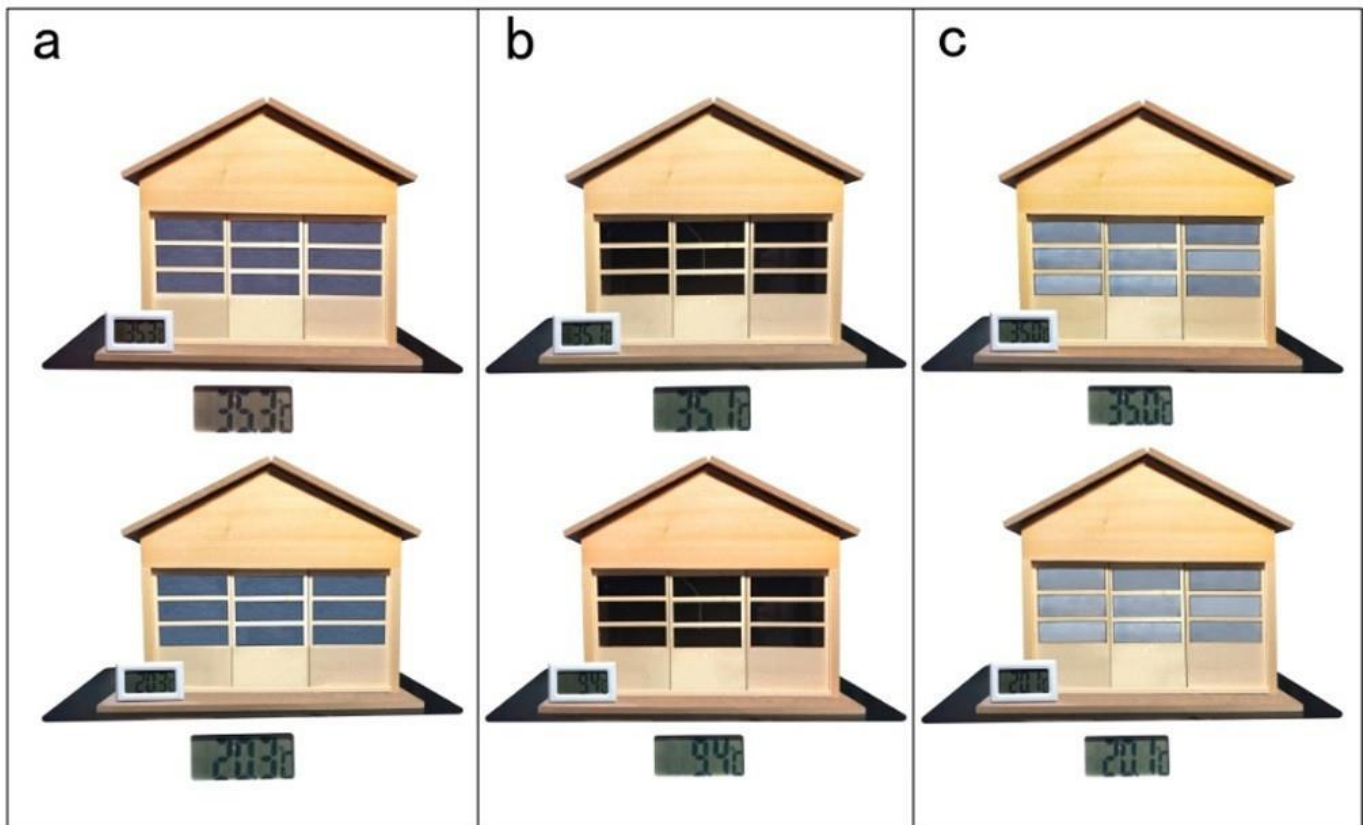
En primer lugar, se simuló un calentamiento geotérmico de 30 minutos alcanzando una temperatura de 35°C. Al finalizar este tiempo se detuvo el calentamiento, y se dejaron las casas modelo sometidas a temperatura ambiente exterior de 4°C durante 10 minutos. La *casa modelo a* (madera de fibra transparente) disminuyó su temperatura interior de 35,3°C a 20,3°C, mientras que la *casa modelo b* (vidrio tradicional) disminuyó hasta los 9,4 °C. La *casa modelo c* (madera transparente) disminuyó de 35 °C a 20,1 °C. Claramente se observa, que la casa modelo que contiene madera de fibra transparente reduce más el flujo de calor en comparación con las ventanas de vidrio, y por lo tanto proporciona una barrera estructural y térmica entre la casa y el entorno exterior, pudiendo ser utilizada a futuro como posible material de construcción para ahorrar energía. El modelo de madera de fibra transparente y el modelo de madera transparente se comportan prácticamente igual.⁵³

Las pruebas de simulación en entornos reales demostraron que la madera de fibra transparente proporciona un buen aislamiento térmico. En comparación con la madera transparente, tiene propiedades mecánicas similares y una mayor transmitancia de luz. Además, tiene ventajas de fabricación y la posibilidad de crear productos a gran escala.

⁵¹ _ ChemSusChem. 2018. "Large-Size Transparent Wood for Energy-Saving Building Applications" (pág. 4087) _ © 2018 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

⁵² _ Casa modelo: Dimensiones - Se fabricó una casa modelo con tableros de 1 cm de espesor. Estas tablas se unieron mediante un buen encolado para asegurar un buen sellado. Las ventanas de vidrio y madera de fibra transparente se pegaron en la pared frontal de la habitación y se separaron en nueve secciones separadas con dimensiones de 80 mm x 25 mm x 2 mm.

⁵³ _ ChemSusChem. 2018. "Large-Size Transparent Wood for Energy-Saving Building Applications" (pág. 4091) _ © 2018 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim



[57] Imágenes digitales de modelos para probar el cambio de temperatura interior durante la refrigeración exterior. Los valores bajo los modelos son la temperatura después de 10 minutos de enfriamiento. a) Ventana de madera de fibra transparente, b) ventana de vidrio, y c) ventana de madera transparente tradicional.

4.4_Desventajas y conclusiones

La madera transparente es un material recientemente inventado y que sigue en proceso de investigación. Por lo tanto, todavía se desconoce el ciclo de vida de este nuevo producto y su impacto ambiental a nivel global desde que se obtiene la materia prima hasta que se produce toda la cadena de producción final y los efectos tóxicos que implican.

Como desventajas de la madera transparente se puede considerar el problema medioambiental que puede conllevar a envolver todo el proceso de eliminación de la lignina en la madera y todos los productos químicos que se utilizan en esta etapa. El uso masivo de estos tipos de resina, como la resina epoxi que no es biodegradable, y su efecto tóxico variando en la cantidad añadida, daría como resultado millones de litros de agua consumida y contaminada por los diferentes productos químicos con los que se mezcla y se trata estas maderas.

Todavía no se ha evaluado los posibles costes de todo este proceso, pero debido a todo el trabajo que llevaría la cadena de preparación y todo lo que envuelve, tendría un coste bastante elevado.

También cabe destacar que la madera gruesa o de gran tamaño es la deseable para las aplicaciones prácticas. Sin embargo, en varios estudios previos, las muestras de madera transparente eran pequeñas y de bajo espesor. Esto se debe principalmente a que la preparación requiere madera intacta como sustrato, mientras que los sustratos de gran tamaño son muy aptos a la rotura durante el proceso.⁵⁴

Otro inconveniente relacionado con este nuevo material es su transparencia parcial o, mejor dicho, su translucidez, ya que se trata de un material que no tiene una transmitancia óptica completa. Conforme se incrementa su espesor, la transmitancia se reduce significativamente y, por lo tanto, menos deja filtrar la luz a los espacios.

Un material como la madera transparente que supone una innovación en la construcción actual está envuelta en numerosos factores que no la hacen sostenible y práctica debido a todos los procesos químicos que se requieren para su obtención. La posible sustitución por parte de la madera transparente de un material tradicional como el vidrio en la arquitectura es difícil de imaginar, aunque en muchos estudios afirman que aporta unas características mejores que el vidrio como el aislamiento térmico.

Es evidente que lo que depara el futuro para la madera transparente es desconocido ahora y no conviene infravalorar estas innovaciones, pero la posibilidad de futuras arquitecturas con este material es incierta todavía.

⁵⁴ _ "Large-Size Transparent Wood for Energy-Saving Building Applications" – © 2018 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Capítulo 5.” Conclusiones: ¿Estos materiales han venido para quedarse?”

La investigación y desarrollo de nuevos materiales en arquitectura es imprescindible como fuente de nuevas oportunidades para los proyectos arquitectónicos. Su olvido intencionado o no, supone la generación de las mismas arquitecturas sin ningún cambio. La sociedad y las nuevas tecnologías avanzan y, por lo tanto, los arquitectos deben acompañarla de forma sinérgica, siempre buscando un bienestar global y un bienestar en nuestro entorno; para poder reducir cuestiones o retos de suma relevancia actualmente como el impacto medioambiental y el consumo de recursos.

La evolución tecnológica de los materiales genera innovaciones y alternativas inspiradoras dentro de la profesión, para poder dotar de nuevas perspectivas a los proyectos arquitectónicos. En este trabajo se ha tratado de reflejar la importancia que tiene la búsqueda de nuevos materiales, como solución a los problemas que antes no se podían resolver debido a la falta de tecnologías, y que ahora nos permiten generar arquitecturas antes inalcanzables. Esto se refleja en la primera parte del trabajo, donde se pone de manifiesto la importancia de la investigación y el desarrollo de los nuevos materiales y la importancia de transferencia de conocimientos entre profesionales como herramienta de enriquecimiento mutuo.

Posteriormente, se han identificado las diferentes líneas de investigación para poder enmarcar el trabajo, ya que los nuevos materiales engloban una gran cantidad de familias. Se han descubierto varios materiales de carácter innovador que podrían tener una oportunidad de cara al futuro en la arquitectura, debido a sus propiedades reciclables y bajos consumos de energía, por ser la reducción de la huella de carbono uno de los objetivos que debe estar presente en la Arquitectura.

La línea de investigación escogida ha sido la relacionada con los materiales de vidrio y la transparencia, ya que últimamente ha ido aumentando su uso, y han ido surgiendo nuevas tecnologías y soluciones en el proceso de diseño. Para entrar en contexto, se hace una revisión de este material y de cómo fue innovador en su pasado, a través de una docena de proyectos para observar los avances tecnológicos que permitieron crear esas arquitecturas; pudiendo liberar a una arquitectura caracterizada por la masividad y la pesadez, y generar una arquitectura más liviana, transparente y con un mayor confort interior de los espacios.

Hoy en el siglo XXI, sigue creciendo el uso del vidrio y se está invirtiendo un gran esfuerzo por investigar las nuevas posibilidades y encontrar las mejores soluciones en el transcurso del proceso del diseño. Se analizan una serie de vidrios que tienen como objetivo ofrecer una perspectiva nueva sobre las tecnologías de acristalamientos y mejorar el confort interior de los espacios.

El desarrollo de la nanotecnología en la arquitectura del vidrio va a tener un gran impacto en la sociedad (positivos y negativos) y todas las nuevas propiedades que presentan nos permitirán la creación de pieles arquitectónicas que se convertirán en obras de arte llenas de sensaciones. Las nuevas tecnologías nos llevarán a perder la conciencia, pasando de muros tradicionales cuya función es de protección, a una piel flexible y funcional que permitirá interactuar con el exterior.

Para una reflexión final, me permito escribir en primera persona. El trabajo, además de incrementar mis conocimientos y perspectivas sobre nuevos materiales, también me ha servido para darme cuenta de que muchos materiales que pretenden ser revolucionarios en la arquitectura del futuro dejan entrever actualmente un uso muy incierto. Este es el caso de la madera transparente, ya que la posible sustitución del vidrio en arquitectura es todavía difícil de imaginar, aunque muchos estudios afirmen que tenga mejores características aislantes. Sin embargo, sigue siendo un material en proceso de investigación que presenta desventajas medioambientales, las cuales deben ser conocidas antes de ponerlo en práctica.

No sé si estos nuevos materiales han venido para quedarse, pero para que en un futuro se pueda hacer uso de ellos, se debe seguir investigando y tener en cuenta muchos factores que envuelven a nuestro entorno. Hay que incentivar una inquietud híbrida entre la arquitectura y la investigación en nuevos materiales.

BIBLIOGRAFIA

Artículos, revistas y blogs

- Klassen, F. 2005. *“Material innovations: Transparent, lightweight, malleable and responsive”*.
- Sauer, Christiane. *MaterialScout: The architect as building materials scout*.
- Rubio Ávalos, José Carlos. 2016. *Mexicano desarrolla cemento emisor de luz para la construcción*. Entrevista: Agencia Informativa Conacyt (AIC).
- Lynch, Patrick. 2016. *Investigadores de RMIT desarrollan un ladrillo más eficaz y liviano utilizando colillas de cigarros*. Traducido: Yunis, Natalia. Fuente: Plataforma Arquitectura.
- Inarquia. 2020. *Construcción Sostenible con Ladrillos ecológicos de Colillas de Cigarro*.
- Pariafsai, Fatemeh. 2016. *“A review of design considerations in glass buildings”* _ Departament of Sheikh Sadough, Islamic Azad University of Shahr Rey, Tehran, Iran
- Mohammed Hosni Aggour, Mona. 2013. *“Nanotechnology as a Generator of Creative Architectural Glass”* _ Departament of Architecture, Faculty of Engineering, Mataria, Helwan University, Egypt
- Cuce, Erdem; B. Riffat, Saffa. 2014. *“A state of the art review on innovative glazing technologies”* _ Department of Architecture and Built Environment, Faculty of Engineering, University of Nottingham, University Park, NG7 2RD Nottingham, UK
- Souza, Eduardo. 2019. *Fachadas inteligentes de vidrio: edificios que se adaptan al clima a través de su piel*_ Patrocinado: Saint-Gobain. Traductor: José Tomás Franco. Fuente: Plataforma Arquitectura
- Revista Equipar. *80-ONCE Business & Living_ Constructora Sestral S.A., Bogotá (2018)*.
<https://www.revistaequipar.com/colombia/contenido-editorial/80-once-business-y-living>
- Lyons, Arthur. 2010. *“Materials for architects and builders”* (Pág. 388) _ *Forth Edition, Elseviers*.
- Interempresas. 2020. *“Una fachada de doble piel que combina estética y técnica”*_ Guardian Glasss
<https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/300575-Guardian-en-el-edificio-Cube-Berlin.html>
- Sobrado Maucaylle, Yohana_ *Muros de hormigón translúcido*

- Detailers.2019. *Fachadas policarbonato*_ <https://www.detailerssimon.com/fachadas-policarbonato/>
- Liangbing Hu. 2016. *Revista: Advanced Materials_ Volumen 28 N.º 26*
- Karl'a, V. 2019. "Update on Research on transparent Wood" _Technical University of Kosice, Slovakia, Faculty of Civil Engineering, Department of Architectural Engineering.
- "Madera transparente, la alternativa sostenible al vidrio" (2020) <https://arquitectura-sostenible.es/madera-transparente-alternativa-sostenible-vidrio/>
- Ramos, Jaime. 2020. "¿Es la madera transparente el material de construcción del futuro?" <https://www.smartcitylab.com/blog/es/ambiente-urbano/madera-transparente-material-construccion/>
- " Madera transparente: ¿un nuevo material de construcción?" <https://www.emedec.com/madera-transparente-nuevo-material-de-construccion/>
- ChemSusChem. 2018, (4086 – 4093)." Large-Size Transparent Wood for Energy-Saving Building Applications" _ ©2018 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Libros

- Hegger, Mafred; Drexler, Hans; Zeumer, Martin. 2010. *Materiales*. Editorial Gustavo Gili SL.
- Dávila, Jose Luis; Galeas, Salomé; Guerrero, Víctor Hugo (Phd); Pontón, Patricia; Rosas, Nelly María; Sotomayor, Verónica; Valdivieso, Carla.2011. *Nuevos materiales_ Aplicaciones estructurales e industriales*. Editor: Víctor Hugo Guerrero-PhD.
- Edward, Kevin. 2013.*Material experience: fundamntals of materials and design*. Editorial: Butterworth-Heinemann.
- *Monografías de arquitectura, tecnología y construcción, Téctica 10_Vidrio(I)*
- Scheebart, Paul. 1914.*Arquitectura de cristal*
- Trachtenberg, Marvin; Hyman, Isabelle. 1990. *Las formas de la arquitectura de alta tecnología_ (pág. 595-596)*. Ediciones AKAL
- Loundon, J. 1822. *Encyclopedia of Gardering*, Londres.

Páginas web y Videos

- The architect as building materials scout
<https://arch5541.files.wordpress.com/2011/08/christiane-sauer-the-architect-as-building-materials-scout.pdf>
- <https://noticias.arq.com.mx/Detalles/21689.htm#.X44XPdAzZPZ>
- MATERFAD: Centro de materiales de Barcelona _ <http://es.materfad.com/>
- MATERFAD: Centro de materiales de Barcelona
https://www.youtube.com/watch?v=l-BJWbtsAbg&ab_channel=Materfad
- Construcción sostenible con ladrillos ecológicos de colillas de cigarro
<https://inarquia.es/construccion-sostenible-ladrillos-ecologicos-colillas-cigarro>
- Laboratorio de investigación del MIT que inventa tecnologías de materiales programables y de autoensamblaje
<https://selfassemblylab.mit.edu/>
- SAGEGLASS ® _ <https://www.saint-gobain.com/en/sageglass-r>
- Vidrio solar fotovoltaico. Onyx Solar_ <https://www.onyxsolar.com/es/>
- Hormigón transmisor de luz. LITRACON ®_ <http://www.litracon.hu/en>
- Pabellón italiano de Shanghái, China, Expo 2010
<https://www.granitifiandre.es/realizaciones/exposici%C3%B3nes/pabell%C3%B3n-italiano-de-shanghai-expo-2010>
- KALWALL ®_ <http://www.litwall.com/kalwall>
- KALWALL ®_ <https://tectonica.archi/materials/panel-traslucido-aislante/>
- Céline Montanari - KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo
https://www.youtube.com/watch?v=FPRjSvVah0U&ab_channel=EIPa%C3%ADs

Fotográfica

- [1] <https://www.ummid.com/news/2016/April/01.04.2016/swidesh-scientist-develop-transparent-wood.html>
- [2] <http://www.gavinstewart.co.uk/blog/2019/5/1/i-was-the-future-once-french-edition>
- [3] [https://iaac.net/_el-IAAC-\(Instituto-de-Arquitectura-Avanzada-de-Cataluña.-https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/877614/iaac-presenta-cinco-nuevos-materiales-y-sistemas-roboticos-que-ayudaran-a-regular-la-temperatura](https://iaac.net/_el-IAAC-(Instituto-de-Arquitectura-Avanzada-de-Cataluña.-https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/877614/iaac-presenta-cinco-nuevos-materiales-y-sistemas-roboticos-que-ayudaran-a-regular-la-temperatura)
- [4] <http://dibujamos.blogspot.com/2015/01/>
- [5] <https://chicagology.com/goldenage/goldenage030/>
- [6] Materfad: Centro de materiales Barcelona/ <http://es.materfad.com/>
- [7] Materfad: Centro de materiales Barcelona/ <http://es.materfad.com/>
- [8] Twitter: @TouchofModern (20 junio 2018)
- [9] <https://www.concretenetwork.com/concrete/exposedaggregate/glow-in-the-dark.html>
- [10] <https://www.concretenetwork.com/concrete/exposedaggregate/glow-in-the-dark.html>
- [11] <https://www.concretenetwork.com/concrete/exposedaggregate/glow-in-the-dark.html>
- [12] Usuario Flickr: letsbook. Licencia CC BY-NC-ND 2.0
- [13] Fuente: RMIT
- [14] <https://selfassemblylab.mit.edu/>
- [15] <https://selfassemblylab.mit.edu/>
- [16] <https://selfassemblylab.mit.edu/>
- [17] Fotografía de la autora, Madrid, 2019
- [18] <https://aehistory.wordpress.com/2012/10/07/1851-crystal-palace-london-england/crystal-palace2/>
- [19] Tumblr: Rudy / Godinez_ (24 noviembre)
- [20] Tumblr: Less is more_ (8 noviembre 2013)
- [21] <https://secretldn.com/kew-gardens-closed-to-visitors-for-foreseeable-future/>
- [22] https://www.archweb.it/dwg/arch_arredi_famosi/Gropius/Fabbrica-modello/photos/Gropius_Meyer_Fabbrica_modello_2.html
- [23] Monografías de arquitectura, tecnología y construcción, Tectónica 10_Vidrio (I) (Pág.7)
- [24] Monografías de arquitectura, tecnología y construcción, Tectónica 10_Vidrio (I) (Pág.7)
- [25] © FLC- ADAGP
- [26] © FLC- ADAGP Cyrille Weiner
- [27] Fotografía: François Halard
(https://elviajero.elpais.com/elviajero/2017/12/28/actualidad/1514464627_090128.html)
- [28] Roman_slavik/ Getty Images_
<https://obras.expansion.mx/arquitectura/2020/03/02/el-museo-del-louvre-y-la-polemica-alrededor-de-la-construccion-de-su-piramide>
- [29] <https://www.planoyescala.com/2014/08/hablemos-de-un-edificio-mediateca.html>
- [30] <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/apple-store-quinta-avenida/>
- [31] <http://revistatecnobit.com/apple-vuelve-a-la-vida-reabre-tiendas/>
- [32] <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/apple-store-quinta-avenida/>
- [33] <https://www.schott.com/architecture/spanish/references/memorial-madrid.html>
- [34] <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/monumento-del-11-m/#11-m-16>
- [35] <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/monumento-del-11-m/#11-m-16>

- [36] <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/925327/fachadas-inteligentes-de-vidrio-edificios-que-se-adaptan-al-clima-a-traves-de-su-piel>
- [37] <https://www.saint-gobain.com/en/sageglass-r>
- [38] ©Jairo Llano - <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/911335/80-once-business-and-living-sestral-sa/5c632113284dd10b1e00009d-80-once-business-and-living-sestral-sa-foto>
- [39] <https://www.onyxsolar.es/sede-coca-cola-femsa>
- [40] <https://www.onyxsolar.es/piramide-de-la-ciencia>
- [41] <https://www.onyxsolar.es/porth-authority-mallorca>
- [42] ©Adam Mørk_ <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/300575-Guardian-en-el-edificio-Cube-Berlin.html>
- [43] ©Adam Mørk_ <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/300575-Guardian-en-el-edificio-Cube-Berlin.html>
- [44] <http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2381>
- [45] Vía: COACV_ <https://www.araquemaqueda.com/blog/hormigon-translucido/>
- [46] Litracon Classic®_ <http://www.litracon.hu/en/products/litracon-blokk>
- [47] Litracon Classic®_ <http://www.litracon.hu/en/references/28>
- [48] <http://gonzalezdelcastillosancho.blogspot.com/2010/09/referencias-hormigon-traslucido.html>
- [49] Fotógrafo: Hisao Suzuki y José Manuel Sanz_ <http://www.josemanuel sanz.com/>
- [50] Fotografía: Atelier XYZ. Fuente: Plataforma arquitectura
- [51] Fotografía: Atelier XYZ. Fuente: Plataforma arquitectura
- [52] © Plataforma de Futuros - Universidad de Maryland <https://www.re-thinkingthefuture.com/fresh-perspectives/a1072-10-innovative-construction-materials-used-around-the-world/>
- [53] <https://www.emedec.com/madera-transparente-nuevo-material-de-construccion/>
- [54] Reproducción / Liangbing Hu_ *Advanced Materials* <https://www.arenapublica.com/articulo/2016/05/30/4795>
- [55] © Fotografía de KTH Royal Institute of Technology <https://arquitectura-sostenible.es/madera-transparente-alternativa-sostenible-vidrio/>
- [56] © El Constructor <https://www.re-thinkingthefuture.com/fresh-perspectives/a1072-10-innovative-construction-materials-used-around-the-world/>
- [57] *ChemSusChem*. 2018, (4086 – 4093).” *Large-Size Transparent Wood for Energy-Saving Building Applications*” _ © 2018 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

ANEXO

MATERFAD_ Materiales de vidrio e innovaciones de la transparencia

En una visita virtual por el centro de materiales Materfad se mostraron algunos materiales de vidrio e innovaciones de la transparencia, además de otros materiales pertenecientes a otras familias, destacando varios materiales dentro de su materioloteca extensa. A través de este Qr se puede acceder a la página oficial del centro de investigación, en el que puedes crear un usuario y una contraseña totalmente gratuito, y poder investigar en los 3500 materiales innovadores con información técnica y contacto de los fabricantes y distribuidores. A continuación, se presentan varios materiales aplicados en proyectos arquitectónicos.



Cafetería de la Erich-Kästner Realschule (2017)
Alemania, Zoll architekten urban planner gmbh



**TIMax GL,
Aislante
térmico
translúcido
de fibra de
vidrio no
tejida**



Cubierta Escuela formación profesional (2009)

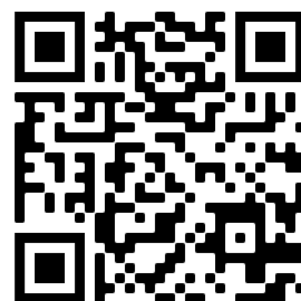
Wolfhagen, Alemania, HSS Planer + Architekten AG



ASI THRU 10, Placa fotovoltaica para acristalamiento semi-transparente



Clínica Ibermutuamur (2013)
Oviedo, España, b720 Fermín Vázquez Arquitectos

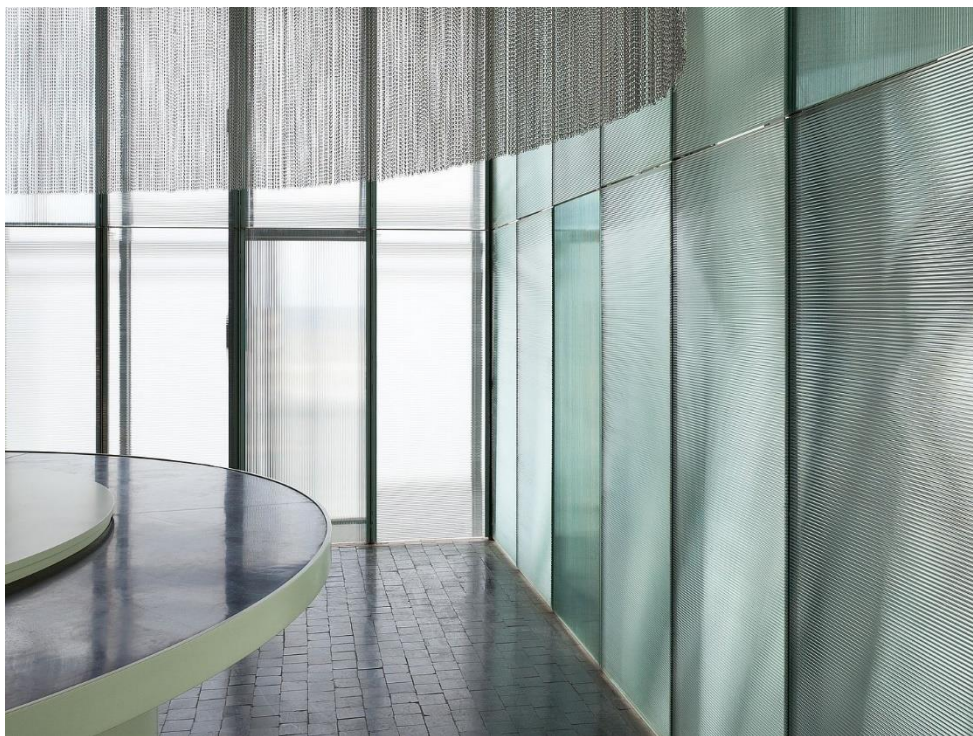


DreamGlass®, Vidrio laminado con dispersión de cristal líquido (LC) en una matriz polimérica



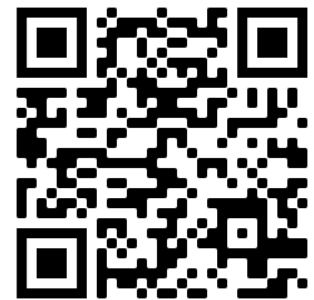
Fachada Arts Center (2001)

La Coruña, España, Acebo X Alonso, E- Madrid



**Primasolar,
Vidrio
prismático
con
estructura
que puede
reorientar
los rayos
del sol**

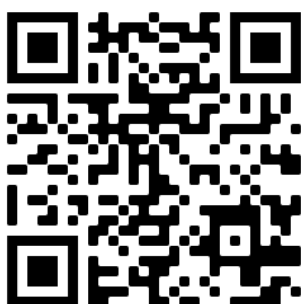
Edificio Azysa Zizur (2005)
Navarra, España, Tebuenca Saralegui y Asociados



Modulit 500LP, Placas de policarbonato de varias paredes con protección a la radiación UV en una cara

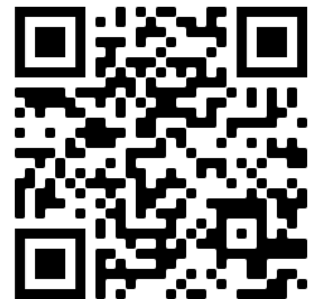


Centro de Enseñanza para adultos “Los Llanos” (2008-2009)
Albacete, España, Alberto Martínez Castillo i Beatriz Matos (Matos Castillo Arquitectos, SLP)



**SunGuard®,
Vidrio
laminado
transparente
de
seguridad
con
propiedades
de control
solar, de
aislamiento
térmico y de
radiación UV**

Rehabilitación oficinas CTTI (2012)
Hospitalet de Llobregat, España, ACXT – Arquitecto Marc Casany



**KALWALL®,
Panel
composite
de dos
láminas de
resina de
poliéster
reforzada
con fibra de
vidrio y una
barrera de
fibra de
vidrio en el
interior**



BIBLIOGRAFÍA FOTOGRÁFICA ANEXO

- *Página 92_ © Simon sommer*
<https://www.wacotech.de/projekt/mensa-der-erich-kaestner-realschule/>
- *Página 93_ M. Wilhelun*
<https://www.hhs.ag/projects.html?projekt=hessen-campus-vocational-training-center&typologie=>
- *Página 94_ <http://b720.com/es/portfolio/clinica-ibermutuamur/>*
- *Página 95_ Marcela Grassi*
<https://www.lamberts.info/es/proyecto/arts-center/>
- *Página 96_ <https://tabuenca-saralegui.com/proyectos/azysa/#galeria>*
- *Página 97_ <http://www.matoscastillo.com/index.php?/proyectos/cepa-centro-educacion-permanente-adultosalbacete/>*
- *Página 98_ <https://www.caas.es/proyecto/centro-de-telecomunicaciones-y-tecnologias-de-la-informacion/>*



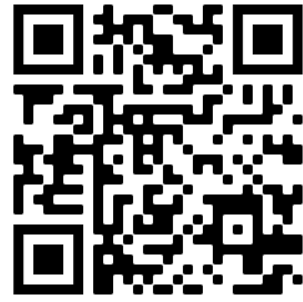
Amiran, Vidrio antirreflejante mediante recubrimiento sol-gel



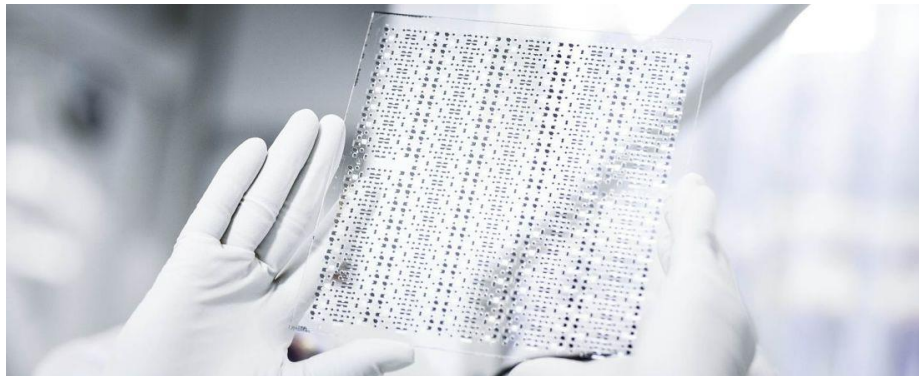
410 vitrinas en Museo de Arte Islámico en Doha, Qatar_ IM Pei, Nueva York (EE.UU.)



Protección invisible para vitrinas en Museo Staedel, Frankfurt, Alemania

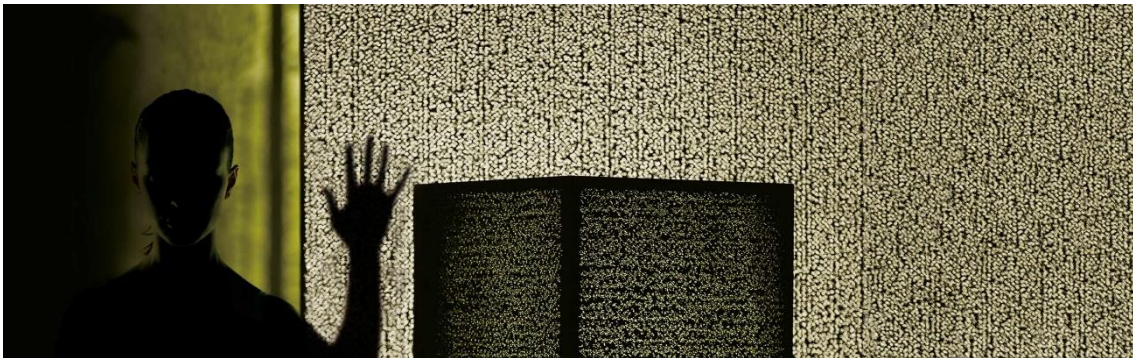
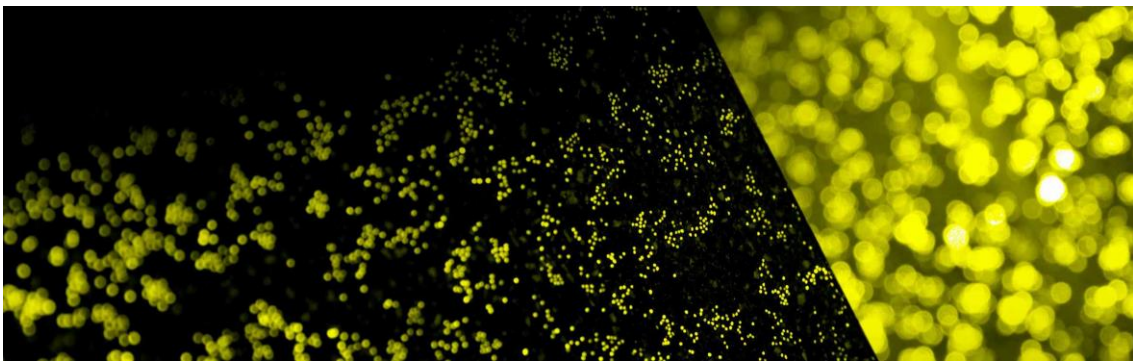


Borofloat, Vidrio borosilicato de calidad óptica





Luccon, Hormigón translúcido



BIBLIOGRAFÍA FOTOGRÁFICA ANEXO

- *Página100_ <https://www.schott.com/architecture/spanish/products/anti-reflective-glass/amiran-showcases.html#1>*
- *Página 101_ <https://www.schott.com/borofloat/english/index.html>*
- *Página 102_ <http://www.luccon.com/produkt/>*

