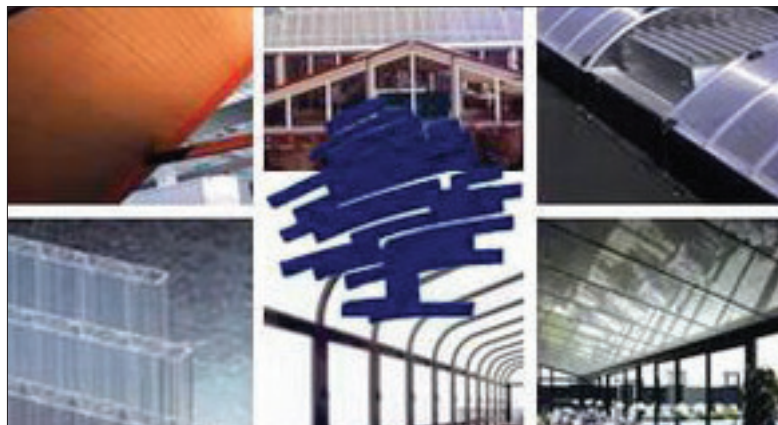


Cerramientos de vidrios especiales

Análisis de aplicación en edificios sostenibles



Smart Glazings. Analysis of Application in Sustainable Buildings

M^a del Carmen Giménez-Molina
Arquitecto
Universidad Politécnica de Madrid

Recibido: 18/11/08 • Aceptado: 19/01/09

ABSTRACT

- Energy efficiency is nowadays a major issue regarding to sustainability in housing. In this way, energy efficiency has to do with CO₂ emissions reduction. Maybe, the weakness point in housing envelopes is the glazed surfaces. So it is a necessity to improve the Energy Efficiency from glazed surfaces. This study tries to explore the contribution and optimization of new high tech types of glass to get improvements in general energy efficiency in houses glazed surfaces. This study will carry out a research on developed commercial products and their application to housing and testing process. The study will allow designing new glazed envelopes for their use in Energy efficient houses. It also will allow exploring the return of the initial investment in special types of glass, by means of energy savings.
- **Key words:** Electro-chromic glass, energy efficiency, sustainable buildings, switchable glass, smart windows.

RESUMEN

La eficiencia energética es actualmente uno de los principales aspectos en lo que a la sostenibilidad en viviendas se refiere. En este sentido, la eficiencia energética está directamente relacionada con la reducción de emisiones de CO₂. Es seguramente la envolvente o piel de vidrio de las viviendas el punto más débil energéticamente hablando.

Por tanto, nos vemos en la necesidad de estudiar y mejorar la eficiencia energética de estas superficies.

Este artículo intenta explorar la contribución y optimización de nuevos tipos de vidrio de alta tecnología, a la mejora de la eficiencia energética general de superficies acristaladas. Esto permitirá el diseño de nuevas envolventes acristaladas para su uso en viviendas eficientes energéticamente. Ello permitirá además, explorar la amortización de la inversión inicial en nuevos tipos de vidrio, teniendo en cuenta el ahorro energético conseguido.

Palabras clave: Vidrios electro-crómicos, eficiencia energética, edificios sostenibles, vidrios dinámicos, ventanas inteligentes.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy día el acristalamiento usado convencionalmente en viviendas no alcanza las cotas de eficiencia energética deseables en una casa de máximo ahorro energético. Como unidad de obra nueva convencional, la ventana

está formada generalmente por un doble acristalamiento, con carpintería de aluminio o PVC con o sin rotura del puente térmico y protección solar exterior o interior. Este artículo se ocupa de la contribución de las nuevas tecnologías del acristalamiento a la mejora de la eficiencia energética de los cerramientos de vidrio convencionales en viviendas, puesto que éstos, no son eficientes hoy día.

Con mejores acristalamientos se conseguiría una mejora de la eficiencia energética de la vivienda. De aquí la problemática del estudio al que nos enfrentamos. Pretendemos una mayor eficiencia térmica; un ahorro de energía consiguiendo así costes menores y una disminución de las emisiones de CO₂.

Los nuevos vidrios especiales o “*smart glazings*” contribuyen a la mejora de la eficiencia energética y su actual aplicación en cerramientos de viviendas.

2. EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL VIDRIO

Es bien conocido, que la principal característica del vidrio es su transparencia, proporcionando un sinfín de posibilidades en el ámbito arquitectónico y de expresión plástica, abarcando un amplio abanico de soluciones funcionales, ya sea con respecto a la iluminación natural, o a la percepción o comunicación visual.

Por ello está considerado como un material único en construcción. Sin embargo, a pesar

ello, en función del clima, lugar utilizado y época del año, el vidrio puede jugar bien en nuestra contra, o a nuestro favor. En efecto, su propiedad de captación térmica, también llamada efecto invernadero, resulta deseable en invierno pero contraproducente en verano. Igualmente su valor de bajo aislamiento térmico afecta negativamente, causando pérdidas térmicas en invierno.

Aun cuando la transparencia es una de sus propiedades más importantes, que impulsa al proyectista a la utilización de grandes superficies acristaladas para conseguir el efecto de fluidez espacial y de las vistas, es probable que, a veces, llegue a convertirse en un gran inconveniente, dado que debido al efecto invernadero, se origine una gran cantidad de calor que en algunas épocas puede resultar desfavorable para la habitabilidad de los edificios. Es por ello por lo que se plantea la necesidad de una investigación sobre nuevos tipos de vidrios.

Ya desde los inicios de la arquitectura moderna surgieron los primeros problemas técnicos en el uso de las superficies vidriadas de grandes dimensiones. Debido a ello la tecnología de producción de vidrio para la construcción ha ido diversificando su producto, bien variando la composición química del material, realizando tratamientos superficiales, agregando elementos o gases de baja emisividad entre dos vidrios, incluyendo sistemas pasivos o activos de control solar y térmico, o combinando varios de éstos, para ofrecer así distintos tipos de vidrios que pretenden solucionar uno o varios problemas: vidrios de comportamiento óptico modificado, de control solar, aislantes térmicos y acústicos, de baja emisividad, de seguridad, decorativos, laminados, resistentes al fuego, tintados, etc.

Por tanto, tras el creciente interés en la construcción por la incorporación del vidrio en las fachadas, se ha potenciado el uso de nuevas tecnologías que mejoren y aumenten el confort, la productividad y la comodidad para sus ocupantes, reduciendo los costes y contribuyendo a una mejora de la salud del planeta reduciendo el uso de energía y el consecuente impacto negativo medioambiental.

Entre los posibles candidatos a la contribución a la mejora en su comportamiento frente a las cargas térmicas, y por tanto en eficiencia energética, están los vidrios actualmente conocidos como bajo emisivos y reflectantes. Sin embargo, tanto unos como otros tienen un comportamiento óptimo frente a condiciones concretas de invierno o de verano, resultando desfavorables en otras. Debido a ello se plantea el estudio de vidrios capaces de cambiar sus propiedades según ciertas condiciones, que llamaremos vidrios dinámicos.

Hasta el momento se han realizando numerosas patentes y diversas empresas se están volcando en su desarrollo comercial, pero aún hay un punto que no está estudiado, y que es fundamental para la incorporación de estos vidrios a la arquitectura. Se trata del comportamiento frente a la radiación infrarroja, la causante del efecto invernadero y del aumento de temperatura en el interior del recinto.

3. TIPOLOGÍA VIDRIOS ESPECIALES

Este artículo pretender estudiar los distintos vidrios especiales-inteligentes, llamados “*smart glazings*” que se están

desarrollando actualmente, tanto en periodo de investigación como en proceso de comercialización.

No actúa igual un cerramiento de vidrio en invierno que en verano. Cuando una composición es ventajosa en invierno (por captación solar) puede resultar contraproducente en verano (sobrecalentamiento). Del mismo modo ocurriría a la inversa. Por ello, se busca un vidrio que sea cambiante, dinámico, capaz de adaptarse a las condiciones climáticas, ya sea activamente, o pasivamente.

Llamamos vidrios especiales a aquellos vidrios que cambian su color-opacidad, bien en función de las condiciones externas a la que es expuesto, o bien aplicándoles un pequeño potencial eléctrico. Pues bien, hablamos de vidrios inteligentes si forman parte de un sistema ya inteligente, es decir, de un edificio domotizado, que sepa actuar o reaccionar según las condiciones expuestas previamente y activar el mecanismo correspondiente. Entonces, como tal componente, podemos hablar de un vidrio inteligente.

Estos vidrios pueden clasificarse en dos tipos, que a continuación describiremos y estudiaremos por separado: vidrios pasivos y vidrios activos.

3.1.- VIDRIOS PASIVOS

Un vidrio pasivo, es controlado por las condiciones externas al cual es expuesto el edificio.

3.1.1.- Fotocrómicos

Los vidrios fotocrómicos, aún en estado de investigación, utilizan el fenómeno de “cambio de estado”, considerado el más antiguo y datado ya desde los años 80. Este material cambia su transparencia en respuesta a la intensidad lumínica, oscureciendo en función de la radiación, usualmente la ultravioleta, entre unas longitudes de onda que va desde la 300 a los 400 nm, y volviendo a sus propiedades originales en la oscuridad. Básicamente el fenómeno es el cambio reversible de una reacción química entre dos estados de energía con espectros de absorción distintos. Este cambio de estado es inducido generalmente por radiación electromagnética (usualmente la ultra-violeta).

Los cristales fotocrómicos, han sido ya usados y probados, y son altamente conocidos en las lentes de las gafas de sol, cambiando desde el claro en interiores a oscuro en ambientes exteriores.

Aunque pequeñas unidades han sido producidas en volúmenes reducidos a nivel de consumidor privado, aún no está disponible en el mercado, debido a su elevado coste, pero se espera que estén disponibles en un futuro cercano.

Según **Cronin** la coloración total de los prototipos ensayados hasta el momento por el *Lab's Enviromental Energy Technology* División de Berkeley (California), requiere al menos 10 minutos, aunque aún se deben resolver algunos problemas, debido a que ahora mismo el material se oscurece principalmente en respuesta a la luz ultravioleta, y es necesario modificar la película transparente de Níquel-Titanio introducida en la cámara, para que responda eficientemente al espectro solar, así como también se debe seguir desarrollando dicha capa, para que sean lo más transparentes y uniformes posibles.

Su rango de transmitancia visible varía entre un 83% (no activado o transparente) y un 33% con un color azul (activado).

Prototipo de ventana gasocrómica

Su aplicación sería útil en edificios de oficinas, y reduciría por tanto el uso de protecciones solares. Al ser un vidrio pasivo, no haría falta la domotización para su control.

3.1.2.- Termocrómicos

Un vidrio termocrómico, cambia su transparencia en respuesta a la temperatura, inducida por una reacción química. Los materiales termocrómicos se conocen desde 1870 aproximadamente, y al igual que el fotocromismo, es uno de los procesos cromogénicos más antiguos que se conocen.

Los materiales actualmente bajo desarrollo para ventanas, son geles entre vidrio y plástico (hidrogeles de polímero), que varían desde un estado claro, cuando baja la temperatura, a un color difuso y blanco, que refleja la luz, cuando sube la temperatura. En su estado encendido, la visión a través de él, es nula. Algunos vidrios podrían en efecto, eliminar totalmente la transmisión de luz solar, cuando las cargas de aire acondicionado resulten demasiado altas.

La temperatura del vidrio, la cual va en función del ambiente exterior e interior, regularía la cantidad de radiación solar que incide.

Los vidrios termo-crómicos, están pensados esencialmente para lucernarios, porque en su estado opaco no interfiere en la visual tanto como en una ventana normal. Una ventana termocrómica podría ser también activada por un sensor térmico en la ventana, operando como otros vidrios electro-crómicos, pero resulta menos efectiva energéticamente hablando.

Se han realizado y ensayado prototipos de vidrios, pero no están comercialmente disponibles por el momento. Los actuales problemas con los geles son la inestabilidad ante la radiación ultravioleta, el ciclo de vida y la no homogeneidad durante el encendido.

3.2.- VIDRIOS ACTIVOS

Un vidrio activo, cambia su transparencia, por la aplicación de una pequeña corriente eléctrica, controlada por los propios ocupantes del edificio.

Tras el creciente interés en la construcción por la incorporación del vidrio en las fachadas, se ha potenciado el uso de nuevas tecnologías que mejoren y aumenten el confort



Prototipo de ventana gasocrómica.
Fuente: Platzer (2003)

3.2.1.- Vidrios de cristal líquido disperso (LCD)

Consiste en una fina película de cristal líquido colocado entre dos conductores eléctricos transparentes sobre delgadas películas de plástico y todo ello laminado entre dos capas de vidrio. Cuando está apagado, el cristal líquido está desordenado y desalineado, reflejando la luz, y consiguiendo un estado translúcido. Los tiempos de conmutación entre los estados OFF y ON son del orden de ≈ 1 ms, y se pretenden reducir, ya que esto incrementaría sus posibilidades aplicativas. La posibilidad de incorporar color es viable y actualmente se está investigando en esta dirección.

Los vidrios de cristal líquido tienen solamente dos estados, claro y difuso, y la potencia (0.5 vatios, operando entre 24 y 100 voltios) debe ser continuamente aplicada al cristal para mantener el estado de claro. El rango de transmitancia visible es del 50 al 80%. Algunos productores ofrecen el vidrio en diversos colores e incluso curvados. Diversas aplicaciones realizadas hasta ahora acerca de estos vidrios sobre los rayos ultravioleta, permiten su aplicación en exteriores, pero comúnmente es usado en interiores.

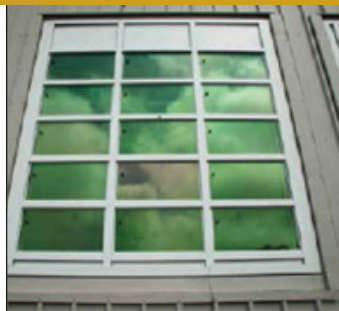
3.2.2.- Gasocrómicos

El vidrio gasocrómico utiliza el gas hidrógeno, solo o mezclado con otros gases inertes. Su componente activo es una película de óxido de tungsteno (WO_3), más delgada que $1\mu\text{m}$ de espesor y laminada con un catalizador. Cuando dicha película es expuesta a una baja concentración de hidrógeno, adquiere un color azulado, reduciendo la visibilidad y los valores de transmitancia óptica visible. Variaciones en la concentración del hidrógeno, harían variar el color. Bajo la exposición a una pequeña concentración de oxígeno, vuelve a su estado original (transparente). La mezcla de gas es introducida en la cámara entre el panel exterior e intermedio de un triple vidrio. La segunda cavidad y el tercer vidrio, que suele llevar una capa bajo emisiva, asegura que el vidrio gasocrómico obtenga unas propiedades térmicas adecuadas.

La transmitancia visible puede variar entre un 10 y un 59%. Niveles de transmitancia menores del 1% para privacidad o control de la luminosidad, son posibles. La rapidez de encendido varía entre 2 y 10 minutos.

La ventana electrocrómica se compone de un doble panel de vidrio aislante, donde la capa electrocrómica es aplicada en la superficie interior del vidrio externo

La clave principal en los requerimientos de diseño de un vidrio gasocrómico en comparación con un vidrio convencional se basa en el hecho de que dicho vidrio está conectado a un complejo sistema con cables eléctricos y tuberías. Las ventanas gasocrómicas, están siendo experimentadas y sometidas a ensayos de durabilidad actualmente, y se esperan que alcancen el mercado, en un futuro cercano. En la producción de dichas ventanas experimentales comenzadas en el 2002, se han llegado a alcanzar unas dimensiones de 1,5x1,8m.



Vistas exteriores de prototipos de ventanas electrocrómicas, en su estado claro (izquierda) y tintado (derecha).

Fuente: (Ward, Inkarojrit & Yazdanian 2006)

3.2.3.- Vidrio de partículas en suspensión (SPD)

Este vidrio, controlado eléctricamente, utiliza una delgada capa de líquido, en el cual numerosas partículas microscópicas están suspendidas. En un estado apagado, las partículas están desordenadas y bloquea parcialmente la transmisión solar y la vista. Conductores eléctricos transparentes, permiten la aplicación de un campo eléctrico en la película de partículas dispersadas, alineándolas y aumentando así la transmitancia visible. Esa transmitancia visible varía desde 22%-5% a 57%-12%.

El tiempo de encendido es más limitado que el electrocrómico (ver punto 3.2.4), y requiere unos 100 voltios, desde el estado de apagado (coloreado) al encendido (casi transparente), y puede ser modulado a cualquier estado intermedio. La potencia requerida es de 0.05 vatios, tanto para encenderlo como para mantenerlo en una constante transmisión si no está apagado, adquiriendo un color azul cobalto.

Estos vidrios laminados, pueden ser fabricados ya hoy día en láminas dimensiones aproximadas de 1.2x2,4 m, tanto planos como curvos. La durabilidad y propiedades ópticas solares, no están verificadas actualmente.

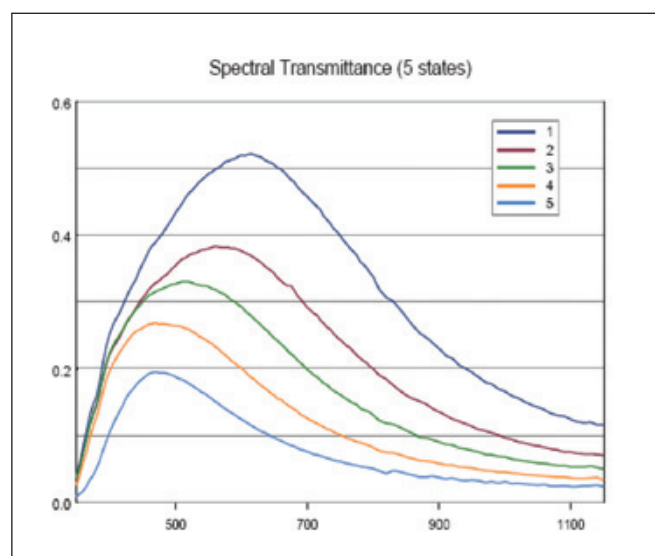
Este vidrio es comercializado en dimensiones máximas de 1x3 metros y es recomendado principalmente para interiores, aunque también se puede emplear para exteriores, siempre y cuando se utilice en el exterior un vidrio de baja emisividad o de control solar, y al interior un "climalit", pero nunca deberá utilizarse para lucernarios. Su uso limitado para exteriores es debido a su precio.

3.2.4.- Vidrios electrocrómicos:

Una capa electrocrómica es un conjunto de capas "activables" de delgadas películas, que aplicados al cristal o al plástico, pueden cambiar su apariencia desde un claro (amarillo claro) a un azul oscuro (azul de Prusia), cuando se le aplica un pequeño voltaje, permitiendo siempre la visión a través de él.

En cualquier estado, la ventana permite una visión perfecta sin distorsiones o neblina.

La transmitancia visible (T_v) y el coeficiente de ganancia de calor (SHGC), varía dependiendo de la composición del material. El factor U (Coeficiente Global de transmisión de calor, unidades $WT/m^2 K$), no se ve afectado por el tintado,



Curvas de la transmitancia espectral de un vidrio electrocrómico en 5 estados.

Fuente: Kraft (2006)

La velocidad del encendido varía en función de la superficie y la temperatura exterior del vidrio (según los niveles de radiación solar, velocidad de viento y temperatura del aire)



permaneciendo siempre invariable. Generalmente, el rango entre encendido y apagado, varía según las condiciones ambientales exteriores.

La ventana electrocrómica se compone de un doble panel de vidrio aislante, donde la capa electrocrómica es aplicada en la superficie interior del vidrio externo. El rango de encendido, no está solo determinado por la capa electrocrómica, sino también por los paneles de vidrio aislante. El vidrio externo puede ser tintado o claro, y el interno puede ser de cualquier tipo (tintado, de baja emisividad, etc.).

Como se indica en la imagen, el cambio en la transmitancia de luz visible puede variar desde el 8% en coloreado al 77% en apagado. La transmitancia solar puede cambiar desde el 6% al 56%. Cada estado intermedio entre el estado de totalmente apagado-encendido, puede ser ajustado.

La velocidad del encendido varía en función de la superficie y la temperatura exterior del vidrio (según los niveles de radiación solar, velocidad de viento y temperatura del aire).

Estos vidrios resisten bien a los rayos ultravioleta y pueden utilizarse tanto para exteriores como para interiores. Con ellos sería posible sustituir las protecciones solares, siempre y cuando estos vidrios vayan en combinación con un buen sistema domótico.

El producto está disponible en vidrios de dimensiones máximas de 1x1.5m, según datos obtenidos de la única empresa que comercializa vidrios electrocrómicos en EEUU.

4. CONCLUSIONES

Estos vidrios se han desarrollado esencialmente pensando en modificar sus condiciones de transparencia. El asunto de la atenuación o absorción de infrarrojos es un aspecto secundario en estas investigaciones y que en general está todavía por estudiar en profundidad.

Los vidrios especiales están la mayoría aun en periodo de investigación, y se espera una aplicación cada vez más próxima en el mercado arquitectónico, y con costes muchos menores que los que encontramos actualmente. Estos acristalamientos ayudarán a bajar los precios y las demandas de las energías no renovables, iluminación y refrigeración. Las perspectivas ahora mismo son bastante buenas, gracias a la gran cantidad de empresas involucradas en estas investigaciones, y aunque la mayoría de ellas se encuentran en EEUU, se espera que en un futuro no muy lejano vayan llegando a Europa. En España, los únicos vidrios que podemos encontrar son los vidrios de cristal líquido, aunque son demasiado caros y su estabilidad a la radiación UV es aún muy baja.

Por tanto, por ser una vía en investigación, consideramos de principal interés exponer los tipos con los que nos encontramos hasta el momento y su evolución en el mercado. Estas nuevas tecnologías, pueden ayudar a disminuir el efecto de las cargas térmicas, ya que como se sabe, la radiación infrarroja de onda corta es la culpable del calentamiento de las estancias interiores y del llamado efecto invernadero.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Carmody J, Selkowitz S, Heschang L. *Residential Windows : A Guide To New Technologies And Energy Performance*. New York: W.W. Norton, 2007. ISBN: 0-393-73004-2.

- Cronin JP, Gudgeon TJ, Kennedy SR. "Electrochromic Glazing". São Carlos: , Enero. 1999. ISSN: 1516-1439. Available From: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14391999000100002>

- Larnpert CM. "Chromogenic Switchable Glazing: Towards The Development Of The Smart Window". Toronto, Canada, June 5-6, 1995, Ed. , June 1995. Available From <[Http://Gaia.Lbl.Gov/Btech/Papers/37766.Pdf](http://Gaia.Lbl.Gov/Btech/Papers/37766.Pdf)>. ISBN: Lbl-37766 Uc-16(M).

- Roland Pitts J et al. *Electrochromic Window Durability*. National Renewable Energy Laboratory Ed. . Available From: <[Http://Www.Nrel.Gov/Buildings/Electrochromic_Activities.Html#Durability](http://Www.Nrel.Gov/Buildings/Electrochromic_Activities.Html#Durability)>.

- Ward GJ, Inkarojrit V, Yazdanian M. "Advanced Of Electrochromic Windows. A Design Guide For Early-Market Electrochromic Windows". California Energy Commission. Public Interest Energy Research Program (Pier) Ed. Berkeley, California: Lawrence Berkeley National Laboratory, Mayo, 2006. Available From: <http://windows.lbl.gov/comm_perf/Electrochromic/refs/LBNL-59950.pdf>