

Los nuevos vidrios

PASCUAL BOLUFER

Las ventanas que cambian de color y los laminados para las pantallas planas son algunos de los nuevos vidrios que han cambiado la situación del vidriero



El hombre lo descubrió hace 4.000 años por casualidad. Existe en la naturaleza, originado por el impacto de un rayo sobre la arena; y la obsidiana, de origen volcánico, fue usada para hacer puntas de lanza.

Pero fabricarlo no es fácil. No es de extrañar que ya en la Edad Media, encontremos en España iglesias románicas, con pequeñas aberturas, cerradas con alabastro, porque carecían de vidrio. Pronto cambió la situación, y admiramos las grandes vidrieras de las catedrales góticas.

El vidrio es un compuesto inorgánico que se enfría sin cristalizar. La arena de sílice (SiO_2) es el componente más importante. Como tiene un punto de fusión muy alto (1.720°C), se adiciona fundentes (carbonato y sulfato sódico) que rebajan la temperatura de fusión.

Se le añaden estabilizantes para que el vidrio sea menos atacable (carbonatos diversos, barita, dolomía, etc.).

Los decolorantes disminuyen o anulan la coloración introducida por los dos óxidos de hierro. El ferroso da coloración azul, y el férrico amarilla. En el vidrio verde vemos una mezcla de ambos óxidos.

Una hoja de vidrio sometida a flexión tiene una cara en extensión y la otra en compresión. El vidrio recocido es mucho menos resistente que el templado.

El vidrio templado se obtiene calentando el vidrio hasta una temperatura próxima al reblandecimiento, y luego se enfría bruscamente por soplado de aire o inmersión en un líquido frío.

El vidrio es mal conductor del calor, y, por tanto, soporta mal los saltos térmicos. Conviene que el coeficiente de dilatación lineal sea mínimo. El vidrio pírex tiene un coeficiente de sólo: $\alpha = 87 \times 10^{-7}$.

La composición y sus propiedades

El sílice puro existe con dos estructuras atómicas:

El cuarzo, sólido cristalino, incoloro.

Sílex, ágata, ópalo, formas pseudo-cristalinas. Con estructura desordenada, el sílice amorfo.

Aquí no nos ocuparemos del amorfo.

Al contrario que la sílice, el vidrio tiene una estructura compleja.

Es insoluble en ácidos, excepto el fluorhídrico, y soluble en álcalis fundidos.

Por fusión da lugar a un material amorfo (vidrio de cuarzo), con el más bajo coeficiente de dilatación conocido.

Fundido con otros óxidos metálicos, da lugar a distintas variedades de vidrio.

La inhalación prolongada de polvo de

sílice produce la enfermedad llamada silicosis.

La sílice activada presenta una elevada superficie, consecuencia de su gran porosidad.

La composición del vidrio, a base de 8-10 diferentes óxidos, produce sus propiedades: punto alto de fusión, viscosidad a alta temperatura, propiedades mecánicas, dureza superficial del vidrio templado, estabilidad química, coloración, etc.

Al comparar la formulación antigua con la moderna de vidrios de botella nos sorprende que son muy semejantes. Por ej.: el SiO_2 ha pasado del 70,5% al 72,5% y algo parecido ocurre con los óxidos de sodio, calcio, potasio y hierro. No obstante, algunas propiedades han mejorado mucho con el paso de los siglos.

Es el caso de la transparencia. Los primeros vidrios eran bastante opacos, debido a sus muchas impurezas.

En el siglo XVII el secreto para fabricar vidrios transparentes era un monopolio de los venecianos. Para proteger su secreto se instalaron en la isla de Murano, en la laguna de Venecia. Y todavía siguen allí.

Últimamente los vidrios de sílice, utilizados para la fibra óptica, son transparentes a lo largo de decenas y centenares de kilómetros, con una atenuación mínima.

El arte de fabricar

Una larga experiencia indica que las propiedades cambian mucho con sólo alterar un poco el porcentaje de un solo componente del vidrio. Forma parte del *arte* de la fabricación.

Veamos el aislamiento térmico y acústico en los últimos 10 años. El producto consiste en fibras cortas de pequeño diámetro (unos pocos micrones de diámetro y pocos milímetros de longitud). ¿Qué le ocurre al pulmón, si inhalas lana de vidrio?

Al contrario que en el asbesto, las fibras son de silicato cristalizado, más o menos soluble en el líquido pulmonar. Esa biosolubilidad depende de la composición de la lana de vidrio.

Esas fibras desaparecen del pulmón después de varios meses, mientras que las fibras de asbesto duran 30 años. Para que el vidrio sea biosoluble basta variar los porcentajes de los óxidos empleados en 1-2% y aun menos.

Pongamos por caso el MgO : si lo aumentamos de 3% al 3,2%, el vidrio es biosoluble.

La conclusión oficial es que la lana de vidrio es totalmente segura en términos de riesgo de cáncer.

Ventana transparente sólo en el espectro visible, no en el infrarrojo

Se supone que una ventana aísla del exterior, pese a ser lo más transparente posible. La transparencia en el infrarrojo tiene inconvenientes: en verano nos entraría el calor solar; por eso en verano el interior de un coche es muy cálido.

En invierno la radiación del cuerpo negro del interior de un edificio, a 20°C , tiene una energía pico de alrededor de 10 micrones, en el infrarrojo lejano. Esa radiación se va por la ventana, generalmente por un proceso de absorción-reemisión dentro del vidrio, y produce una gran pérdida de calor desde el interior del edificio.

La solución consiste en desarrollar una composición de vidrio que sea transparente en el visible, pero que absorba la radiación en el infrarrojo cercano y lejano.

El TSA4, de Saint Gobain, tiene una composición casi perfecta: su transparencia se limita al espectro visible.

La ventana ideal, además de transparente en el visible, debería reflejar, y no absorber, la radiación infrarroja, para asegurar la comodidad en verano. Echar afuera al calor solar. En invierno, la ventana refleja hacia dentro la radiación de cuerpo negro de 10 micrones. Esto ya es posible gracias a los recubrimientos del vidrio moderno.

El fotocromismo y grabado con láser

La iluminación ultravioleta induce la disociación de agregados nano de haluros de plata, creados al templar el vidrio. Cuando se suprime la iluminación, los átomos se recombinan, y la coloración causada por los átomos de plata desaparece. En otras palabras, una lente fotocromática se oscurece al ser expuesta a los rayos ultravioleta, al aire libre, pero en el interior de un edificio, recupera la transparencia.

La primera lente fotocromática fue creada por Corning en 1960. El grado de oscurecimiento depende del espesor que tenga la lente. También hay lentes de polímero.

Existe también el electrocromismo: la electricidad cambia el color del cristal. Requiere siete capas en el vidrio.

La polianilina con las cargas eléctricas cambia de color amarillo pálido a verde oscuro. Es una reacción química reversible. Así se logran ventanas electrocromáticas, o *inteligentes*. El vidrio controla la cantidad de luz que atraviesa la ventana.

En los últimos años se ha puesto de moda grabar dibujos o figuras en el inte-

rior del vidrio. Se consigue gracias al láser de impulsos de picosegundos. Los pulsos inducen cambios locales en la estructura de la masa vítrea (microcavidades, microcristales, cambios locales de composición). Así se consiguen efectos decorativos, como grabar la torre Eiffel en el interior del vidrio. Pero también podrá servir para fabricar memorias ópticas tridimensionales.

La superficie

Es el talón de Aquiles del vidrio. La propagación de microfracturas por la superficie termina con la fractura de la pieza vítrea. La fragilidad del vidrio comienza en la superficie, un material que, por otra parte, tiene un módulo de tensión muy elevado. Ahora ya conocemos cómo se propagan las microfracturas: al comienzo, muy despacio. El papel del vapor de agua es importante, pues sus moléculas se sitúan al fondo de la fractura, lo cual conduce a la ruptura de los enlaces covalentes del vidrio.

Los fabricantes de vidrio observan fenómenos complejos, e incluso, paradójicos. La superficie externa de una botella, su calidad, determina principalmente su resistencia a la presión interna, un factor muy importante para las botellas de cava.

La calidad de su superficie interna decide su resistencia al choque, cualidad útil durante el transporte y en el llenado de botellas. Para que el vidrio sea fuerte, debe tener una superficie perfecta, algo difícil de obtener en la práctica.

En las fibras de sílice, para reforzar polímeros (composites), se ha pasado de un coeficiente de ruptura de $3,5 \cdot 10^9$ Pascal a casi el valor teórico de una fibra sin defectos, de 10 a $15 \cdot 10^9$ Pascal.

Impedir la propagación de las fracturas es más fácil.

Por de pronto, templar es someter la superficie a compresión. Además del templado térmico está el químico: el bloque de vidrio es sumergido en un baño caliente de sales de potasa, pero es más caro.

Los iones de sodio del vidrio son sustituidos parcialmente por iones de potasio, de mayor tamaño, que obligan a comprimir la superficie. La pieza es prácticamente irrompible.

Los recubrimientos son otra manera de evitar que las grietas se propaguen.

Los recubrimientos

Ya hemos recordado que con recubrimientos se puede lograr que la ventana sea transparente a la luz visible y opaca, o traslúcida, al infrarrojo, una radiación que es reflejada. Con el recubrimiento multicapa

se logra un filtro de interferencia en la superficie. Y además no deja ninguna coloración residual.

La aplicación de los recubrimientos se realiza con cámara de vacío, con un finísimo rociado que permite aplicar varias capas. La estructura y el espesor deben estar perfectamente calculados y controlados.

Los vidrios más sencillos tienen seis capas, con espesores que van desde unos nanómetros hasta unas pocas decenas de nanómetros. El coste es suficientemente moderado, y es aceptado por el mercado de la construcción.

Los vidrios más complejos tienen hasta 20 capas. Es el caso de los parabrisas de automóviles o de un avión. Las capas son tan fuertes, que soportan los ciclos de calentamiento y enfriado necesarios para lograr las formas complejas del parabrisas.

El recubrimiento permite otras cualidades, como hidrofilia o hidrofobia, antiescarcha, etc.

Una propiedad importante es la superhidrofobia. Se ha observado que las hojas de ciertos lirios de agua nunca están mojadas, ni siquiera en un día de lluvia. La causa es la estructura de la superficie, a una escala de unos centenares de nanómetros.

Eso, reproducido en la superficie del vidrio, produce un efecto espectacular de hidrofobia.

El último producto es el vidrio que se autolimpia, gracias a un recubrimiento muy delgado de óxido de titanio.

Vidrios complejos

El próximo paso ha sido los vidrios electrónicos. El primer producto es el Privallite, un vidrio *inteligente*, que cambia de transparente a translúcido mate con sólo apretar un botón: o transparencia o intimidad.

Es un vidrio laminado, compuesto de dos hojas de cristal, incoloras, o de color, entre las cuales se sitúa una película de cristales líquidos. Cuando no circula a través de dicha película la corriente eléctrica, los cristales líquidos no están alineados, y la posición desordenada difumina la luz en todas direcciones, permaneciendo translúcido. Tengamos presente que el tamaño del cristal líquido es similar a la longitud de onda de la luz, una fracción de micrómetro, y se produce la difracción de la luz. El resultado es el vidrio mate.

Al circular la electricidad, los cristales líquidos se orientan y alinean. El cristal se vuelve transparente.

El tiempo de conmutación es rápido, del orden del microsegundo.

Sus aplicaciones son: oficinas, salas de encuentros, hospitales, etc.

La película transparente, conductora, en muchos casos es un óxido de estaño, dopado con flúor, con pequeños cristales líquidos.

Si tenemos en cuenta la naturaleza de las moléculas de cristal líquido, este vidrio *inteligente* es poco resistente a la radiación ultravioleta. Se empleará en el interior de un edificio. Por su aspecto mate, puede ser una pantalla excelente de proyección.

Avances a la vista

El progreso se basará en la composición. El número de posibles composiciones parece infinito. En el laboratorio de Auber-villiers, de Saint Gobain, Francia, se formulan y prueban unas 200 composiciones al año. La *química combinatoria* ofrece métodos sistemáticos de exploración que permiten predecir las propiedades de una formulación.

Para las pantallas planas de presentación de datos, teléfono móvil y de TV el espesor del vidrio será inferior al milímetro. Un mismo vidrio no sirve para una matriz activa de cristal líquido de TV plana y para una pantalla de plasma.

En el sector de laboratorios hacen falta vidrios para microfluídica

Hay que perfeccionar el vidrio celular, poroso, que se emplea en construcción.

Nos falta comprender mejor qué es un material amorfo, qué ocurre en su superficie, y cómo predecir sus propiedades usando la dinámica molecular.

Bibliografía

- Brützel, L. *Glass composition*. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 703. 2002.
- Célaré, F. *Coating on glass*. Thèse. Université Paris Sud, Orsay, 2005.
- Fernández Navarro, J. M. *El vidrio*, CSIC. Inst. de Cerámica y Vidrio. 1985.
- Hamon, M. *Glass structure*. Ed. JC, Paris. 2001.
- Lehmann, J. C. *Glass and glass products*. Bulletin SFP, 150, 4, 2005.
- Marzolin, C. *Electrochromic glass*. Europhys. Lett. 220, 1999.

AUTOR

Pascual Bolufer

Físico por la Universidad de Barcelona en 1955. Desde 1994 es investigador del Instituto Químico de Sarriá, Barcelona (ETS de ingenieros químicos)