

Ayer y hoy del vidrio en el País Vasco*

(Past and present of the glass industry in the Basque Country)

Ramos Martínez, Jesús M^a

Eusko Ikaskuntza. M^a Díaz de Haro, 11-1.
48013 Bilbao

BIBLID [0212-7016 (2009), 54:1; 75-115]

Un viaje que comienza en 1934, cuando se puso en marcha la primera fábrica, y que continúa a lo largo de unos años en los cuales la fabricación de este material ha alcanzado cotas insospechadas para los pioneros de aquella época. Una historia ligada intrínsecamente a una fábrica alavesa, a sus promotores y a sus trabajadores. El autor formó parte de la plantilla que, día a día, convirtió el vidrio del s. XIX en un producto complejo y omnipresente en el XXI.

Palabras Clave: Vidrio. Doble acristalamiento. Reflejante. Float. País Vasco. Guardian. Vidrierías de Llodio. Villosa.

1934an hasitako bidaiak, lehenengo fabrika abian jarri zenean, urteetan zehar jarraitu du, material horren fabrikazioan garai hartako aitzindariak ezin susmatuzko maila iritsi delarik. Berez arabar fabrika bati, haren eragileei eta langileei loturiko historia bat. Egilea langileetako bat izan zen, egunegun, XIX. mendeko beira XXI.eko produktu konplexu eta nonahikoa bilakatu zuen plantilla hartakoa.

Giltza-Hitzak: Beira. Beiratzatu bikoitza. Islatzailea. Float. Euskal Herria. Zaindaria. Vidrierías de Llodio. Villosa.

Un voyage qui commença en 1934, lorsque la première fabrique se mit en marche et qui continua pendant quelques années au cours desquelles la fabrication de ce matériel a atteint des cotes insoupçonnées des pionniers de cette époque-là. Une histoire liée intrinsèquement à une fabrique alavaise, à ses promoteurs et à ses travailleurs. L'auteur fit partie du personnel qui, jour après jour, transforma le verre du XIXème siècle en un produit complexe et omniprésent au XXIème siècle.

Mots Clé : Verre. Double vitrage. Réfléchissant. Float. Pays Basque. Guardian. Verrerie de Llodio. Villosa.

* Para el apartado de acústica se ha contado con la colaboración de José M^a Jiménez, de Glass Application Consultant. Las imágenes reproducidas han sido cedidas por Guardian Industries Corporation.

Me veo niño, en las tardes eternas del invierno, dibujando con los dedos figuras imposibles en los cristales empañados de las ventanas. Cristales que guardaban en su interior agujas brillantes, lágrimas alargadas –huecas por dentro– y piedrecillas de colores rodeadas por anillos concéntricos; todavía puedo sentir el olor de la masilla que los sellaba al marco y tapaba los clavitos que los sujetaban.

La rotura de un cristal no era un hecho infrecuente y hacer el recado a la madre de ir a por un cristal a la cristalería Deprit de la esquina, con las dimensiones anotadas en un papel, me gustaba porque lo que se producía en la cristalería, cortarlo, era milagroso para mí... Se trataba, pensaba, de un material que lo quebrábamos tan fácilmente y que, sin embargo, era dominado por un hombre que dibujaba, armado con una regla y un “diamante” humedecido en un líquido contenido en una lata de sardinas; trazos precisos sobre su superficie, para partirlo a continuación con golpes secos, ¡clin!, ¡clin!

Jugábamos, los hermanos, a reírnos frente a los espejos de los armarios porque aquella superficie plateada nos devolvía nuestras cabezas apepinadas y las piernas cortitas, gruesas, como en la casa de la risa que montaban los feriantes en agosto.

Nuestra relación con este material, en muchos aspectos tan mágico, era de absoluta normalidad similar a la que teníamos con los realizados en madera o con hierro. Estaba allí desde siempre, como el verde de los montes, pero a diferencia de éstos, que sabíamos perfectamente su origen e incluso su transformación –caso de la madera o el hierro–, del cristal solamente hubiéramos podido enumerar una o dos propiedades funcionales, como transparencia y fragilidad.

No fui consciente de la complejidad, tecnología, aplicaciones y características de este material, “vidrio”, que no cristal, hasta que terminados mis estudios entré a trabajar en la antigua Vidrierías de Llodio, hoy Guardian.

Y a lo primero que asistí, nada más pasar la barrera de la fábrica, fue al cambio de definición. Nunca me ha vuelto a ocurrir nada semejante con ningún material. Resulta que el vidrio es un sólido amorfo, un líquido “subenfriado” que ha adquirido una enorme viscosidad y que, por tanto, presenta la textura y el comportamiento de un sólido pero que no está cristalizado, no tiene ordenados sus átomos y no es, por lo tanto, un cristal.

El cristal realizado de forma industrial existe, como las maravillosas manufacturas de la República Checa o de Murano (Italia), pero sus costes, rendimientos y capacidades de producción lo hacen inaplicable a los objetos que nos rodean. Miremos a donde miremos, nos tropezamos con el vidrio: en la construcción, transporte, mobiliario urbano, decoración interior... Planos, curvos, de colores, decorados... Transformado en vidrio aislante térmico, de seguridad, anti-rayas, autolimpiable, solar, este material tiene la posibilidad de formar parte de casi todo lo que podamos imaginar.

El cristal y el vidrio están presentes en la naturaleza como el cuarzo y la obsidiana. Esta última, formada por la acción volcánica, es muy abundante y fácil de trabajar. Se encuentra entre las primeras manufacturas, (puntas de flecha, cuchillos) de nuestros antepasados. Pero los que hoy utilizamos, los industriales, responden a varios tipos con aplicaciones muy diferentes, según las materias primas, composiciones y los procesos de fabricación que se hayan empleado.

En la actualidad, los vidrios de mayor aplicación son:

- Vidrio silicato sodo-cálcico. Es el más común, comercialmente hablando, ya que se utiliza en ventanas, espejos, botellas, parabrisas, etc.
- Vidrio con plomo. Su uso está ligado a la decoración.
- Vidrio borosilicato (Pirex). Se emplea en utensilios de cocina, aparatos de laboratorio, contenedores farmacológicos, cuando se requiere alta luminosidad (faros), protectores de chimeneas, etc.

Los vidrios sodo-cálcicos normales no soportan el estrés térmico, al contrario que los borosilicatos. Es decir, lo rompen diferencias de temperatura superiores a 40 °C entre puntos o zonas próximas, mientras que los borosilicatos permiten contemplar las llamas de la chimenea sin que se produzca su rotura. Esto se debe al bajísimo coeficiente de dilatación que presentan frente a los primeros.

Pero hay muchas más tipologías, como los vítreos o de sílice fundida, aplicados en óptica; los aluminosilicatos de las lámparas halógenas; los alcalino-bario de las pantallas de TV; los cerámicos de las cocinas... En definitiva, disponemos de muchas posibilidades.

1. VIDRIERÍAS DE LLODIO, UNA EMPRESA PIONERA

Vidrierías de Llodio, S.A., Villosa, se fundó en 1934 en la localidad alavesa de Llodio, por iniciativa de inversores e industriales vascos, capitaneados por Isidoro Delclaux. Los apellidos de estos promotores están diseminados por todas las grandes empresas del territorio, porque en su día formaron la aristocracia del trabajo entendido como motor del desarrollo y del progreso.

En aquella época, en los años 30, la fabricación de vidrio en España estaba monopolizada por Cristalería Española, filial del grupo francés Saint Gobain. Como era imposible (hoy ocurre prácticamente lo mismo) pensar en fabricar vidrio industrialmente sin contar con asesoramiento técnico y patentes, Vidrierías de Llodio fue participada técnicamente por el grupo belga Glaverbel (precisamente un belga, Mr Wery, sería su director técnico durante muchos años). Como consecuencia, hasta mediados de los 70 la formación de los técnicos se realizaría en las fábricas Glaverbel, próximas a Charleroy, centro de la cuenca carbonífera belga, y una de las cunas europeas del

vidrio. Sin embargo, a finales de esa década, empleados de Llodio formaban a los técnicos de vidrieras de otras partes del mundo, como Jordania o Chile.

El sistema de fabricación que se utilizaba se denominaba Fourcault y había sido desarrollado en 1905. El vidrio fundido se extraía del horno haciéndolo pasar por rodillos colocados verticalmente; la separación entre los rodillos enfrentados, que con su movimiento estiraban el vidrio, marcaba el espesor. Una variación de este sistema se produjo en 1928 y fue bautizado como Pittsburg. Esta forma de fabricar (Pittsburg Plate Glass) se desarrolló al máximo en 1960, obteniéndose buenas calidades de vidrio tanto para acristalamiento normal como para vehículos.

Durante muchos años, el sistema siguió siendo el mismo: las materias primas entraban por la boca del horno y, una vez fundidas y homogeneizadas, se extraía la masa vítrea para subirla en vertical, traccionada entre los rodillos que la conducían y la estiraban. Entre el horno y la recepción (zona de explotación), el vidrio (en su ascensión) atravesaba varios pisos siempre conducido por los rodillos, salvando más de 15 m de desnivel. En la memoria de los que pasamos por allí ha quedado indeleble el tremendo calor de la zona de pisos y el olor a SO₂ empleado, a veces, para engrasar los rodillos y que éstos no dejaran marcas en el vidrio.

Si el afino de la masa fundida era vital para obtener calidad, la conducción del vidrio entre pisos no lo era menos. De su equilibrado enfriamiento dependía que no se viniera abajo la máquina, perdiendo la hoja, y obligando a un nuevo “pescado” del vidrio del horno para volverlo a subir, o el que se realizara una curva de recocido correcta (enfriamiento equilibrado en todo el espesor del vidrio en su ascenso a la zona de explotación) para obtener un vidrio normalmente tensionado que pudiera ser cortado y manipulado sin que estallara en el intento.

Hasta los años 60, el mercado básicamente demandaba vidrios de espesor “sencillo” 2 mm y “doble” de 3 mm; los vidrios de 4, 5, 6 mm no tenían especial salida. Hasta esa fecha Vidrierías de Llodio S.A. se había ido equipando con un horno de estirado del tipo Fourcault, para entonces ya apagado, otro para fabricar vidrio impreso, (vidrio grabado con relieve que deja pasar la luz pero no la imagen), y un tercer horno sistema Pittsburg, de cuatro máquinas, que suponía cuatro extracciones simultáneas de la masa de vidrio fundida, permitiendo fabricar y explotar a la vez cuatro espesores diferentes, pero, estos hornos quedarían obsoletos a mediados de los 60 porque el mercado comenzaba a exigir vidrios de mayor espesor, más calidad y en dimensiones más grandes.

A mediados de los años 60 Vidrierías de Llodio S.A. acometió una ambiciosa modernización. La fábrica encajada hasta entonces entre el río Nervión y la línea del F.C. Bilbao-Miranda, salta al otro lado de las vías y ocupa lo que quedaba del valle y la colina de Alzarrate.



Fábrica de Vidrierías de Llodio, años 60.

En menos de 10 años duplicará la superficie construida en los 30 precedentes y las contrataciones de personal técnico y obreros se disparan.

Es en esos años cuando Vidrierías de Llodio construye el mayor horno de vidrio estirado del mundo, sistema Pittsburg. Se trataba de un horno con diez máquinas capaz de producir del orden de 400 T/día de vidrio de una calidad aceptable y de una enorme versatilidad. Cada una de las máquinas podía extraer en continuo un espesor de vidrio diferente al resto, lo que suponía una enorme agilidad para atender las demandas de los clientes.

La rentabilidad de la instalación en esos primeros años fue impresionante, las inversiones se multiplicaron y la fábrica se convirtió en una empresa integral. No solamente fabricaba vidrio base en hojas, cortado o manufacturado, sino que en las nuevas instalaciones se producían espejos, vidrios templados, vidrio para el automóvil, vidrio de seguridad laminado, decorados con serigrafía, mateados con ácido, grabados, manufacturados, dobles acristalamientos y reflejantes pirolíticos. En definitiva, toda la gama de productos que se podían realizar en vidrio. En algunos de esos productos fueron pioneros en España.

2. EMPRESA INTEGRAL

El concepto de empresa integral no solamente abarcaba los productos, sino que conformaba casi la vida; en algunos aspectos se parecía a las “colonias” textiles de Cataluña.

Dentro de la fábrica había de todo: una capilla para la misa dominical a la que acudían los obreros del turno de noche de sábado y los que entraban el domingo (más los cazadores que a esas intempestivas horas salían a practicar su deporte), un enorme taller de mantenimiento, camiones propios, montes de donde se sacaba la madera para los embalajes, un aserradero y carpintería que llegó a tener 50 trabajadores, taller de ebanistería, taller de refractario para autofabricar las cerámicas de los hornos y un economato. Todo ello se complementaba con viviendas para los trabajadores y para los técnicos que debían de residir en Llodio. Algunas de estas peculiaridades, como el economato, han permanecido hasta años recientes.

A mediados de los años 70, Vidrierías de Llodio tenía una plantilla cercana a los 1.500 trabajadores, personal cualificado en vidrio capaz de asumir retos, poner en marcha instalaciones complejas y hacerlas muy rentables. Por otro lado, la red comercial, centrada en delegaciones-almacenes repartidas por toda España, colocaba los productos y los servicios muy cerca de los clientes. Estos últimos crecerían, tanto económica como industrialmente, a la sombra de la fábrica.

De la misma forma se desarrolla el mercado exterior, con exportaciones a más de 40 países desde EE.UU., a Pakistán o Australia. En esos momentos era la empresa independiente (no ligada a ninguna multinacional salvo en lo concerniente a la “asistencia técnica” de Glaverbel) más importante del mundo; y si no lo era, el personal se lo creía, que viene a ser lo mismo.

Por la peculiaridad de la industria del vidrio, los trabajadores se formaban tecnológicamente en el trabajo, tanto en lo referente a los procesos en sí como en las aplicaciones de los materiales. Además, los manuales del vidrio eran muy escasos y, la mayoría de ellos, manuscritos.

En las escuelas técnicas medias y superiores de la época se daban, con un poco de suerte, veinte líneas de formación sobre vidrio. Por ello, la fábrica era la universidad. La experiencia de los antiguos, la observación propia, las pruebas, la capacidad de cada uno, sus conocimientos formales y lo que se tenía entre manos, conformaban la carrera.

Hoy día, la situación, de algún modo, sigue siendo parecida. Son las fábricas las que, con sus catálogos, manuales y conferencias, intentan informar y formar a los profesionales. Prueba de ello es que se reciben constantemente consultas sobre qué vidrio sería aconsejable emplear, cómo se justifica mediante cálculos de resistencias, qué valores de atenuaciones acústicas o térmicas se consiguen, cómo se comportan frente a la energía solar...

Pero en otros aspectos, la situación ha cambiado radicalmente. Así, la industria auxiliar de maquinaria ha tenido tal desarrollo que la venta de instalaciones hechas a medida “llave en mano” reducen la tarea de los técnicos de las fábricas a elegir la más adecuada entre las diferentes ofertas, y tras la elección, esforzarse en no superar el presupuesto, comprobar que el montaje cumple lo acordado, realizar un arranque de instalación en fecha, formar al personal, organizar los documentos de control de la producción, y producir en la cantidad y calidad programada dentro de los plazos establecidos, que siempre son mínimos.

Lo descrito no es poco, pero ya no hay que inventarse las instalaciones, salvo en el caso de que se trate de un producto complicado que puede dejar interesantes márgenes y que se estuviera haciendo de forma artesanal en pequeñas producciones, o bien de que hablemos de un producto novedoso, que se sabe existe, que tiene futuro, pero que su tecnología está protegida por patentes y no es accesible. En esos casos no quedará más remedio que “reinventarlo”.

Si algo ha caracterizado a la antigua fábrica de Llodio, y ahora a la moderna Guardian, es la creatividad y la curiosidad. A lo largo de estos años se han desarrollado productos y procesos novedosos que abarcan tanto la fabricación como la gestión. Otra peculiaridad es que no existía trasvase de trabajadores entre empresas diferentes del mismo sector y, de un modo inconsciente, no verbalizado, se intuía que toda la vida laboral estaría ligada a la misma fábrica. En aquella época, años 60 y 70, cada industria era una isla. En cierta medida, los trabajadores eran perfectos herederos de los usos y prácticas de las primeras industrias vidrieras del s. XVIII. En la actualidad, la movilidad es mucho mayor, el cambio de empresa es bastante normal (enriquece a la persona y a la empresa) pero no conozco a nadie, de un cierto nivel, que haya migrado a otra firma del mismo sector.

Como consecuencia de la gran capacidad de producción de Villosa, en los inicios de los 70 se desarrollaron departamentos de transformación para este vidrio base. Así nacieron los vidrios de seguridad, tanto templados como laminados (en esta variedad los primeros de España); los dobles acristalamientos pioneros en su fabricación prácticamente artesanal y en la aplicación de estudios de calidad en base a ensayos de envejecimiento acelerado; los espejos realizados inicialmente en una instalación sencillísima; vidrios para vehículos; los “antirreflejos” para cuadros cuyo proceso y producto fue desarrollado en Llodio, lo mismo que una variedad de vidrios grabados al ácido; los pintados o serigrafiados; mateados a la arena, reflejantes en baño galvánico, lunetas térmicas de automóvil, etc. etc.

Pero, ¿qué ocurrió, para que una compañía en apariencia tan competitiva a finales de los 70 se enfrentara a la disyuntiva de optar por la venta o desaparecer?

Todo partió de un error estratégico. En 1959, Mr. Pilkington, posteriormente Sir Alistair, había provocado una auténtica revolución en la fabricación de vidrio plano con el diseño del proceso “float”. Ideó un sistema de fabri-

cación (que acabaría imponiéndose) en base a una drástica reducción de los costes y a una excelente calidad de producto. Los antiguos sistemas de fabricación de vidrio estirado, como el mayor del mundo que había construido Vidrierías de Llodio a finales de los 60, quedarían obsoletos y arruinados en menos de 15 años. Las fábricas belgas, que habían formado tantos técnicos, fueron quebrando una tras otra.

El vidrio estirado no daba la fiabilidad de calidad que exigía el mercado y los costes de explotación, junto a una mano de obra intensiva y una escasa racionalización de la producción, dispararon los costes de fabricación. Por otra parte, tampoco se podía competir con los transformados de la competencia, que partían de vidrio "float".

Fue un tiempo tremendo lleno de incertidumbre, porque las instalaciones de transformación que se habían modernizado en años anteriores tenían capacidad sobrada, pero se carecía del vidrio base adecuado.

Como consecuencia, las inversiones se paralizaron y los trabajadores se convirtieron, con escaso presupuesto, en expertos en reparaciones y en modificaciones complicadas en las instalaciones, así como en afrontar la fabricación de vidrios muy complejos en el límite entre lo industrial y artesanal, con un coste enorme de esfuerzo personal e imaginación a la búsqueda de nuevas aplicaciones¹.

Se hicieron transformaciones en las máquinas que ahora resultan impensables, como alargar un autoclave de origen alemán de 4 m de largo, 3 m de diámetro y 25 mm de espesor de chapa en otro de 7,5 m de largo, o modificar un horno de templar en continuo, diseñado para vidrios planos, hasta hacerlo capaz de curvar y templar laterales de automóvil, aumentando la ocupación de la instalación a 24 horas al día y alcanzando producciones de más de 2.000 piezas por turno.

Esta situación se capeó sin despidos, se mantuvo el empleo, pero se cerró la contratación, y los puestos que quedaban vacantes se amortizaban. Además, se estableció una salida rotativa al desempleo, de modo que no se perdieran posibilidades de jubilación... Y así, conjugando medidas, se mantuvo la empresa durante quince años, hasta que las primeras jubilaciones anticipadas a los 58/60 años y los contratos de relevo posteriores hicieron necesarias nuevas contrataciones de personal que, a día de hoy, han balanceado tanto la pirámide de edades como el equilibrio entre experiencia y conocimientos formales.

La fábrica actual produce tres veces más que la de 1983, pero con poco más de un tercio de los trabajadores de entonces.

1. Quiero mencionar dos nombres propios: Luis Galíndez y Julián Uría, ambos de una enorme creatividad e inventiva. El primero de ellos es una autoridad mundial en el campo de los templados por sus conocimientos teóricos y aplicaciones prácticas.

3. TIEMPOS DE CAMBIO

En agosto de 1983, cuando se estaba en plena negociación para ser adquiridos por la empresa americana Guardian Industries Corporation, un diluvio y el desbordamiento del Nervión acabaron de completar un panorama negativo. Todas las instalaciones antiguas que estaban a la orilla del río quedaron sumergidas bajo tres metros de agua.



Villosa, ya convertida en Guardian.

Se apagó el horno que fabricaba vidrio impreso y el Pittsburg de diez máquinas estaba en precario, entre otras cosas por las caídas de las líneas de suministro eléctrico. Recuerdo que el ejército, por helicóptero, nos hacía llegar el fuel imprescindible para mantener encendidos los generadores, que sostenían los sistemas del horno.

Fueron semanas de lucha contra el barro, de llegar andando porque la localidad estaba prácticamente incomunicada, de bocadillos y botellas de agua y de ir retirando centenares de toneladas de escombros. Todo el personal colaboró hasta el límite teniendo muy claro que se estaba jugando la permanencia... y se logró. Metro a metro, máquina a máquina, se fue limpiando, reparando y poniendo todo en marcha de nuevo.

La negociación con la empresa americana Guardian se cerró con éxito.

Había nacido una nueva época y estoy convencido de que tuvo mucho que ver la generosidad de Carlos Delclaux, quien pocos años después moriría en accidente de automóvil, y del buen hacer de los directores de aquella época, Jesús Abrisqueta Aguirre, hoy jubilado, así como del malogrado Alberto Subinas Landa, fallecido poco después de culminar la negociación.

Guardian imprimió su filosofía de empresa e instauró dinámicas que modificaron la mentalidad y la forma de hacer las cosas. Este cambio fue impulsado por la nueva dirección, liderada por Luc Theis, en aquel momento máximo responsable de la fábrica.

No fue sencillo, ya que actitudes de muchos años habían generado inercias que oponían resistencias enormes al cambio. Poco a poco éste se fue notando, desde las paredes, que se cubrieron con el nuevo tono corporativo, hasta la limpieza de suelos, máquinas, derribo de despachos y despachitos, investigación de cualquier incidente, protocolos de seguridad, orden, limpieza, etc.

Se reintrodujo el concepto de servicio al cliente, no solamente al cliente final que es el que paga, sino al cliente inmediato, el compañero que va a recibir el trabajo realizado por uno mismo.

La organización varió: trabajo en equipo, sí, pero con responsabilidades individuales, (no compartidas, en donde todo se difumina); delimitación de las funciones a dos básicas, por una parte personas que se ocupan en mejorar las instalaciones, las producciones, los productos y, por otra, responsables de dirigir las personas que hacen funcionar estas instalaciones. Es decir, una clara diferenciación entre proceso y supervisión. Hoy, esta filosofía está asumida y se ha convertido en hábito.

Otro cambio fue la eliminación de un organigrama rígido yéndose a una organización tipo “espaguete”, donde el corazón lo conforman las ventas y la producción, y el resto de los departamentos (desde ingeniería hasta el financiero) son los que deben acudir a resolver las necesidades de los dos anteriores.

Esto se completó con la flexibilidad total para desempeñar el trabajo de los operarios: se trabaja en donde se es necesario, sea cual sea la instalación de la fábrica. Las categorías profesionales quedaron reducidas a dos, producción y mantenimiento.

Por último, junto a las reuniones de información sobre la marcha de la empresa a todos los niveles, se establecieron las valoraciones anuales del desempeño, tanto por parte de los jefes a sus subordinados como al revés, y todo esto con influencia en las percepciones económicas. Por supuesto, se propició el acceso de la mujer a puestos de mando en producción, y muchas otras cosas que marcaron un estilo.

Si a todos estos cambios unimos la del ordenador, (adiós a las libretas que casi siempre eran elementos de confusión más que de ayuda) donde consultar lo programado, introducir la producción, registrar los materiales sacados de los almacenes, etiquetar e indicar la ubicación de los productos, controlar que todo cuadra, se comprenderá que el trabajo de implantación fue tremendo, con resistencias enormes hasta que se asumió. En este momento, si cayeran los ordenadores, al cabo de dos horas no se sabría muy bien qué hacer.

4. LLEGADA DEL “FLOAT”

Es, en el marco descrito, donde se realiza la actividad que empieza con el horno “float”.

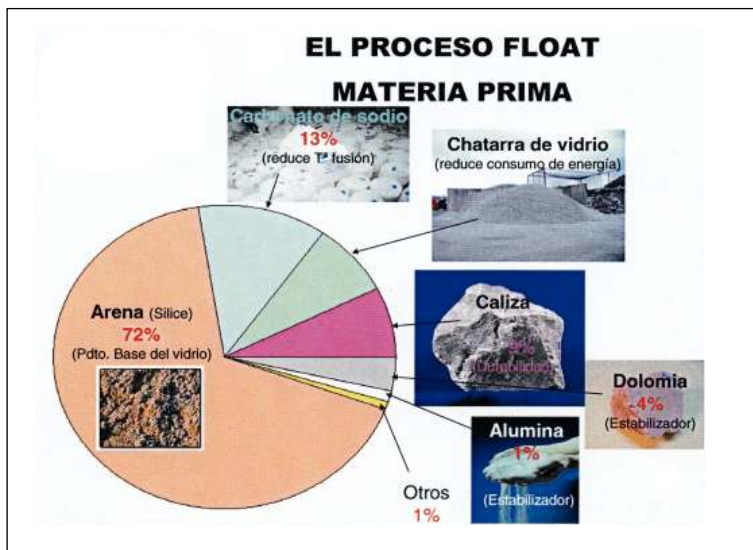
Antiguamente, el vidrio estirado salía a 20 m de altura, debiéndose bajar toda la producción en ascensores hasta los almacenes y la expedición. Se movía de esta forma la “tontería” de 400 T al día. En el proceso de fabricación “float” toda la instalación es horizontal, incluida su explotación, lo que simplifica la logística de almacenamiento y transportes internos. Esto implica que apenas haya operaciones que no generen valor.

El “float” es un río de vidrio, de una anchura útil de 3,21 m, que no cesa de fluir desde su puesta en marcha hasta que termina su vida útil al cabo de 12/15 años.

Básicamente, la instalación comienza con los almacenes de materias primas. Éstas, mezcladas en las proporciones adecuadas, se cargan al horno para fundirlas a temperaturas en el entorno de 1.500 °C.

Las materias primas que intervienen en la fabricación del vidrio son las que se indican en proporciones aproximadas.





El combustible empleado para fundir es el gas natural. El horno posee cámaras de recuperación de calor. Los humos, antes de salir por la chimenea, calientan los refractarios de las cámaras situadas a derecha e izquierda del horno que a su vez, lo ceden, al aire de combustión del gas.

Fundido y homogeneizado el vidrio, éste se vierte, a más de 1.000 °C en una “piscina” de estaño fundido, (el estaño funde a unos 240 °C). La menor densidad del vidrio hace que “flote” sobre el estaño fundido, de ahí la denominación “vidrio flotado”. Del baño de estaño sale en estado “plástico” y se introduce en el arca de recocado, donde se va enfriando sobre camino de rodillos y de forma controlada, a fin de evitar tensiones, lo que haría imposible su utilización para cualquier fin.



Los rayos láser controlan la calidad “leyendo” la superficie y la masa de ese río de vidrio que fluye sin parar. Cuando detectan un defecto, que generalmente son materiales no fundidos o burbujas de aire que han quedado atrapadas en la masa, lo marcan y envían su localización al ordenador, quien organiza su eliminación cortando esa banda.

Una vez comprobado que el vidrio posee la calidad requerida, se procede a su cortado. Este proceso, en continuo, es espectacular. El ordenador dispone de las dimensiones que debe fabricar, además de otras complementarias como alternativa en el caso de que no se estuvieran obteniendo las calidades requeridas. Las hojas, separadas por el corte, se distancian unas de otras en las rampas de aceleración en busca de los robots y éstos las irán recogiendo del camino de rodillos, mediante ventosas de vacío, para depositarlas en los útiles que harán posible su transporte al almacén.

Los hornos “float”, para ser rentables, necesitan una cantidad mínima de vidrio a extraer en torno a las 550 T. La mayoría de las instalaciones de este tipo fabrican entre 600 y 650 T/día, aunque existen de 850/900 T/día. La extracción diaria en toneladas es constante, por lo que la variable es la velocidad de extracción, así el vidrio de menor espesor (2 mm) avanza mucho más rápido, por la línea, que el de máximo espesor (19 mm).

Fabricar con un determinado espesor puede ser una tarea que dure tan sólo unas horas o bien alargarse a varios días. Antiguamente, con los hornos de estirado, la flexibilidad de simultanear máquinas extrayendo en continuo varios espesores, era mayor. Con el “float”, es un poco menor pero el avance en la reducción del tiempo en los cambios y las mejoras en las herramientas de programación convierten a este sistema en mucho más manejable y fiable que el anterior.



La inversión inicial de un “float” es muy superior a la de un horno de estirado, un “float” básico, obra civil incluida, supera los cien millones de euros, pero los costes de explotación por tonelada producida son muy inferiores y la calidad no tiene comparación.

En los 90, Guardian construyó un nuevo “float” en Tudela (Navarra). El personal de Llodio participó y dirigió la puesta en marcha, de la misma forma que lo hizo en los arranques de los hornos de Brasil y Venezuela. En la actualidad, personal salido de la fábrica de Llodio está en la dirección de las plantas europeas de Inglaterra y Luxemburgo. Cuando se mira hacia atrás y se aprecia el camino recorrido desde el barro del 83 hasta la situación actual, se tiene la certeza de que somos muy capaces de trabajar con eficacia y eficiencia a un nivel tan bueno como el mejor

5. LA CALIDAD DEL VIDRIO BASE

El concepto de calidad del vidrio para la construcción y vehículos se basa en la lógica de su utilización y manipulación.

Todas las personas nos enfrentamos al vidrio para mirar a través de él o reflejados en él y en ese mirar queremos apreciar los objetos sin deformaciones y sin manchas.

La planimetría y la constancia de espesor a todo lo ancho de la hoja son fundamentales para que no se produzcan distorsiones ópticas o dobles imágenes. Se comprende fácilmente que un parabrisas de vehículo no se puede fabricar con un vidrio que deforme las imágenes. Por ello, los controles de los vidrios con ese destino son severos y tienen que cumplir la reglamentación y homologaciones internacionales. Esta perfecta planimetría se consigue, salvo problemas con el enfriamiento (recocido) que lo pueden deformar, al flotar el vidrio fundido sobre una piscina de estaño fundido.

La superficie de contacto, (vidrio), copia la superficie sobre la que flota, (estaño, Sn), por lo que no le queda más remedio que ser un plano, y la otra superficie del vidrio, la superior, está libre. Por lo tanto, no existe nada que lo deforme. La atmósfera interior de la zona de la piscina de Sn. es nitrógeno, sin oxígeno, para evitar la oxidación del Sn.

A la hora de conducir el vidrio en el baño de Sn, hay que evitar que choque contra las paredes y avance. Esto se consigue mediante unas ruedas dentadas que giran y “muerden” los márgenes de la lámina de vidrio a una distancia aproximada de 150 mm de los bordes. Cuando el vidrio sale del baño de Sn está lo suficientemente sólido como para poder ser conducido por un camino de rodillos sin que éstos lo deformen. Los bordes con las marcas de las ruedas de arrastre se cortan en continuo y esta chatarra recorre el camino inverso hasta los silos de materias primas para volver a intentar ser vidrio útil en la siguiente composición.

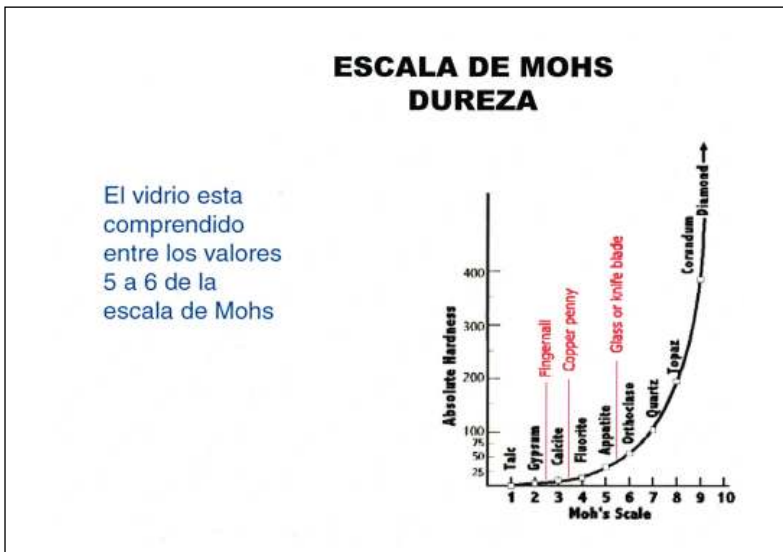
Los otros defectos que deben ser eliminados, y que detecta el láser, son las inclusiones no transparentes provocadas por impurezas en las materias primas o desprendidas de los ladrillos refractarios del horno, siendo su origen y su gama extensa. Estos defectos, cuando se producen en oleadas, traen de

cabeza a los responsables de la producción hasta que se determina de dónde proviene la contaminación y se corta.

En cuanto a los problemas de manipulación que pueden ocasionar los vidrios, destacan los derivados de su comportamiento en el trabajo. Es decir, su facilidad o dificultad para ser cortados, manufacturados, etc.

El control del enfriamiento, eliminando tensiones, evitan los problemas de un mal recocido que provocaría roturas de la hoja en marcha o mal corte en casa del cliente.

Guardian, desde siempre, ha transformado el vidrio que produce, es su primer cliente y, por lo tanto, es muy difícil que salga al mercado exterior algún vidrio con problemas de este tipo.



La particularidad mecánica más significativa del vidrio flotado recocido es su baja resistencia a la flexión: 80–150 Kg/cm² y cuando rompe lo hace en forma de “cuchillos”. Por ello, su empleo queda limitado a aplicaciones no críticas, como acristalamientos normales y comerciales que no requieran vidrio de seguridad.

Este tipo de vidrio se puede deformar calentándolo por encima de los 600 °C, temperatura a la que adquiere un estado “plástico” que permite deformarlo. Luego, al enfriarlo, las formas dadas quedan convertidas en permanentes. Es muy resistente a la compresión, frágil a tracción y transparente, aunque puede ser coloreado en masa con pequeñas adiciones metálicas. Además, es resistente a la corrosión química, e inerte e inofensivo para el medio ambiente, así como suficientemente resistente al choque térmico, buen aislante térmico y eléctrico, y de baja dilatación térmica.

La dureza es otra de sus características, entre 5 y 6 de la escala de Mohs. En el gráfico se aprecia su diferencia con otros materiales.

PROPIEDADES DEL VIDRIO COMPARACIÓN CON ACERO			
Propiedad	Vidrio Recocido	Vidrio Templado	Acero
Densidad	2.5 g/cm ³	2.5 g/cm ³	7.8 g/cm ³
Resistencia a la tracción	100 N/mm ²	150 N/mm ²	360-510 N/mm ²
Resistencia a la compresión	700 – 900 N/mm ²	700 – 900 N/mm ²	1440 – 2040 N/mm ²
Módulo de elasticidad	7.3x10 ⁴ N/mm ²	7x10 ⁴ N/mm ²	2.1x10 ⁵ N/mm ²
Dureza	575 +/- 30 kg/mm ²	575 +/- 30 kg/mm ²	550 +/- 30 kg/mm ²
Resistencia a la diferencia de temperaturas	40 C	100 C	N/A

6. VIDRIO Y ARQUITECTURA

Independiente de todo lo explicado hasta ahora, si algo define al vidrio es la capacidad que tiene de integrarnos en el paisaje y en el ambiente, a la vez que nos separa y nos protege. Esta característica, su comportamiento frente a las emisiones solares, ha marcado el desarrollo de los acristalamientos modernos, permitiéndonos salir definitivamente de la “cueva” que nos protegía.

Hoy en día, tenemos vidrios que filtran, repelen o modifican cualquiera de las radiaciones solares, que cambian la interacción entre la luz solar exterior y el medio protegido por el vidrio.

Esto se consigue mediante la aplicación de capas metálicas sobre su superficie. Son los vidrios reflejantes y los bajos emisivos (low-E).

La elección de los vidrios dependerá del lugar donde esté situado el edificio, del clima, de la orientación de las fachadas, de la altitud y de las prestaciones mínimas energéticas, acústicas y de seguridad que prescriben los Códigos Técnicos de la Edificación de cada país europeo. La habitabilidad de los edificios, según el uso al que se destine, y el ahorro energético con la repercusión económica y medioambiental que tiene, son los ejes sobre los que se han levantado estos códigos técnicos.

En España, desde hace un año, todos los proyectos de edificios, para ser visados, deben cumplir el nuevo CTE. Esto incluye desde el libro de obra (que va a estar a disposición del cliente) y las fichas técnicas de los materiales empleados y sus parámetros de comportamiento, hasta los valores de transmisión energética, –valor U^{**} – de las diferentes partes del edificio y la global, que no pueden sobrepasar lo prescrito en el CTE. Lo mismo sucede con los parámetros atenuación acústica, tanto externa como interna, que también están contemplados en el CTE. Esto está suponiendo ya una mejora muy sustancial en la práctica de la construcción.

El sol emite energía que se transmite por ondas que tienen diferentes longitudes, (longitudes de onda), y la suma de todas ellas es la energía total transmitida que se conoce como espectro solar. De todo el espectro solar, nuestra retina solamente es sensible a unas pocas longitudes de onda y este grupo denominado “espectro visible”, queda evidenciado por los colores del arco iris. La longitud de onda del espectro visible va de los 380 a los 780 nm. El rojo es el de mayor longitud de onda y menor energía; el violeta el de menor longitud de onda y mayor energía. Cuando todas las ondas aparecen juntas el resultado es el color blanco.

Además del visible, el sol emite otro tipo de radiación, como la ultravioleta. No la vemos pero sí sentimos sus consecuencias (entre muchos otros efectos activa la melanina del cuerpo, bronceando la piel y en exceso nos regala un cáncer), decolora los objetos y sirve de catalizador para diversos fenómenos de la naturaleza. Los ultravioletas se mueven entre los 50 y 380 nm de longitud de onda.

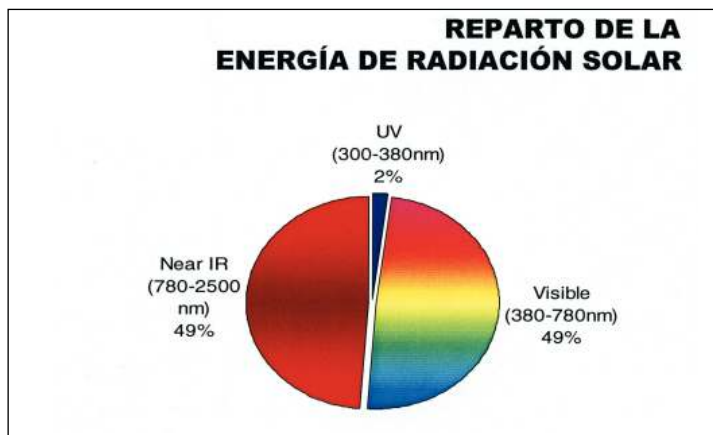
2. Valor U.- Es la transferencia térmica por conducción, convección y radiación.

Representa el flujo de calor que atraviesa 1 m² del material para una diferencia de Temperatura de 1 grado Centígrado entre el interior y el exterior del local.

Las unidades métricas son W/(m²°K). A medida que el valor U del vidrio decrece, también lo hace la cantidad de calor que se transfiere al exterior.

Y al final del espectro se encuentran los infrarrojos, próximos y lejanos, que tampoco vemos pero que soportamos sus efectos, ya que nos calientan o nos “achicharran” según el grado de intensidad. Su longitud de onda oscila entre 780 y 2.500 nm.

La unidad que mide la longitud de onda es el nanómetro, (nm). $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ mm}$.

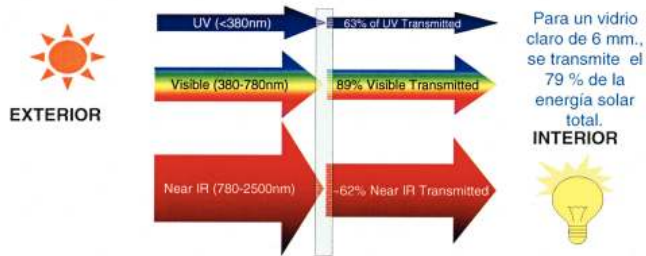


Cuando la energía solar incide sobre un vidrio que separa dos ambientes, uno exterior y otro interior, se producen tres hechos. Una parte de la energía pasa a través del vidrio y se transmite al interior, otra es absorbida por la masa del vidrio, que se calienta reirradiando parte de la energía ganada hacia el interior y el exterior y, por último, parte de ella es reflejada al exterior.

En los esquemas que se presentan a continuación se indica el comportamiento de un vidrio “float” claro, de 6 mm de espesor, y los porcentajes de transmisión, absorción y reflexión que se producen para cada una de las radiaciones solares. Es decir, lo que se produce en el ultravioleta, en el visible e infrarrojo, consideradas cada una de ellas de forma global (el problema lo podemos complicar cuanto queramos, ya que para cada una de las diferentes longitudes de onda que, por ejemplo, conforman el visible, se obtienen unos valores diferentes).

TRANSMISIÓN DE ENERGIA SOLAR

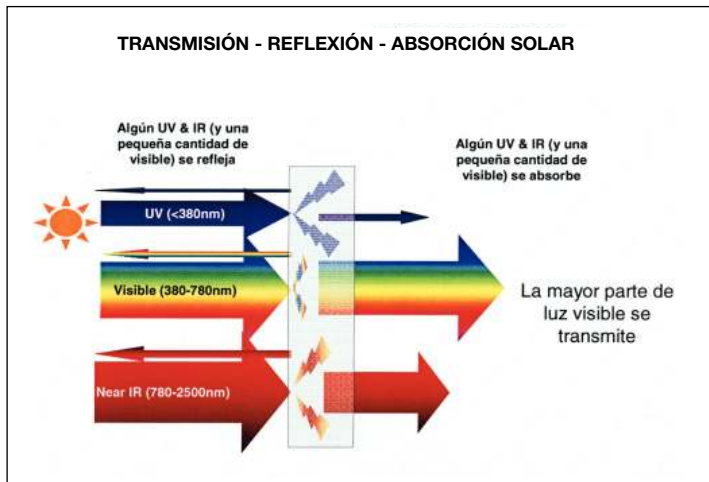
- El porcentaje de energía ultravioleta, visible e infrarroja del espectro solar que se transmite a través del vidrio.



REFLEXIÓN ENERGIA SOLAR

- El porcentaje de energía ultravioleta, visible e infrarroja del espectro solar que se refleja de las superficies del vidrio.





A partir de esta base, todo el juego ha consistido en variar estos valores implicando, para ello, a las nuevas tecnologías, como la deposición catódica en hornos de alto vacío, en donde logramos ordenar, sobre la superficie del vidrio, capas sucesivas de metales como estaño, plata, cobre, oro, ... de micras de espesor³. La secuencia de las capas y su material define que el vidrio sea un reflejante solar, un bajo emisor, Low-E⁴ y su color⁵.

La superficie del vidrio así modificada aumenta en los reflejantes su capacidad de reflexión, logrando que entre menos energía al interior de la construcción (por lo tanto menos calor), con lo que se reduce el efecto invernadero de los espacios acristalados y se aminora, de paso, las necesidades de refrigeración para hacerlos habitables. Los bajos emisivos, en parte opacos al calor de calefacciones domésticas, evitan las transferencias de calor a través de los vidrios de los cerramientos evitando pérdidas térmicas y proporcionando ahorro energético.

En una primera aproximación, los bajos emisivos son idóneos para las regiones frías y los reflejantes para las zonas con fuerte radiación solar. En Alemania e Inglaterra existe obligatoriedad de colocar bajos emisivos en los cerramientos y, con el nuevo CTE, también lo es en varias regiones de España.

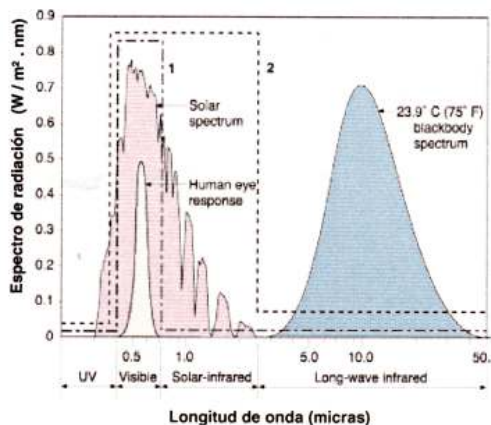
3. 1 micra = 0,000001 mm.

4. La emisividad mide la cantidad de calor que ceden las caras de un vidrio por radiación a un entorno más frío.

La emisividad de un vidrio monolítico normal es de 0,89. Los bajos emisivos (Low-E) <math><0,10</math>. Esta baja emisividad permite reducir los intercambios térmicos y así mejorar el valor "U".

5. Para los L-E se emplean capas de plata porque tiene un color neutro y absorbe el espectro visible de forma uniforme, mientras que el oro y el cobre lo absorben selectivamente. El resultado es un color intenso no indicado para acristalamientos en comercios y residencias. Es un metal muy conductor y para un espesor de capa determinada tiene la mayor transmisión y la menor emisividad.

LA CAPA LOW-E IDEAL



Recuadro 1: transmisión ideal de una capa Low-E diseñada para una ganancia baja de calor solar. Recuadro 2: transmisión ideal para una ganancia alta de calor solar. Diferencia entre ambas: en la 1 el IR solar se refleja al exterior y en la 2, al interior. En ambas, el visible se transmite al interior del edificio y el infrarrojo de onda larga emitido por las calefacciones se refleja hacia el interior del edificio. Los vidrios de tipo 1 son útiles para la mayoría de los climas y los del tipo 2 para los edificios residenciales de climas fríos. La unidad de la longitud de onda de estos recuadros está expresada en micras.

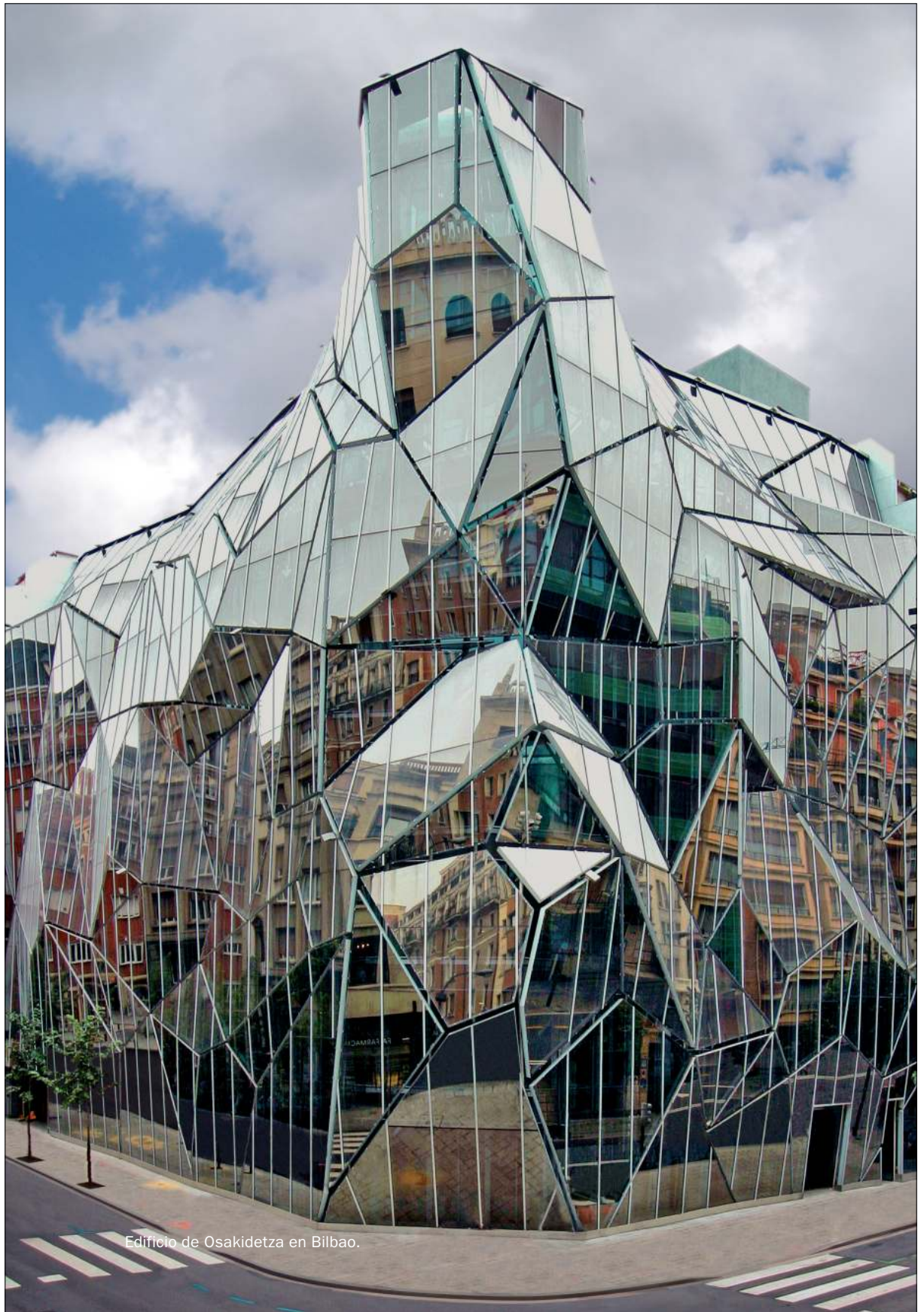
Los muros-cortina o las “dobles pieles” de los edificios lucen vidrios reflejantes de tonalidades que van desde el neutro (sin color y valores de transmisión luminosa muy altos), hasta los verdes, azules, rojizos... Estos vidrios nunca van montados solos en la estructura, sino formando doubles acristalamientos y/o, laminados, tanto para proteger las capas metálicas que quedarán al interior como para mejorar las prestaciones energéticas, de seguridad y de atenuación acústica.

Esta nueva generación de materiales se está imponiendo en la construcción, en todo tipo de construcción, porque son mucho más que vidrio; son decoración urbana, luz natural, ahorro energético, confort e integración de las personas con el medio.

Los fabricantes importantes de vidrio base han desarrollado sus propios vidrios de capas. La gama de los que fabrica Guardian son las conocidas con los nombres comerciales Sunguard, reflejantes solares y Climaguard, bajos emisivos. En Bilbao podemos apreciar varias aplicaciones en edificios como el de Osakidetza de la calle Alameda de Urkijo.

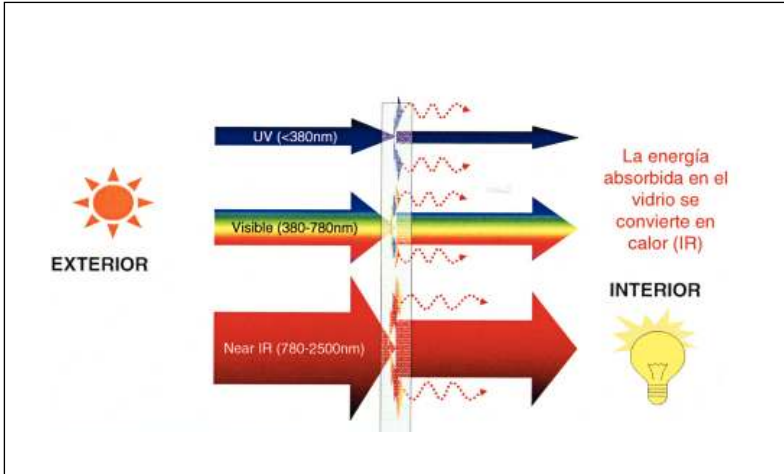
Técnicamente, un vidrio se define frente a la energía solar con multitud de parámetros, pero los más importantes son:

- Transmisión térmica, “U”, ya definido



Edificio de Osakidetza en Bilbao.

- Transmisión luminosa, TL, que nos indica en % el mayor o menor grado de transparencia
- Factor solar G



El valor G incluye la energía solar transmitida al interior y la radiación solar absorbida, una parte de la cual se vuelve a transmitir al interior por conducción, convección y radiación.

Estos parámetros permiten diseñar las condiciones de iluminación, refrigeración y calefacción de los edificios a partir de su orientación y situación geográfica.

También la arena de sílice, materia prima base para la fabricación del vidrio, condiciona el producto, ya que contiene hierro y este metal confiere al producto una tonalidad verde que se hace patente cuando se observa el canto, o cuando se mira frontalmente a una serie de láminas apiladas unas sobre otras. Si bajamos el porcentaje de hierro obtenemos el vidrio ultra-blanco, extraclaro, y el canto presenta una tonalidad blanquecina.

Este tipo de vidrio, el extraclaro, está adquiriendo una importancia capital en la fabricación de las cubiertas de los paneles fotovoltaicos, captadores solares de alto rendimiento, porque si la transmisión de un vidrio normal es del orden del 89% este tipo de vidrio permite el paso de más del 91% de la energía recibida del sol. Estos valores aún se pueden mejorar con tratamientos superficiales del vidrio, alcanzando transmisiones próximas al 95%.

Del mismo modo, si aumentando el porcentaje de hierro obtenemos un vidrio verde, si añadimos otros metales conseguimos colores rosa, azul, bronce, gris... cada uno con sus características luminosas y energéticas propias. No son vidrios pintados, porque el color es homogéneo a toda la masa.

Con los vidrios claros y reflejantes se realizan todo tipo de productos. Algunos de ellos son descritos a continuación, con sus características y procesos correspondientes.

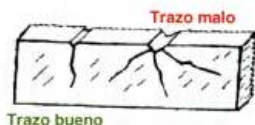
7. VIDRIO TEMPLADO

Antes de realizar cualquier transformación en el vidrio, es necesario cortar las hojas que salen del horno "float". Por lo tanto, la primera transformación es el corte, ya que los vidrios descritos hasta ahora poseen unas dimensiones enormes. Los denominados "yumbos" son 6x3,21 m y los llamados "estándar" son hojas de 3,21 m de largo por diferentes altos, y aunque existen instalaciones que son capaces de templar o de fabricar dobles acristalamientos con "yumbos", su empleo en la construcción, hoy por hoy, se reduce a fachadas muy singulares.

El corte se realiza por medio de una ruleta de material especial a la que hacemos rodar y desplazarse bajo presión de modo perpendicular a la superficie del vidrio. El trazado fisura la superficie y si está bien hecho, la siguiente operación (tronzado), realizada sobre el eje del trazo, separa la pieza cortada del resto de la hoja. El corte se puede realizar a mano o de forma automática.



Corte de vidrio manual y automático.



Trazo correcto-incorrecto del vidrio.

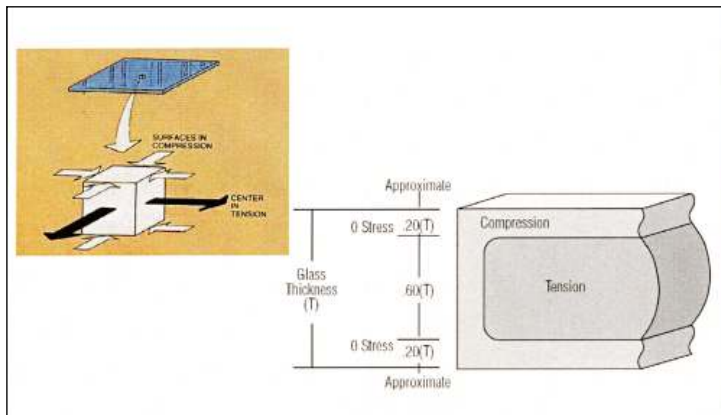
Pero el vidrio que sale del horno float recocido es frágil, y cuando se rompe corta. La primera necesidad que hubo de vidrios más resistentes se hizo patente con el desarrollo del automóvil. Los vidrios normales que conformaban los primeros parabrisas se convertían en cuchillos mortales con cualquier impacto y los inventos a base de materias plásticas se volvían amarillos, casi opacos, y se llenaban de rayas. Como solución se optó por poner, al conductor y pasajero, unas gafas como las de los pilotos de la incipiente aviación, una solución que no tenía nada de operativa. El material que iba a solucionar el problema durante décadas fue el vidrio templado.

El proceso de templado es similar al de cualquier acero: calentamiento del material y enfriamiento rápido.

En el vidrio, la temperatura que se debe alcanzar en el calentamiento oscila entre los 630/670 °C en hornos eléctricos o de gas; alcanzada esa temperatura, un enfriado rápido, por soplado de aire a presión sobre las superficies, completa el proceso.

El enfriamiento rápido hace que las superficies del vidrio se enfríen antes que el centro, por lo cual, las superficies se contraen con respecto a la zona central, incorporando a la superficie tensiones de compresión, estas tensiones hacen que, para romperlo a flexión, primero sea necesario llegar a compensar las de compresión para luego seguirlo solicitando hasta que estalle^{6, 7}.

La distribución de tensiones en el espesor del vidrio es la siguiente:



Reparto de tensiones en el vidrio templado.

Este tipo de vidrio tiene la misma resistencia química y dureza que uno recocido. Su compresión superficial es superior a los 740 Kg/cm² y, al romperse, se desintegra en pequeños trozos que reducen el riesgo de cortes y “pinchamientos”.

La calidad del templado se verifica con un test de rotura. Los vidrios templados soportan diferencias de temperatura entre puntos próximos de 100° C⁸.

La utilización del templado se materializa en puertas, particiones, mamparas de baño, en los laterales de los vehículos, tapas de mesa, etc., habiendo dejado de emplearse en lo que constituyó, quizás, su primer desarrollo, los parabrisas, ya que su posible rotura en pequeños trozos se proyectaban hacia el interior del habitáculo provocando graves lesiones. Más de un conductor ha

6. La presión de soplado responde a una curva logarítmica: un vidrio de 3,2 mm de espesor requiere 3.000 mm de columna de agua y uno de 19 mm se temple prácticamente dejándolo al ambiente.

7. La resistencia a flexión de un vidrio templado es cuatro veces superior a la de un recocido.

8. Los reflejantes de alta absorción energética, los de colores en masa verdes, grises, bronce, necesitan ser templados en aquellas instalaciones, que por su situación frente a la radiación solar, se prevean diferencias de temperatura superiores a los 40° C entre puntos próximos.

quedado ciego por este hecho y, ciertamente, cuando se nos ha roto un vidrio de esta clase hemos estado recogiendo trocitos durante años.

Para su comercialización, en los templados con destino arquitectural, es perceptivo el marcado CE; no así en los laterales de automóvil, que se rigen por otra normativa.

El marcado CE no es una marca de calidad, simplemente indica que su fabricación se realiza conforme a la directriz europea correspondiente, existiendo por parte del fabricante un compromiso de buena práctica. En el caso de los templados, como elemento de seguridad, el fabricante se obliga a llevar un control de producción en la fábrica y realizar comprobaciones y registros del proceso y del producto, que pueden ser auditados, si así lo estima oportuno la Administración.

Para comprobar si un vidrio está templado, el test que se utiliza consiste en romper una probeta en cada lote de fabricación para contar el número de granos, (trocitos en que se ha desintegrado el vidrio roto), contenidos en una retícula de 50 mm de lado (cada espesor de vidrio, al romper, debe producir un número determinado de granos). Es un método destructivo, "hay que romper para saber", por lo que el producto se verifica en base a muestreos, sobre probetas, cuando se cambia algún parámetro importante de la fabricación y, sobre todo, llevando el proceso controlado con verificaciones continuas de que la máquina reproduce fielmente las pautas marcadas.

Existen métodos de control del producto no destructivos, como los basados en el polariscopio, que miden las tensiones incorporadas al vidrio, pero son equipos muy costosos.

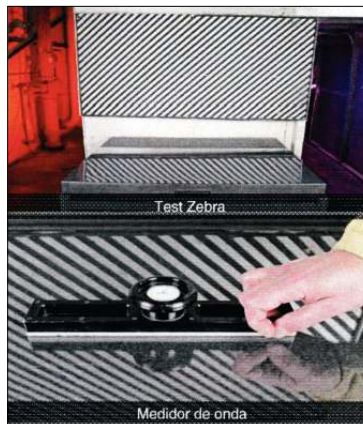
Debido a que para templar el vidrio lo hemos reblandecido, conducido por un camino de rodillos y soplado con aire a presión, éste ha quedado deformado, ondulado, afectando a su óptica. Esta deformación es especialmente visible a reflexión, (vidrios templados colocados en fachadas en donde apreciamos las imágenes de su entorno deformadas), y se cuantifica empleando un "test" (zebra), o por un medidor de onda.

Por su buen comportamiento mecánico, los templados se suelen utilizar como elementos resistentes en acristalamientos que soportan cargas especiales, como en peldaños de escaleras, cubiertas o marquesinas en zonas de fuertes nevadas y paramentos expuestos a condiciones de viento muy duras. En estos casos, además de un estudio que contemple no sólo la estética, sino la viabilidad, la combinación ideal es un laminado (dos o más vidrios unidos con plástico), en donde por lo menos uno de los vidrios es un templado⁹.

9. A igualdad de espesor, el vidrio templado resiste mecánicamente un 20% más que un vidrio recocido y, para casos extremos, existe un plástico intercalario, desarrollado por Dupont, que confiere al conjunto una resistencia más de cinco veces superior a igualdad de espesor. El suelo de la plataforma suspendida sobre el Cañón del Colorado, no apta para cardíacos, está realizado con ese material.

En la pasarela del puente de Calatrava (Zubi-Zuri), situada en el bilbaíno paseo de Abandoibarra, el tablero inicial estaba compuesto por un vidrio laminado formado por otros dos normales de 10 m.m. de espesor y un templado de 6 mm mateado a la arena. Entre los vidrios se introdujo pvb de 0,76 mm de espesor¹⁰.

Desde el punto de vista estético, puede que esta elección fuera acertada, pero desde el funcional no parece que lo fue. El vidrio templado golpeado con una punta de acero estalla, y la erosión provocada con el mateado a la arena queda anulada con el agua. Por ello, las caídas de los peatones y las roturas provocadas por los vándalos urbanos son una constante¹¹.



Test zebra y medidor de onda.

8. VIDRIO LAMINADO PLANO Y CURVO

El otro producto, ya un clásico de la seguridad en vidrio, es el laminado. Básicamente, su formato son dos o más vidrios unidos por uno o más plásticos (butiral de polivinilo, pvb), mediante presión y temperatura. El pvb puede ser claro o tener coloración¹².

En las fábricas se laminan las hojas obtenidas en el “float”, yumbos incluidos, en instalaciones horizontales (antiguamente manuales y hoy totalmente automatizadas), quedando reducido el trabajo operativo a la supervisión y al control. Se trata de un proceso discontinuo.

En la primera parte se comienza lavando el vidrio de forma rigurosa, con agua desmineralizada, para, a continuación, proceder a colocar el plástico entre los vidrios, recortando el sobrante. Este ensamblado se realiza en una sala acondicionada en cuanto a temperatura y humedad, ambas relativamente

10. El mateado a la arena consiste en una abrasión de la superficie del vidrio para conseguir convertirla en rugosa. El objetivo de esta operación era reducir el coeficiente de resbalabilidad del vidrio.

11. Hoy día se ha desarrollado un vidrio antideslizante mediante la técnica de esparcir e incorporar a la superficie partículas de vidrio por el método “fussing”. La superficie presenta una textura muy rugosa y un aceptable coeficiente de resbalabilidad.

12. El desarrollo del butiral de polivinilo ha determinado también la evolución de los laminados. Solamente cuatro empresas, todas de primera magnitud en el sector químico, fabrican la pasta base: Monsanto, Dupont, Sekuisi y Troisdorf. Todas ellas han desarrollado pvb's que mejoran todavía más las propiedades de atenuación acústica de los laminados o su resistencia mecánica.

bajas (19 °C y 30% HR), porque el plástico se hace inmanejable con el calor y, si absorbe humedad, no se adhiere correctamente al vidrio.

Por razones obvias, las condiciones de limpieza de la instalación deben ser extremas, puesto que cualquier suciedad alojada entre los vidrios invalida el producto.



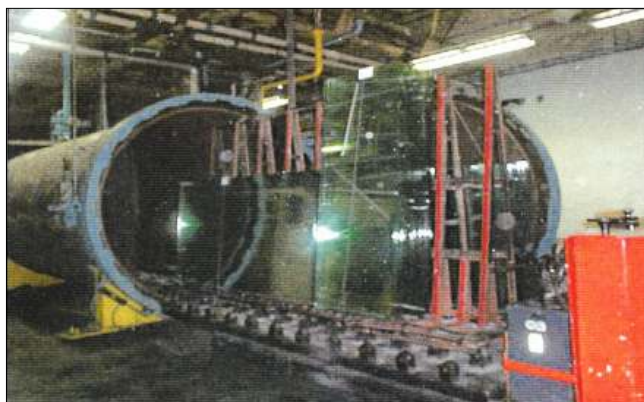
Ensamblado y recorte manual del pvb.



Tras el ensamblado, el bloque vidrio-pvb se pasa por un horno, calentando el conjunto vidrio-plástico en el entorno de los 60 °C para, a continuación, ser calandrado; es decir, pasado entre rodillos de goma sometidos a presión. Con esta operación lo que se pretende es sacar el aire que haya podido quedar entre el plástico y el vidrio, sellar los bordes, e iniciar la adherencia y transformación del pvb. El producto, semielaborado de la forma descrita, se coloca en carros y se introducen en una autoclave.

Con el ciclo de autoclave el plástico cambia de estado. Se vuelve transparente (o vira a su tono definitivo, verde, azul, gris...), adquiere las mismas propiedades ópticas que un vidrio y queda adherido a él. Técnicamente, el proceso consiste en un calentamiento hasta los 130 °C y subida de presión a 13 bares, mantenimiento de estos valores durante un tiempo y un enfriamiento, controlado, hasta los 40 °C, con bajada de presión hasta la atmosférica una vez alcanzada esa temperatura.

Los tiempos de los diferentes eventos son variables en función de la masa de vidrio que estemos tratando y del equipo; es decir, de la capacidad de los compresores y de los sistemas de calentamiento y enfriamiento disponibles. Una hornada de autoclave oscila entre las dos y las seis horas.



Salida de autoclave.

En los parabrisas, su fabricación se desarrolla con un proceso similar. También se trata de vidrio unido a otro vidrio con pvb, pero tanto su secuencia, que es más discontinua, como por su forma (no plana), implican cambios en la maquinaria y en los utillajes.

Todo comienza con la fabricación del vidrio “float” en bandas de bajo espesor, (2.2 mm) y ajustadas, en su tamaño, a la gama de parabrisas que se van a obtener de ellas para optimizar el rendimiento. Sobre estas bandas se trazan y destacan los dos vidrios, caras A y B, que componen el parabrisas. Una cara es ligeramente mayor que la otra para que, al curvar los vidrios, “casen” correctamente en dimensión.

Una vez cortados y lavados, los dos vidrios que componen el parabrisas se juntan y no se separarán hasta el momento de colocar el plástico entre ellos. Hasta esta parte del proceso se ha serigrafiado la banda de pintura negra, que generalmente llevan en todo su perímetro para, a continuación, curvarlos en hornos eléctricos continuos.

El curvado se realiza generalmente por gravedad. Los vidrios, cortados y colocados uno sobre otro, se posicionan planos sobre un molde y, cuando se alcanza la temperatura de reblandecimiento, 630/650 °C, caen, adaptándose a la forma de aquél. El enfriamiento es lento, con el fin de no acumular tensiones similares a las producidas en el templado.

A los vidrios curvados se les comprueba su geometría y, tras la incorporación del pvb, pasan por hornos de calentamiento y por las prensas (son de geometría variable, para copiar la forma del parabrisas y no machacarlo).

La función del calentamiento y prensado es la misma que en el laminado plano: conseguir desairear y lograr el primer cambio de estado y adherencia del plástico al vidrio. El tratamiento de autoclave, similar al descrito en el laminado plano arquitectural, y la inspección y embalaje final, completan el proceso.

El pvb de los parabrisas es más elástico que el empleado en el laminado plano arquitectural, tiene un espesor de 0,76 mm y sus fabricantes son los mismos que los indicados anteriormente. Se sirve en bobinas de diferentes anchos y 500 m de desarrollo y la banda que pueden llevar, de color difuminado, ya está incorporada a este material.

En este sentido, la capacidad de producción de la fábrica de Llodio es muy importante, puesto que se supera ampliamente el millón y medio anual, pero ni ésto ni la tecnología empleada, de última generación y muy robotizada, es lo definitivo. Lo verdaderamente importante es la agilidad en los cambios de fabricación y la versatilidad, entendida como la capacidad de fabricar y expedir, diariamente, muchos modelos diferentes en cajas de 25 ó 50 elementos.

Esta forma de trabajar exige una enorme disciplina, programas rigurosos, trazabilidad y fiabilidad para conocer el cuándo, con qué, cómo y por quién de lo fabricado, así como operar en tiempo real con los stocks finales e intermedios. Los controles de calidad son rigurosos, siendo perceptivos sistemas AMFE, estadísticos y ensayos.

Los ensayos que se realizan a los laminados, arquitecturales o parabrisas, tienen como finalidad comprobar la adherencia del pvb al vidrio y su permanencia en el tiempo. Son destructivos y, por ello, se realizan sobre probetas que definen lotes de fabricación. Sin embargo, lo que realmente indica la calidad es el control del proceso y las verificaciones de sus parámetros con técnicas estadísticas. Además, como vidrios de seguridad que son, deben superar las homologaciones correspondientes en los parabrisas y mercado CE en los arquitecturales, acreditando, frente auditorías externas, las documentaciones de control y gestión pertinentes.

La característica principal que define a estos vidrios de seguridad es que no se desmoronan cuando se rompen. Los parabrisas se fisuran, pero sin generar peligro a los ocupantes, porque la protección continúa y permite una reposición aplazada.

En los cerramientos, podemos acrecentar esta seguridad frente a la rotura en base a diversas composiciones de vidrios y plásticos. Obtenemos así los vidrios resistentes al vandalismo, a las balas, o a las explosiones.

Las normas que deben cumplir los diferentes tipos de vidrio laminados de seguridad, son las siguientes:

- Reglamento 43 para los parabrisas.
- EN 12543 para el vidrio laminado de seguridad.
- EN 12600. Ensayo pendular.
- EN 356. Ensayo y clasificación de resistencia de los vidrios al ataque manual.
- EN 1063. Ensayo y clasificación de resistencia de los vidrios al ataque por balas.

Para realizar una adecuada elección, y por lo tanto protección, es necesario definir la categoría del problema que se puede presentar.

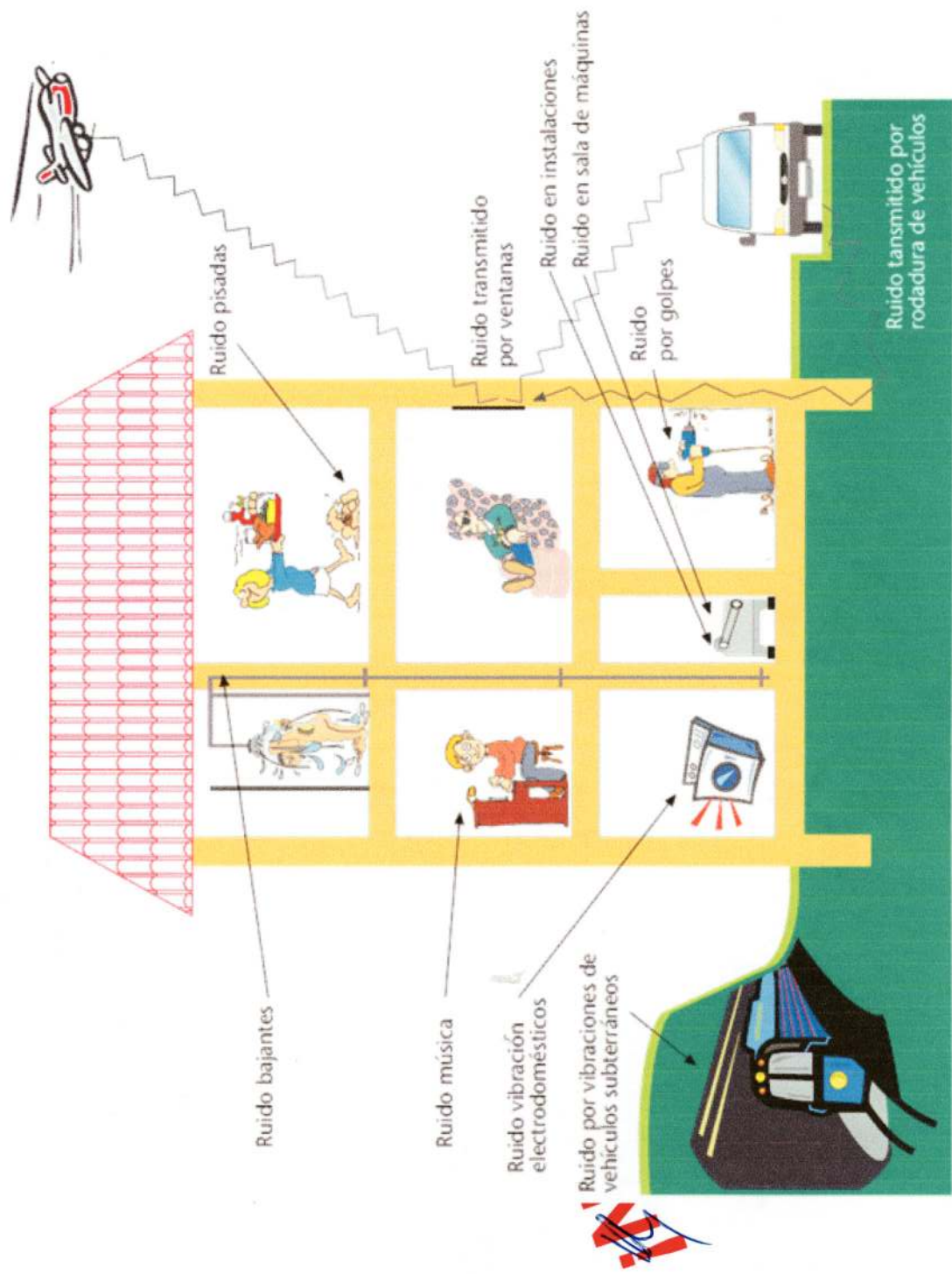
Además de la seguridad, los laminados presentan, por las características del pvb, otras claras prestaciones.

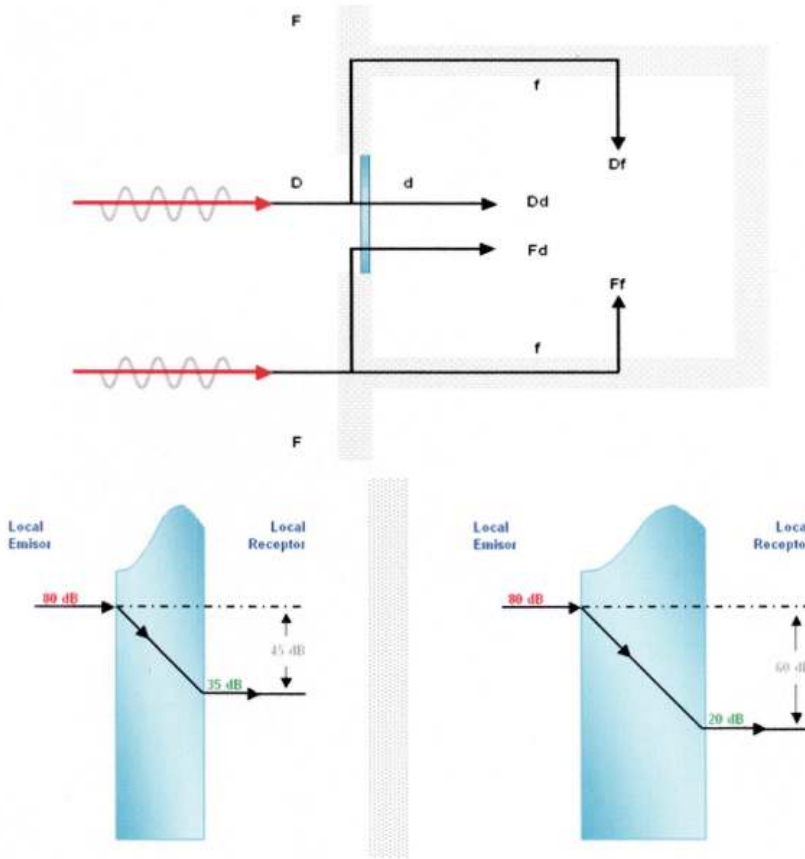
- Atenuación acústica frente al ruido urbano en general, al de los aviones y al del tráfico rodado. Esta característica tiene una importancia capital medida en unidades de confort y habitabilidad de los edificios.
- Filtro de la radiación ultravioleta solar. El pvb más básico, de 0,38 mm de espesor, reduce el 98% de la radiación.
- Posibilidad de emplear pvb de color.

9. PRESTACIONES ACÚSTICAS DE LOS LAMINADOS

El sonido se define como la sensación producida en el oído por una onda a través de un medio elástico (sólido, líquido o gas) y el ruido es un sonido no deseado, molesto.

El sonido se define por su intensidad, que es la cantidad de energía, (volumen), y por la frecuencia, (tono), que es el número de ciclos por segundo. Nos llega hasta el tímpano por transmisión, por la vibración de las moléculas de los materiales existentes entre la fuente emisora del sonido y el oído. Este sonido puede ser atenuado al “transitar” por algunos materiales, que le hacen perder potencia. En los esquemas se aprecia la llegada y transmisión al interior de un sonido exterior y la atenuación que podemos conseguir empleando dos tipos de vidrio diferentes.





Pérdida de potencia al transitar el sonido.

La unidad que mide el sonido es el decibelio, una unidad comparativa. Su escala no es lineal, es logarítmica, de modo que si aumentamos la intensidad de un ruido al doble, el número de decibelios que lo mide aumenta en 3. Esto quiere decir que la suma de dos ruidos de 30 dB cada uno no son 60 dB, sino 33. En el cuadro siguiente se relaciona la cifra de decibelios con el lugar o la situación en que suelen producirse, desde aquellos que nos causan dolor hasta los imperceptibles.

Nivel de intensidad del sonido

140 dB	Umbral del dolor
130 dB	Avión despegando
120 dB	Motor de avión en marcha
110 dB	Grupo de rock
100 dB	Perforadora eléctrica
90 dB	Tráfico
80 dB	Tren
70 dB	Aspiradora
50/60 dB	Aglomeración de Gente
40 dB	Conversación
20 dB	Biblioteca
10 dB	Ruido del campo
0 dB	Umbral de la audición

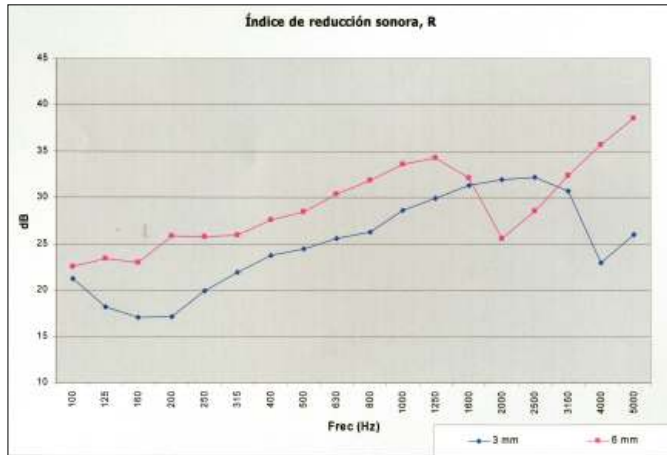
En la tabla que se incluye a continuación se indica el aislamiento acústico a ruido aéreo que se debe establecer entre un recinto protegido y el exterior según el Código Técnico de la Edificación vigente.

Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, L_d .

L_d dBA	Uso del edificio			
	Residencial y sanitario		Cultural, docente, administrativo y religioso	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

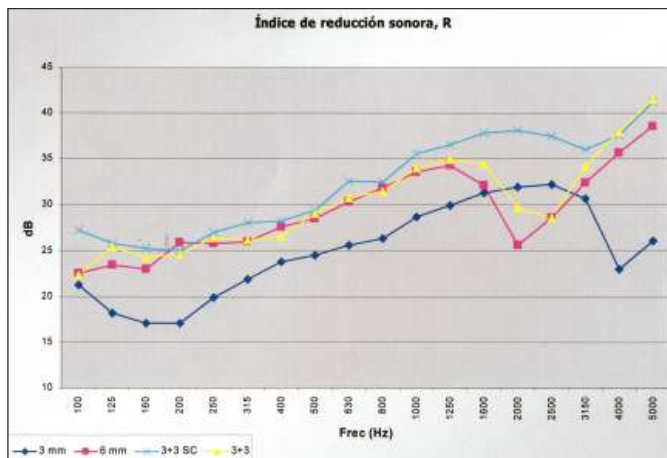
Así, por ejemplo, para un nivel sonoro continuo exterior ($L_{d,e}$) mayor de 75 (dB A) se establece que todos los cerramientos tienen que proporcionar una atenuación acústica mínima de 47 (dB A) en dormitorios y 42 en estancias.

En los vidrios monolíticos las atenuaciones mejoran con el espesor (más masa), como se puede apreciar en la comparativa entre un vidrio de 3 y otro de 6 mm para diferentes frecuencias.



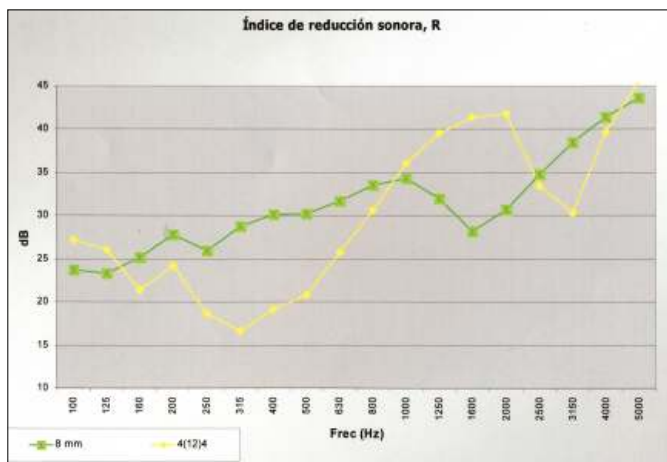
En los vidrios laminados la atenuación va ligada al espesor total, que es la suma de los vidrios que lo componen, mejorada por las capas de plástico (pvb). Estas prestaciones se incrementan si el pvb empleado es el “especial acústico”.

En el gráfico que se adjunta se aprecia la comparativa de las atenuaciones entre un monolítico de 3 mm de espesor, otro de 6, un laminado acústico formado por dos vidrios de 3 mm con intercalario especial (pvb SC), y un laminado normal formado por dos vidrios de 3 mm.



Los dobles acristalamientos que veremos a continuación, están formados por dos vidrios con una cámara de aire en el medio. Su comportamiento frente al ruido es similar (en el caso de que los dos vidrios sean de igual espesor) al que se obtendría con un solo vidrio, y muy inferior a un vidrio monolítico de espesor equivalente a la suma de ambos.

En la siguiente representación observamos las curvas de atenuación correspondientes a: un vidrio monolítico de 8 mm y un doble acristalamiento compuesto por dos vidrios de 4 mm y una cámara de aire de 12 mm.



En lo referente a atenuación acústica, afortunadamente disponemos de respuestas para cada necesidad que se plantee. En los valores que se indican a continuación vemos las grandes capacidades de atenuación que se pueden conseguir y cómo es posible bajar la intensidad sonora de forma drástica. Hay que tener en cuenta que cada 3 db de atenuación bajamos la intensidad del ruido a la mitad.

Pero evitar el ruido molesto, a pesar de los excelentes materiales, es complicado. El ruido penetra a través de un pequeño fallo constructivo, estableciendo “puentes acústicos”. Un defecto inferior a un 0,1% de la superficie del cerramiento disminuye la atenuación que dan los materiales en 10 dB. Por ello, un deficiente acabado puede “destrozar” todo el trabajo.

Un cerramiento está formado por la carpintería y el vidrio, y es el conjunto el que debe aportar las prestaciones adecuadas. Cuando la perfilaría es metálica debe incorporar rotura de puente térmico y los vidrios tienen que ir apoyados, en los galces, sobre material elástico. Además, es imprescindible un correcto sellado del vidrio.

La perfilaría simple de aluminio y las cajas de las persianas son un problema, tanto desde el punto de vista de las pérdidas térmicas, como por su baja atenuación acústica.

COMPOSICIÓN		Rw	C	Ctr
monolítico	3	28	-2	-4
	4	29	-1	-2
	6	31	-1	-2
	10	34	0	-2
laminado	33	31	0	-1
	44	34	1	-1
	66	37	1	-2
laminado acustico	33SC	34	0	-2
	44SC	37	0	-3
	66SC	40	0	-2
mono - mono	4/12/6	34	0	-4
	5/12/5	31	0	-4
	6/12/8	35	0	-3
mono - lami	5/12/33	36	0	-5
	5/12/44	36	0	-4
	10/12/66	39	0	-3
mono - lami acustico	6/12/44SC	39	0	-5
	6/12/66SC	41	0	-3
lami acustico - lami acustico	44SC/12/66SC	49	0	-5

El monolítico de 3 mm espesor atenúa 28 dB Rw(-2, -4). El laminado 33 indica un laminado compuesto por dos vidrios de 3 mm unidos con un pvb normal de 0,38 mm de espesor. El laminado 33SC está compuesto por dos vidrios de 3 mm unidos con pvb acústico. El mono-mono 4/12/6 es un doble acristalamiento de cámara de 12 encerrada entre un vidrio de espesor 4 y otro de 6. El mono-lami 5/12/33 también es un doble acristalamiento de cámara 12 mm, pero encerrada entre un monolítico de 5 mm y un laminado normal formado por dos vidrios de 3 mm. El mono-lami acústico es similar al anterior, salvo que uno de los vidrios es un laminado con pvb acústico. El lami acústico-lami acústico indica un doble acristalamiento en el que los dos vidrios son acústicos.

10. DOBLES ACRISTALAMIENTOS

Este tipo de acristalamiento fue el primero que modificó el concepto de cerramiento y supuso una revolución en el sector, al introducir parámetros de ahorro de energía y atenuación acústica. Los primeros desarrollos se produjeron en los países del norte de Europa y, poco a poco, comenzaron a sustituirse las dobles ventanas y las contraventanas por este nuevo producto.

En España, los dobles acristalamientos (actualmente unidades de vidrio aislante, UVAs) nacieron en los 60 y entre los primeros fabricantes figura Vidrierías de Llodio, con un método totalmente artesanal.

El sistema consistía en unir, con soldadura, una pletina de estaño de un centímetro de altura a dos vidrios a los que previamente se habían metalizado los bordes. La operación se terminaba cuando se perforaba la pletina separadora con dos agujeritos para introducir aire seco por uno de ellos, mientras que por el otro se iba sacando el aire ambiente encerrado entre los vidrios durante la fabricación.

Como consecuencia de lo lento y manual del método, no se fabricaban más de 30 vidrios al día; es decir, nada.

A primeros de los 70, Vidrierías de Llodio, montó una línea de UVAs de gran capacidad y el producto, que se denominó “Aislaglas”, fue haciéndose un hueco en el mercado no sin dificultades. Se experimentó con diversos materiales auxiliares, llegándose a tener un buen conocimiento de las características y prestaciones de las UVAs, realizándose a la vez ensayos de envejecimiento acelerado¹³ (1) para comprobar el comportamiento real del producto.

Se consiguió, colaborando con el Ministerio de Industria de entonces, los fabricantes de los componentes, y el otro fabricante importante de UVAs de la época, redactar pliegos de ensayos sistemáticos, con aplicación anual.

Se obtuvo para el Aislaglas el sello INCE, (Instituto Nacional de Calidad en la Edificación), lo que permitió avalarlo, con una garantía de diez años, contra todo defecto de fabricación y por necesidades de exportación, en concreto a Francia, se obtuvo el sello del CSTB.

En aquella época se fabricaban en Llodio unos 9.000 volúmenes al mes, lo que hoy puede realizar una instalación de tipo medio similar a cualquiera de las que están funcionando actualmente en el País Vasco.

De los 300.000 m² de UVAs que se podían instalar en toda España, a mediados de los 70, se ha pasado a cubrir una demanda de 18 millones de m² anuales en 2007, una cifra enorme ligada al crecimiento anormal de la construcción hasta ese año.

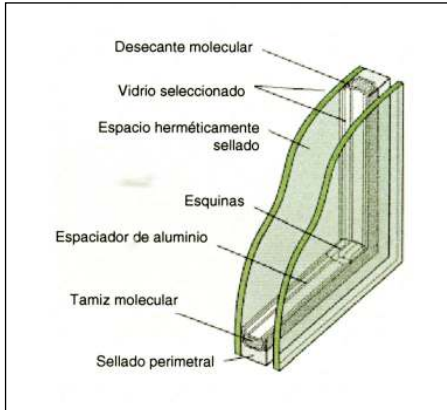
A finales de los años 70, todos los materiales auxiliares que en la actualidad conforman las UVAs ya están desarrollados.

La política comercial y de fabricación, tanto de la última etapa de Vidrierías de Llodio, como actualmente de Guardian, es servir los diferentes tipos de vidrio base y transformados complejos en grandes hojas, y no entrar en competencia con sus clientes en los transformados que se realizan en base a los primeros. Esta política ha permitido crecer a sus clientes en capacidad y técnica. Así, por ejemplo las UVAs dejaron de fabricarse en las instalaciones de Llodio, y la marca Aislaglas se cedió a los clientes con la única condición de mantener la calidad y el sello INCE. En la actualidad, una vez desaparecido el INCE, la obligación es obtener el marcado CE y la Certificación de Producto, realizado y auditado anualmente por un organismo independiente¹⁴.

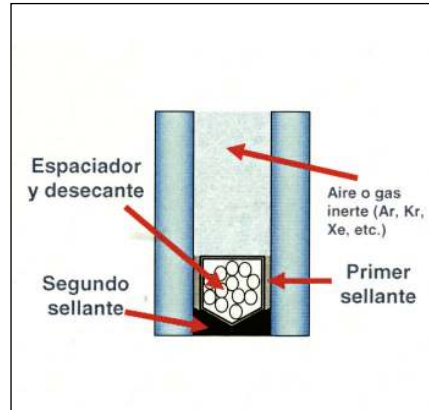
Además del vidrio, la UVA clásica se compone de:

13. Ciclos de semanas de duración en los que las probetas se sometían a variaciones de temperatura, en ambiente de humedad y radiación ultravioleta, y comprobar si se seguía manteniendo el punto de rocío en los -60°C.

14. En el caso del Aislaglas, el Organismo notificado es A+. Más de 120 fabricantes entre España y Portugal hacen que una de cada tres UVAs peninsulares lleve la marca nacida en Llodio.



Composición de la UVA



Composición de la UVA

- Un espaciador tubular de aluminio, ranurado hacia el interior del doble acristalamiento y que armará el cuadro. Este espaciador, (también se denomina perfil separador) va colocado en todo el perímetro del vidrio.
- Un desecante (zeolita molecular), introducido dentro del perfil separador. Se presenta en forma de “bolitas” y sus diámetros varían entre los 0,5/2 mm de diámetro en función de si el sistema de llenado del perfil es automático o manual. Su función es eliminar el vapor de agua, o los vapores generados por los disolventes, bajando el punto de rocío y evitando condensaciones en el interior de la UVA.
- Un sistema para hacer estanco el conjunto y darle rigidez, formado por dos sellantes perimetrales.
- El interior, butilo, que se aplica a ambos lados del perfil separador, es una barrera antivapor que impide, si está bien aplicado, la penetración de vapor de agua.
- El exterior, cuya función es mantener los vidrios en posición, puede ser un polisulfuro bicomponente, un poliuretano o una silicona estructural, esta última imprescindible en las fachadas, “todo vidrio”, por su resistencia a los UV solares.

El último desarrollo de este producto, en cuanto a materiales auxiliares, consiste en la integración en un solo elemento del perfil, del absorbente y del sellante.

El objetivo primordial que cumple este tipo de acristalamiento es el de reducir la transferencia de calor del interior al exterior, bajar el valor “U”, aumentando la eficiencia energética. Es por tanto un sistema imprescindible

tanto si pensamos en el ahorro energético como en las premisas que propician mitigar el cambio climático.

El espacio de cámara (separación entre vidrios) idóneo en un doble acristalamiento, desde el punto de vista térmico, son 16 mm. Uno mayor no aporta nada, e incluso perjudica, porque se crean corrientes de convección en el interior de la cámara que facilitan el intercambio de calor.

Otra forma de mejorar estos vidrios, tanto acústica como térmicamente, es sustituir el aire seco de la cámara por gases aislantes. Los más empleados son el argón y el hexafluoruro de azufre. Se mejora la atenuación acústica porque se cambia la velocidad de transmisión del sonido (refracta las ondas sonoras) y la térmica por la diferente conductividad térmica de los gases.

También se mejoran las prestaciones térmicas si en su composición interviene vidrios bajos emisivos, y las acústicas, si uno de los vidrios o los dos son laminados, que además dan mayor seguridad al acristalamiento.

11. VIDRIOS ESPECIALES PARA OTRAS APLICACIONES

El propio concepto de vidrio, “un elemento ideado para tapar agujeros sin que sea opaco” y, la aplicación de diversas capas metálicas sobre ellos, ha permitido fabricar vidrios especiales para las más variadas aplicaciones. En el mercado actual se pueden encontrar los siguientes:

- Resistentes al rayado. Aguantan cinco veces más que el vidrio normal a la abrasión, su empleo va desde los parabrisas de vehículos militares hasta ventanas de autobús o aplicaciones arquitecturales de interiores muy transitadas.
- Resistentes a la corrosión y a la decoloración. Se aplican en cierres de duchas, para evitar las manchas y pegotes, así como el daño mecánico de los limpiadores abrasivos.
- De bajo mantenimiento. La capa de dióxido de titanio depositada sobre ellos produce los siguientes efectos:

La capa reacciona con los rayos UV solares desintegrando la suciedad orgánica, de modo que, cuando el agua de lluvia incide sobre el vidrio arrastra la suciedad orgánica e inorgánica. Comparándolo con un vidrio convencional, el agua discurre rápidamente sin dejar huellas. No es un vidrio autolimpiable, como dicen los anuncios, porque necesita del agua.

- Vidrios resistentes al fuego. Protegen a las personas y a los bienes de los humos y del calor radiante durante un tiempo determinado.

En estos momentos, la investigación se encamina a conseguir vidrios que mejoren el aprovechamiento solar o que minimicen, aún más, las pérdidas de energía, como:

- Los que buscan lograr la máxima transmisión de la energía solar hacia el interior, de modo que la eficiencia de este elemento sea máxima en los captadores solares de cualquier tipo. (En la actualidad el rendimiento máximo de los captadores fotovoltaicos es del 13%).
- Los dobles acristalamientos L-E con vacío entre los vidrios. Se elimina, de esta forma, la transmisión de la energía por convección, quedando muy limitada la que se efectúa por conducción y minorizada la de radiación al emplear vidrios bajos emisivos. El valor "U" de este cerramiento será inferior a 0,4 W/m² K.
- Las ventanas inteligentes, que pueden cambiar sus prestaciones térmicas, de color, etc. en función del clima o del criterio de sus ocupantes.

Todos estos conceptos y novedades hacen que ahora, cuando por deformación profesional, supongo, me sorprende mirando al vidrio en lugar de hacerlo a través de él, y recuerdo los dibujos sobre el empañado, comprendo que ha terminado una época: los vidrios de las ventanas ya no se empañan por dentro, como tampoco se juega en mitad de la calle.

Sin embargo, la búsqueda de respuestas a los nuevos interrogantes es algo que seguirá motivando a las personas de este país, objetivando su trabajo, y haciéndolas sentirse orgullosas por lo realizado.

