

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ARQUITECTURA



ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL VIDRIO  
COMO PARTE ACTIVA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA.

TESINA QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE ARQUITECTA PRESENTA:

D E N I S S E M E R I N O T R E S S

SINODALES:

M. EN URB. ARQ. CHISEL NAYALLY CRUZ IBARRA

M. E. S. ARQ. MANUEL GUILLERMO HERNÁNDEZ CONTRERAS

ARQ. ENRIQUE GÁNDARA CABADA

CIUDAD DE MÉXICO, FEBRERO 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Agradecimientos

Gracias a mis padres por su apoyo incondicional. Por darme todas las herramientas para lograr mis sueños y por confiar siempre en mí. Sé que ustedes nos dieron absolutamente todo lo que estuvo en sus manos a mi hermana y a mí y hoy quiero dedicarles este documento, y lo que significa, como agradecimiento por todo su esfuerzo y amor.

Agradezco a mi madre por estar pendiente siempre de mí, sobre todo en los días y especialmente en las noches más retadoras de mi vida académica, para lo que yo necesitara.

Agradezco a mi padre por siempre estar dispuesto a cooperar para hacerme la vida más fácil en todo momento.

Agradezco a mi hermana por apoyarme siempre y alentarme. Saber que se siente orgullosa de mí, me impulsa continuamente a llegar más lejos.

¡Familia son mi motor!

Gracias a Dios porque sin Él nada es posible y porque Él lo es TODO.

Gracias al Arquitecto Enrique Gándara Cabada por darme el estímulo y la confianza para concluir este documento, valoro profundamente su apoyo y el interés que mostró en mi titulación y mi realización profesional, así como el acompañamiento que me brindó para poder llegar a la meta.

Para cerrar agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y a mi querida Facultad de Arquitectura... son parte de mí. Gracias a los profesores que me dieron todo el conocimiento y la destreza necesarios para llegar a donde me lo proponga. No tengo palabras que alcancen para agradecer a mi Alma Mater... ¡Soy orgullosamente UNAM!

# Índice

Introducción.

Prólogo.

|   |    |
|---|----|
| Capítulo 1 Consideraciones preliminares sobre el vidrio.....                      | 3  |
| Composición del vidrio.....   | 3  |
| Diferencia entre un vidrio y un cristal.....                                      | 3  |
| Color natural del vidrio.....   | 3  |
| Vidrio de color.....  | 4  |
| Vidrio flotado o recocido.....  | 4  |
| Esquema del proceso de fabricación del vidrio flotado o recocido.....             | 5  |
| <br>  |    |
| Capítulo 2 Conceptos básicos para la especificación del vidrio.....               | 6  |
| Vidrio laminado o inastillable.....   | 6  |
| Plástico intercalador.....  | 6  |
| P.V.B. Polivinil Butiral.....   | 6  |
| Vidrio templado.....  | 7  |
| Usos del vidrio templado.....   | 8  |
| Vidrio semitemplado o termoendurecido.....  | 8  |
| Comportamiento de cada tipo de vidrio al someterse a un impacto.....              | 9  |
| Vidrio de seguridad.....  | 9  |
| Requerimientos adicionales de seguridad - Norma mexicana NMX-R-060-SCFI-2013..... | 10 |
| Vidrio curvado.....   | 12 |
| Vidrio spandrel.....  | 12 |
| Doble acristalamiento.....  | 13 |
| Estrés térmico en el vidrio.....  | 14 |
| Cargas de viento sobre el vidrio.....   | 14 |

|  |    |
|--|----|
| Capítulo 3 El vidrio como aislante térmico.....  | 15 |
| Vidrio reflectivo.....   | 16 |
| Vidrio absorbente.....   | 16 |
| Vidrio de baja emisividad (low-e).....   | 17 |
| Vidrios fabricados por deposición pirolítica o por deposición al vacío.....  | 18 |
| Modo de adhesión de las capas de metales a los vidrios bajo emisivos.....  | 19 |
| Configuraciones comunes de los vidrios en fachadas.....  | 20 |
| Ubicación de la capa de baja emisividad en el ensamble.....  | 20 |
| Explicación gráfica del funcionamiento de un vidrio bajo emisivo.....  | 21 |
| <br>   |    |
| Capítulo 4 Valores técnicos fundamentales para la especificación de un vidrio de control solar o bajo emisivo..... | 22 |
| Transmisión de luz visible – VLT.....  | 22 |
| Reflectancia exterior.....   | 23 |
| Reflectancia interior.....   | 24 |
| Coefficiente de ganancia de calor solar – SHGC.....  | 25 |
| Valor U.....   | 26 |
| Ganancia lumínica solar - LSG.....   | 28 |
| Ejemplo 1: Explicación del significado de los valores de un vidrio bajo emisivo.....                               | 29 |
| Ejemplo 2: Especificación de un vidrio de control solar o bajo emisivo.....  | 30 |
| <br>   |    |
| Recomendaciones.....   | 31 |
| Reflexiones .....  | 32 |
| Glosario.....  | 35 |
| Fuentes de información.....  | 38 |
| Índice de imágenes.....  | 44 |

# Introducción

El presente documento contiene los conceptos más elementales que deben considerarse al momento de especificar un vidrio en una obra arquitectónica.

Estos conceptos deben ser considerados en cualquier tipo de edificación en la que haya vidrio en las fachadas desde residenciales hasta obras monumentales.

Sé explicará cómo se fabrica el vidrio arquitectónico en la actualidad, cuándo debe usarse un tipo de vidrio u otro y a qué procesos debe someterse un vidrio para mejorar su resistencia mecánica y térmica para ser considerado un vidrio de seguridad.

También será explicado cómo funcionan los vidrios de control solar, reflectivos, absorbentes y bajo emisivos (low-e) y la gran importancia de conocer el significado de cada uno de sus valores técnicos básicos para la contribución al ahorro energético de un edificio, así como la importancia de su correcta elección para la calidad de vida del usuario, para la obtención de ahorros económicos en energía y para hacer una contribución al cuidado ambiental del mundo en el que vivimos.

## Prólogo

La intención de generar este documento es compartir los criterios más básicos que todo arquitecto que proyecte una fachada con algún elemento de vidrio es ideal que posea, y provocar que el vidrio sea considerado un parte activa y muy importante de la envolvente arquitectónica.

Al finalizar el documento el lector será capaz de distinguir entre diferentes tipos de vidrio por sus características técnicas y sabrá las ventajas y consecuencias entre elegir uno u otro. Así podrá seleccionar entre los vidrios disponibles en el mercado el que le permita lograr la estética que busca en su proyecto y obtener la eficiencia energética y el confort para el usuario que desee conseguir.

También contará con el conocimiento general de los vidrios llamados de seguridad utilizados para proteger a las personas.

Cada concepto descrito a lo largo de este compendio estará basado en divulgaciones escritas de las asociaciones y empresas líderes del ramo y en documentos técnicos y normas que serán debidamente referidos en la sección de fuentes de información.

# Capítulo 1 Consideraciones preliminares sobre el vidrio

## Composición del vidrio

El vidrio se fabrica a partir de una mezcla de materias primas, que incluye aproximadamente 60% arena de sílice, 20% de sosa y sulfato, y 20% de piedra caliza y dolomita.

También se puede utilizar el propio vidrio claro de deshecho reciclado como una materia prima adicional. Este se integra en una proporción del 20% de la mezcla total.

## Diferencia entre un vidrio y un cristal

Aunque indistintamente llamamos cristal y vidrio a un mismo material existe una diferencia esencial entre ambos.

El cristal se encuentra en la naturaleza en diferentes formas – ej. Cuarzo, cristal de roca.

El vidrio es el resultado de la fusión de ciertos ingredientes – sílice, sosa y cal (Museo del Vidrio, 2009).



Imagen 1. Materias primas en la elaboración del vidrio

*Elaboración propia.*

## Color natural del vidrio.

El color natural del vidrio es incoloro. Sin embargo, como consecuencia de los altos contenidos de hierro que hay en los yacimientos de arena de sílice, el color que el vidrio normalmente adquiere es un verdoso. (Museo del Vidrio, 2009).

Buscando yacimientos con menores cantidades de hierro o sometiendo las materias primas a un proceso de blanqueamiento químico se puede disminuir o eliminar el color verdoso del vidrio.



Imagen 2. Vidrio flotado *Elaboración propia.*

## Vidrio de color

Para darle diferentes colores al vidrio se agregan durante el proceso de fabricación ciertos óxidos metálicos.

A continuación, se mencionan algunos de los colorantes y los colores obtenidos más comunes:

### Colorante - Color de vidrio

- Hierro - Verde, marrón, azul
- Cromo - Verde, amarillo, rosa
- Vanadio - Verde, azul, gris
- Cobre - Azul, verde, rojo
- Cobalto - Azul, verde, rosa
- Titanio - Púrpura, marrón
- Carbono y Azufre - Ámbar, marrón
- Selenio - Rosa, rojo

(Guardian Glass, Vidrio entintado, 2019)

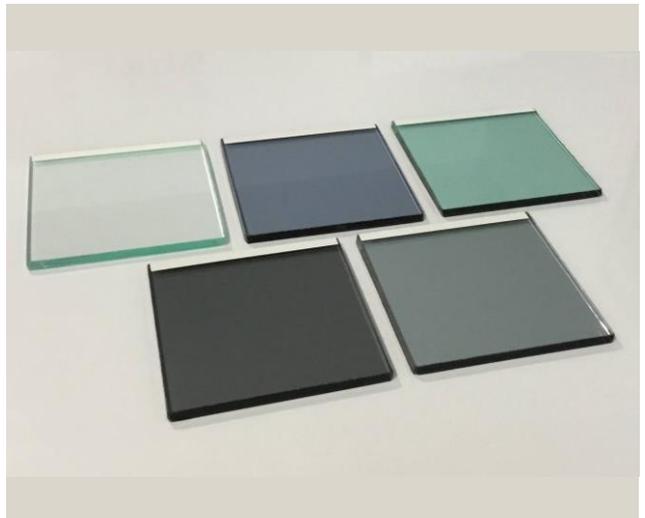


Imagen 3. Vidrios de colores.

*Elaboración propia.*

## Vidrio flotado o recocido

“Es aquel que se obtiene a través del proceso de fabricación mediante el cual una masa continua de vidrio, proveniente de los hornos de fusión, flota sobre la superficie de un metal fundido, por lo común estaño, a una temperatura cuidadosamente controlada. La superficie plana del metal fundido da al vidrio, a medida que se enfría, una superficie lisa sin deformaciones. Después de un enfriamiento suficiente, el vidrio se vuelve rígido y se puede manejar bajo rodillos, sin dañar el acabado superficial” (Norma Oficial Mexicana NOM-146-SCFI-2016).

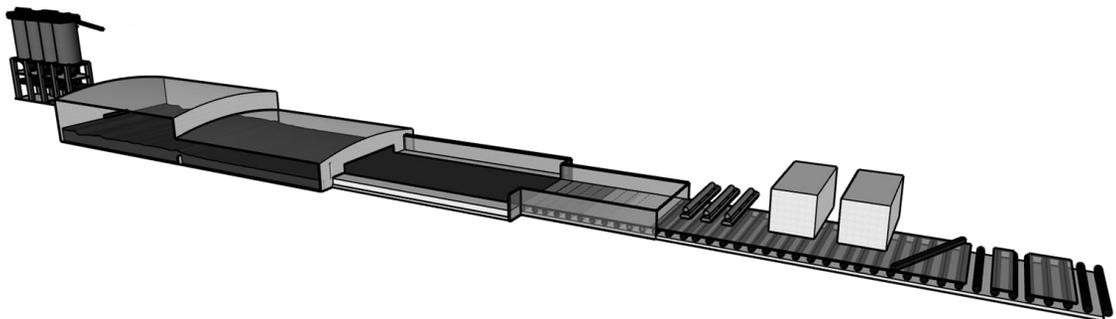


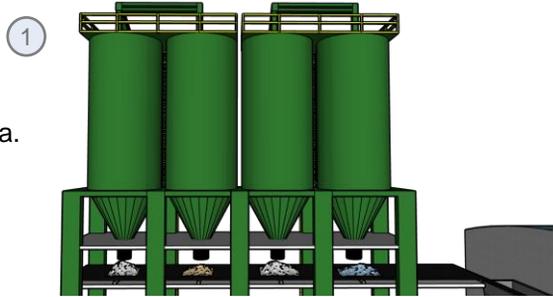
Imagen 4. Esquema de planta de fabricación del vidrio flotado o recocido

*Elaboración propia con base en video de Guardian Industries, How Glass Is Made 2017, YouTube, 2022.*

## Esquema del proceso de fabricación del vidrio flotado o recocido

**1.- Materias primas:**  
60% de arena de sílice  
20% de sosa y sulfato, y  
20% de piedra caliza y dolomita.

Se puede adicionar algún óxido metálico para provocar un color de vidrio específico.



Se puede adicionar el vidrio de desecho reciclado hasta que éste represente un 20% del total de la mezcla.

Imagen 5. Silos que contienen la materia prima.

*Bloque descargado de modelo de Sketch-Up, 2021.*

**2.-** Se alimenta al horno y se funde a aproximadamente 1600° C.

**3.-** El vidrio ya fundido se introduce en un recipiente de acondicionamiento para que pierda temperatura hasta llegar aprox. a 1200° C, antes de dejarlo fluir hacia el baño de estaño.

**4.-** La cámara de estaño está sellada y es similar a una gran alberca que contiene estaño líquido.

Gracias a que este metal tiene una densidad superficial inherente más pesada que la densidad del vidrio líquido, el vidrio fundido se extiende uniformemente sobre su superficie "flotando", de ahí el nombre que recibe de "vidrio flotado".

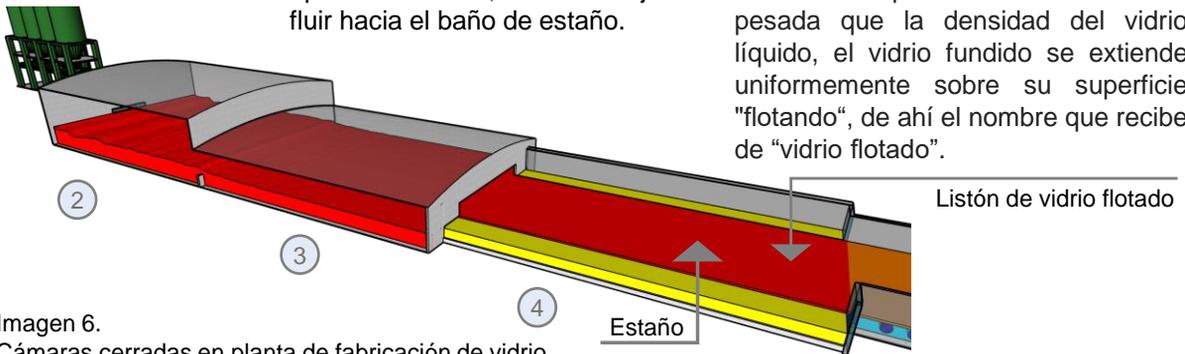


Imagen 6.

Cámaras cerradas en planta de fabricación de vidrio.

*Elaboración propia con base en video de Guardian Industries, How Glass Is Made 2017, YouTube, 2022.*

El vidrio fundido se moldea uniformemente a la forma de la superficie del estaño líquido y ya no es necesario pulirlo o alisarlo. (Mesurex, Control de temperatura en la fabricación de vidrio flotado, 2021).

Durante el baño de estaño la temperatura del vidrio se reduce de aproximadamente 1000 ° C hasta aproximadamente 600 ° C esto convierte una masa viscosa de vidrio fundido en una lámina de vidrio sólido que se puede levantar directamente de la superficie del baño de estaño al final del proceso de flotación. A partir de que sale del baño de estaño el vidrio comienza a correr sobre rodillos que ya no afectan su planicidad.

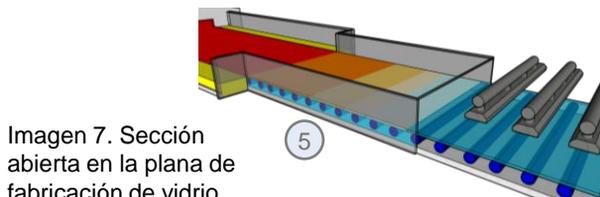


Imagen 7. Sección abierta en la planta de fabricación de vidrio.

*Elaboración propia con base en video de Guardian Industries, How Glass Is Made 2017, YouTube, 2022.*

**5.-** A continuación, el listón de vidrio pasa por el "arca de recocido" que también es una cámara cerrada, en la que el vidrio se enfría hasta 40°C.

Con la temperatura que sale del arca de recocido, el vidrio soporta la temperatura ambiente sin romperse.

**6.-** La cinta de vidrio continúa corriendo hacia áreas que son abiertas dentro de la fábrica.

A continuación, es inspeccionada por varias cámaras (inspección robótica) y por personas observándola (inspección visual) y finalmente se corta en hojas y se empaca para su distribución.

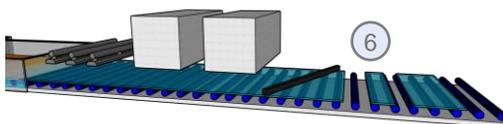


Imagen 8. Área de inspección y corte.

*Elaboración propia con base en video de Guardian Industries, How Glass Is Made 2017, YouTube, 2022.*

## Capítulo 2 Conceptos básicos para la especificación del vidrio.

### Vidrio laminado o inastillable

Es un vidrio de seguridad y contención. Está conformado por dos o más cristales monolíticos unidos por una película de algún plástico intercalador, comúnmente PVB (Poli Vinil Butiral) o resinas de curado UV.

Al romperse el vidrio la mayoría de sus fragmentos quedan adheridos al plástico intercalador (Norma Oficial Mexicana NOM-146-SCFI-2016).

### Plástico intercalador

“Polímero orgánico de alto peso molecular, en forma de hoja o lámina (ejemplos no limitativos: policarbonato, poliuretanos, polivinil butiral, ionómero), o resina polimerizada (ejemplos no limitativos: resinas de poliéster, resinas de poliacrilato), que se adhiere al vidrio de manera permanente, para darle las características del vidrio inastillable” (Norma Oficial Mexicana NOM-146-SCFI-2016).

### P.V.B. Polivinil Butiral

“Es un tipo de plástico intercalador utilizado para la fabricación del vidrio inastillable, cuyos espesores nominales son 0,38, 0,76, 1,04, 1,52 mm y sus múltiplos” (Norma Oficial Mexicana NOM-146-SCFI-2016).

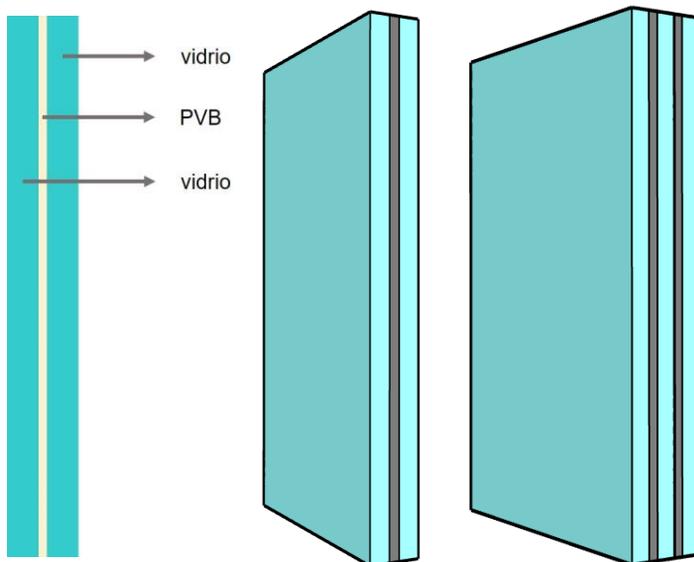


Imagen 9. Esquema de vidrio laminado doble y triple.

*Elaboración propia.*

Imagen 10. Vidrio laminado.



Image by Michael Gaida from Pixabay

## Vidrio templado

Es el vidrio que, al ser sometido a un tratamiento, adquiere un aumento de su resistencia a los esfuerzos de origen mecánico y a los esfuerzos térmicos (Norma Oficial Mexicana NOM-146-SCFI-2016).

El vidrio templado está considerado un vidrio de seguridad. Esto se debe a que al romperse, lo hace en pequeños trocitos de bordes redondeados que al desprenderse causan un menor daño. (Vidriopanel, Todo lo que debes saber sobre el vidrio templado, 2018).

“En la fabricación de vidrio templado, el vidrio se calienta de forma gradual hasta alcanzar una temperatura de reblandecimiento de aproximadamente 635 grados centígrados. Después, este vidrio se enfría muy rápidamente con aire.

De esta manera, el vidrio templado se expone en su superficie a tensiones de compresión y en el interior a tensiones de tracción. Gracias a esta fórmula de fabricación, el vidrio templado se vuelve más resistente en su estructura y con mejor resistencia al impacto.

Y es precisamente la manera en la que se fabrica, lo que hace que el vidrio se fragmente en pequeños trozos de bordes más o menos redondeados e inofensivos, en el caso de que el vidrio templado se rompa.” (Vidriopanel, Todo lo que debes saber sobre el vidrio templado, 2018).

Imagen 11. Vidrio templado.



Image by Marzena P. from Pixabay

El vidrio templado tiene una dureza de hasta 5 veces más que el cristal flotado gracias al proceso térmico al que es sometido, donde se logra cambiar la estructura molecular del vidrio, consiguiendo partículas más compactas. Una vez templado el cristal soporta un diferencial de temperatura entre sus caras de hasta 250°C y una presión de viento de 780 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia final depende del espesor del vidrio. (Val & Val, Cristal plano templado y semi-templado, 2019)

Recomendaciones:

- Si se requiere un vidrio de una seguridad aún superior, el vidrio templado puede laminarse. (Vidriopanel, Todo lo que debes saber sobre el vidrio templado, 2018).
- Es importante tomar en cuenta que siempre que se requiera hacer un corte, canteado o muesca, se deberá hacer antes de su templado. (Vidriopanel, Todo lo que debes saber sobre el vidrio templado, 2018).
- Debido a que los vidrios de colores en las fachadas absorben mayor cantidad de calor que el vidrio claro (entre más oscuro sea el vidrio más calor absorbe), también se recomienda siempre templar los vidrios de color.

### Usos del vidrio templado

El vidrio templado suele usarse en áreas susceptibles al impacto humano. Como puede ser la fachada de locales comerciales, mamparas de vidrio para el baño, divisorias de vidrio, encimeras de cocinas, puertas, estanterías, mesas de vidrio, expositores, vitrinas, puertas de chimeneas de cristal, entornos de cocinas u otras fuentes de calor. (Vidriopanel, Todo lo que debes saber sobre el vidrio templado, 2018).

### Vidrio semitemplado o termoendurecido

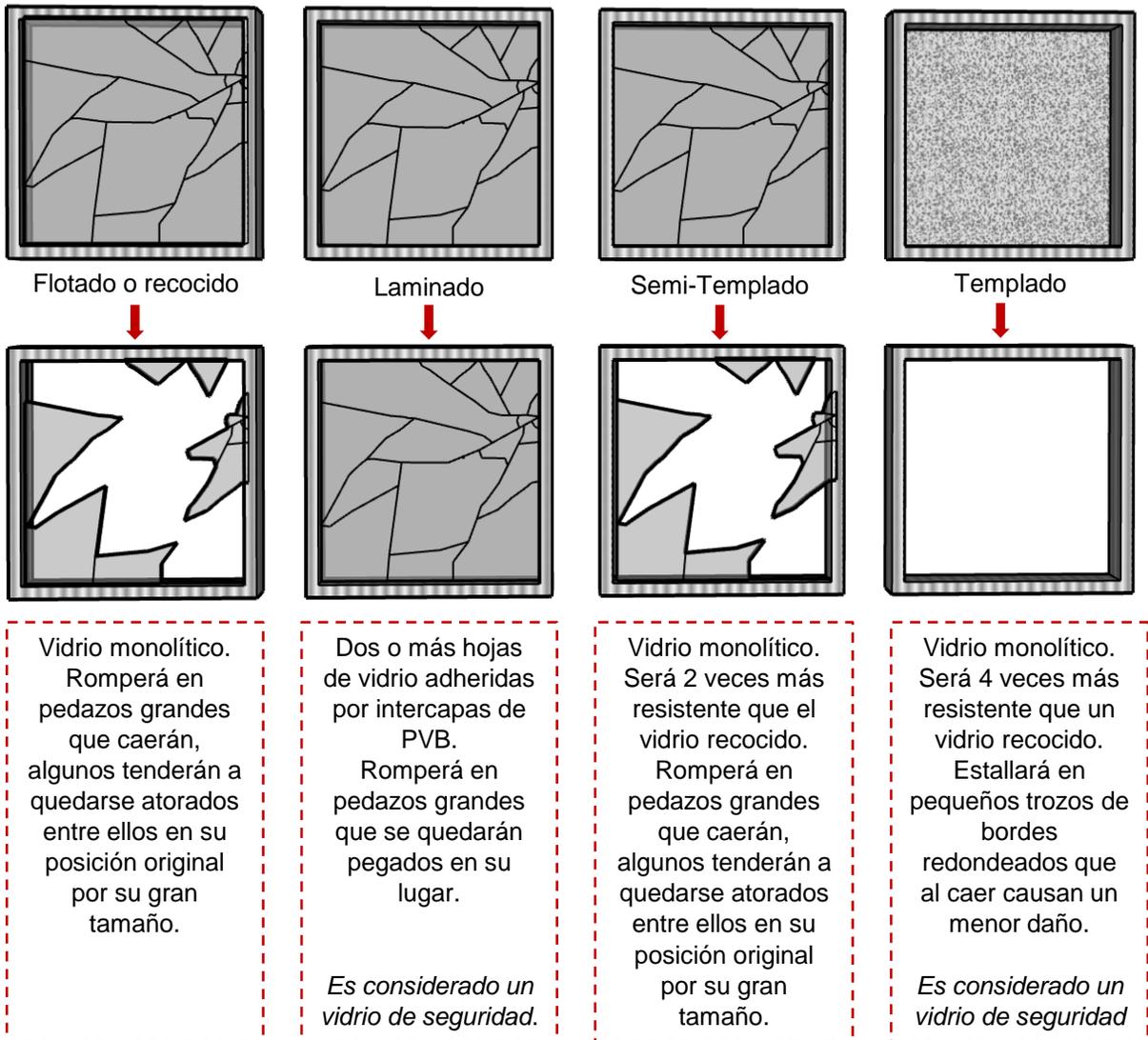
Es un vidrio al que se le ha aplicado un tratamiento a base de calor con el fin de mejorar sus propiedades y conseguir mejor resistencia térmica y mecánica.

Para el semi-templado se utiliza un proceso de enfriamiento más lento que el del vidrio templado, que resulta en una menor resistencia a la compresión. Como consecuencia será sólo 2 veces más resistente que el vidrio flotado en caso de rotura. Por esa razón se usa en aplicaciones que no requieren el plus de la seguridad pero sí de una resistencia superior. Este vidrio rompe en piezas grandes como el recocido y regularmente se usa laminado con algún otro vidrio. (MegaGlass, Cristal Termoendurecido, 2021).

## Comportamiento de cada tipo de vidrio al someterse a un impacto

Imagen 12.

Elaboración propia con base en video de Guardian Industries, Diferencias entre vidrio templado y laminado. Glass For Safety Security (Spanish). YouTube, 2022.



**Vidrio de seguridad:** “Es aquel que reduce el riesgo de sufrir cortaduras o lesiones que pongan en peligro la integridad física de una persona, derivadas de que, al romperse, sus fragmentos puedan estar en contacto con ésta.” (NOM-146-SCFI-2016).



Image by Rudy and Peter Skitterians from Pixabay

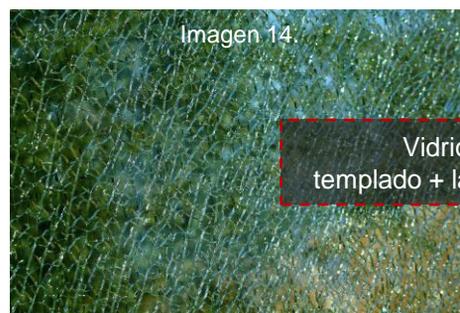


Image by Marzena P. from Pixabay

## Requerimientos adicionales de seguridad Norma Mexicana NMX-R-060-SCFI-2013

### Inciso: 7.8.4 REQUERIMIENTOS ADICIONALES DE SEGURIDAD PARA APLICACIONES DE RIESGO ELEVADO

1- Vidrios en puertas y accesos que sean operables, incluyendo, pero no limitado a las tipologías amparadas en la presente norma (incluyendo puertas de acceso a áreas de almacenamiento y puertas de refrigeradores comerciales e industriales).

2- Ventanas, puertas y otras instalaciones con vidrio directamente adyacentes a puertas y accesos. El requerimiento de seguridad aplica si se cumplen los cuatro puntos siguientes (véase figura 48):

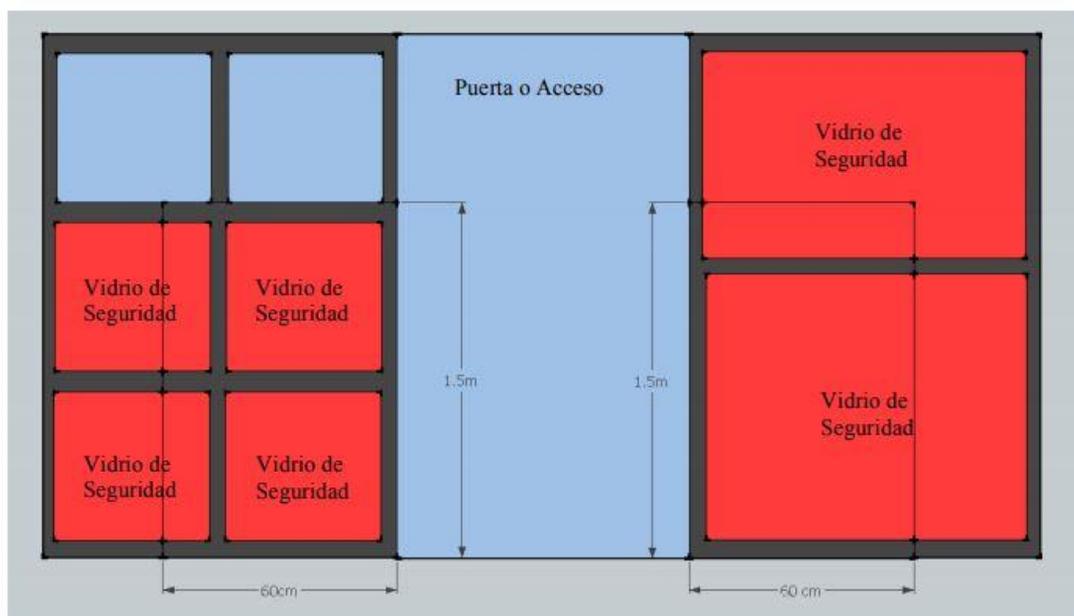


Imagen 15 Diagrama para la definición de vidrio de seguridad.  
Imagen tomada de la Norma Mexicana NMX-R-060-SCFI-2013.

NOTA 12: Si además de cumplir con los requisitos detallados de este punto el borde superior del vidrio se encuentra más de 2.5 m del piso, se debe utilizar vidrio laminado.

3- Vidrios en ventanas fijas y operables que cumplan con todos los siguientes tres puntos deben cumplir con un requerimiento mayor de seguridad

- El área del vidrio es mayor a 1 m<sup>2</sup>.
- El borde inferior del vidrio se encuentra a una altura menor a 45 cm del piso.
- El borde superior del vidrio se encuentra a una altura mayor a 90 cm del piso.
- Hay un paso peatonal a una distancia menor de 90 cm, medido perpendicularmente a la superficie del vidrio.

Ver el diagrama abajo para un ejemplo de un vidrio en una ventana que requiere la instalación de un vidrio de seguridad.

En caso de usar Unidades de Vidrio Aislante (UVA), los vidrios de ésta que se encuentren dentro de una distancia de 90 cm o menos de un paso peatonal deben ser vidrios de seguridad.

Quedan exentos de este requerimiento de seguridad aquellas ventanas que estén resguardadas por una barrera de protección a una altura de 100 cm - 120 cm. (Norma Mexicana NMX-R-060-SCFI-2013).

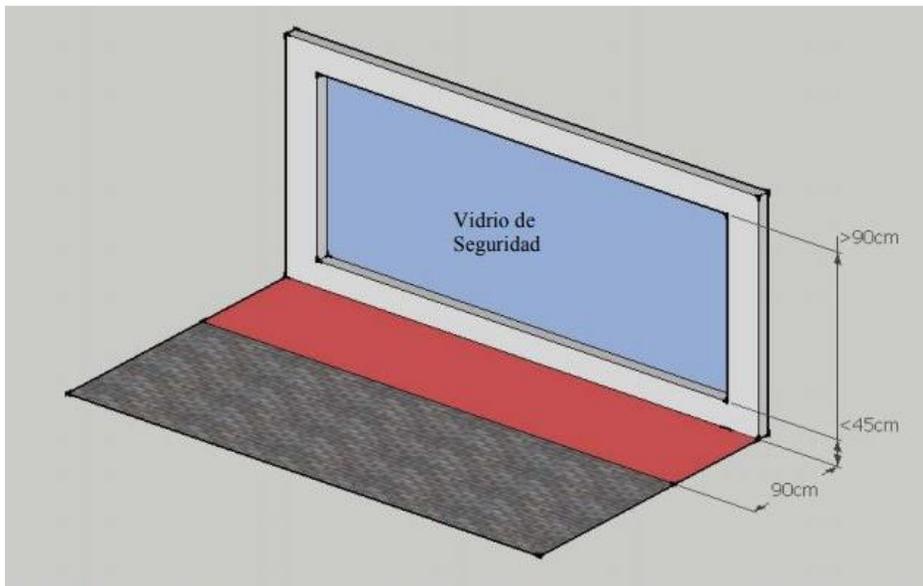


Imagen 16 Diagrama para la definición de utilización de vidrios de seguridad en ventanas.  
*Imagen tomada de la Norma Mexicana NMX-R-060-SCFI-2013).*

#### NOTA 13

Si el vidrio cumple con los siguientes puntos, se debe utilizar vidrio laminado y la exención de requerimiento de seguridad por el uso de una barrera de protección no es aplicable:

- El área del vidrio es mayor a 1 m<sup>2</sup>
- El borde inferior del vidrio se encuentra a una altura menor a 1.5 m del piso.
- El borde superior del vidrio se encuentra a una altura mayor a 2.5 m del piso.
- Hay un paso peatonal a una distancia menor de 90 cm, medido perpendicularmente a la superficie del vidrio. (Norma Mexicana NMX-R-060-SCFI-2013).

## Vidrio curvado

El vidrio curvado recocido se obtiene por medio del calentamiento lento de un vidrio plano que, al alcanzar su punto de plasticidad, comienza a caer y se adapta en un molde de acero ajustable a diferentes radios o hecho a medida.

Una vez conseguida la geometría deseada, empieza un proceso conocido como “recocido” o enfriamiento lento del vidrio, que determinará la calidad visual y estructural del producto final. (Pontevedresa. Línea de vidrio curvo recocido, 2021).

También se pueden fabricar en versión templada.

Imagen 17.

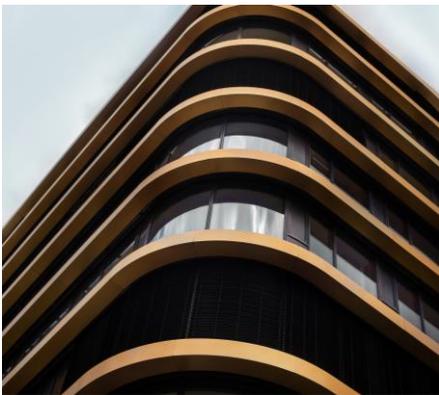


Image by Pexels from Pixabay

Imagen 18.



Image by Pexels from Pixabay

## Vidrio spandrel

A diferencia del vidrio de visión, que debe ser transparente, el vidrio *spandrel* (entrepiso) es una aplicación de "no visión" diseñada para ser opaca con el fin de ayudar a oscurecer los espacios entre los pisos de un edificio, incluidos el aislamiento térmico, las rejillas de ventilación, los cables, las losas de concreto y el equipo mecánico. (Vitro Vidrio Arquitectónico, Vidrio Spandrel, 2021).

Imagen 21.

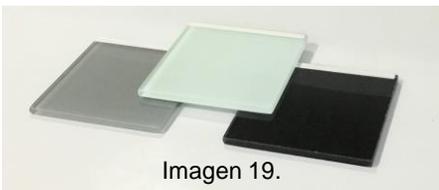


Imagen 19.

*Elaboración propia.*

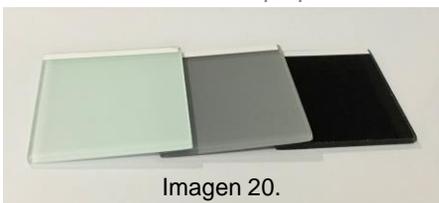


Imagen 20.

*Elaboración propia.*



Image by Edgar Winkler from Pixabay

## Doble acristalamiento

El doble acristalamiento convencional consiste en dos paneles de vidrio colocados a una distancia de 12 mm hasta 20 mm. El espacio interior entre los paneles contiene aire o un gas inerte como argón o criptón. El aire o el gas contenido en el interior reduce la transferencia de calor a través del vidrio debido a su menor conductividad térmica. Cuanto más ancha es la separación entre los paneles, menor es la transferencia de calor. (Pilkington, Spacia, 2021).

El doble acristalamiento en combinación con vidrios low-e o reflectivos, es el mejor sistema térmico y de control de energía.

Hay varias maneras correctas típicamente utilizadas de llamar a esta configuración:

- IGU (Insulated Glass Unit)
- IG (Insulated Glass)
- UVI (Unidad Vidrio Insulado)
- DA (Doble Acristalamiento)
- UVA (Unidad de Vidrio Aislante)

El espesor total del doble acristalamiento es típicamente de 24 mm. (6 + 12 + 6)

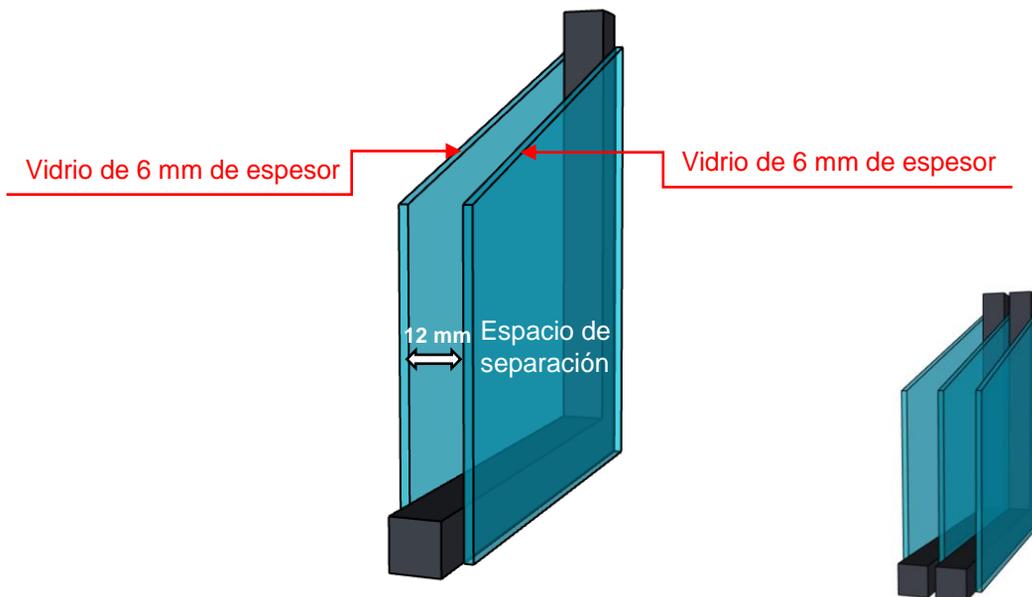


Imagen 22 Esquema de vidrio insulado (IG) doble acristalado y triple acristalado.

*Elaboración propia.*

También se pueden hacer unidades de triple acristalamiento para ganar mayor eficiencia energética, pero en México no son las comúnmente utilizadas para fachadas.

## Estrés térmico en el vidrio.

Como se lee en el documento SunGuard® Build With Light™ de Guardian Glass, existen distintos factores que afectan a la tensión térmica del vidrio, y que por tanto deben tenerse en cuenta en su fase inicial de selección.

Lo más recomendable es involucrar a los especialistas desde el desarrollo del anteproyecto para poder determinar en qué zonas, dada la forma específica de cada edificación, deberían hacerse recomendaciones para evitar la rotura por choque térmico de los vidrios.

Uno de los aspectos que debe considerarse es si el vidrio estará a la sombra. Si parte del vidrio está a la sombra de salientes o prolongaciones del edificio, en esas zonas estará más frío, con lo que pueden producirse tensiones que originen una rotura térmica.

La temperatura a la que se calienta el área central del vidrio depende en gran medida del tamaño y del grado de absorción solar del mismo, y éste último varía de un tipo de vidrio de control solar o bajo emisivo, a otro.

En las zonas en las que el choque térmico pueda constituir un problema, debe realizarse un análisis de tensión térmica para determinar si es necesario un tratamiento térmico (termoendurecido o templado). El tratamiento térmico puede ser necesario también en caso de elevada presión del viento o cuando se requiere un vidrio de seguridad. (Guardian Glass, SunGuard® Build With Light™ Información Técnica, 2011).

## Cargas de viento sobre el vidrio.

Es también el documento SunGuard® Build With Light™ de Guardian Glass, en el que se explica que la carga de viento suele calcularse según las exigencias normativas del lugar donde se sitúe el edificio. Se recomienda consultar directamente con el fabricante, o con una empresa de asesoría de fachadas, cual es el espesor mínimo necesario para que el vidrio resista las cargas específicas que vaya a soportar. Estas cargas deben tenerse en cuenta en las etapas iniciales del proyecto.

Los efectos sobre las fachadas son complejos en muchos casos, y exigen un análisis de la carga del viento realizado con la ayuda de una aplicación informática. De este modo se pueden tener en cuenta de forma precisa las principales variables. (Guardian Glass, SunGuard® Build With Light™ Información Técnica, 2011).

## Capítulo 3 El vidrio como aislante térmico

Como se expresa en el documento de la Red de Energía Solar, “Recubrimientos de baja emisividad: Escudos para combatir el calor” propiedad de CONACYT y de la UNAM, el vidrio es usado para proporcionar iluminación natural, protección contra diferentes agentes ambientales (viento, lluvia, polvo, etc.) y decoración, entre otras funciones.

Para comprender el caso específico del aislamiento de la temperatura externa, es necesario discutir el concepto de “calor”. El calor es la forma en que se transfiere la energía, su principal fuerza motriz es la diferencia de temperaturas. Existen tres formas en que esta transferencia puede ocurrir: conducción, convección y radiación.

En la conducción, el calor fluye a través del material mismo, el vidrio se comporta como un retardante térmico debido a que su conductividad de calor es baja.

En la convección, el flujo de calor se da por el movimiento de masas de aire frío/caliente, el vidrio proporciona una barrera que impide su combinación evitando cambios drásticos de temperatura.

Por último, en la transferencia por radiación, la energía fluye en forma de ondas electromagnéticas (como la luz), el vidrio por sí solo no cuenta con buenas propiedades para evitar que ocurra este fenómeno, lo que provoca que en climas muy calientes la temperatura de los interiores aumente y que el calor de los interiores se escape en climas fríos. La principal fuente de radiación disponible en el ambiente es la luz del sol, por lo que, la selección de las posibles modificaciones que se le hagan al vidrio debe tomar en cuenta la forma en que interactúa el material resultante con esta luz, para evitar que otras funciones importantes del vidrio, como la de proporcionar iluminación, se vean comprometidas.

Un dato importante que se comparte en el documento de “Recubrimientos de baja emisividad: Escudos para combatir el calor”, de la Red de Energía Solar es que, en una edificación comercial, típicamente la refrigeración y/o calefacción consumen alrededor del 30% del total de energía que necesita para funcionar adecuadamente.

La solución que aporta el campo de la Ciencia e Ingeniería de Materiales ante esta situación es la modificación de la superficie del vidrio a través de la aplicación de diferentes recubrimientos, entre ellos, los “de baja emisividad”, también conocidos como low-e. (Red de Energía Solar, Recubrimientos de baja emisividad: Escudos para combatir el calor, CONACYT, UNAM, 2021).

## Vidrio reflectivo

Un vidrio reflectivo suele tener una estética con efecto “espejo”, que es lo que refleja el calor al exterior, permitiendo interiores más frescos. Sin embargo, también refleja la luz natural, por lo que deja pasar menos iluminación que un vidrio bajo emisivo (low-e). Pueden utilizarse en monolítico (sencillos) o en unidades dobles para mejorar su desempeño. (Vidrio Arquitectónico. Conceptos Básicos del Vidrio, 2021).

Imagen 23 Vidrio de control Solar reflectivo.



Image by smarko from Pixabay

Ejemplo: Burj Khalifa  
Dubái (Emiratos Árabes Unidos)

Producto:  
SUNGUARD® Solar Silver 20.  
SOLAR  
GUARDIAN GLASS

Deja pasar el 18% de la luz natural (light transmission VLT) y solo permite pasar el 22% del calor solar (SHGC)

El Burj Khalifa es un edificio de 828 metros de altura que cuenta con 167,000 metros cuadrados de vidrio Silver 20. refleja el calor y la radiación solar convirtiéndolo en un gran producto para ambientes calientes y edificios muy altos. (Guardian Glass. SunGuard Solar Silver 20, 2020).

## Vidrio Absorbente

El vidrio absorbente, que es también conocido como tintado o entintado. Es un vidrio flotado claro normal al que se le agregan colorantes a granel para obtener propiedades de coloración y absorción de rayos solares. Esto reduce el ingreso del calor a los edificios. (Guardian Glass, Vidrio entintado, 2019).

## Vidrio de baja emisividad (low-e)

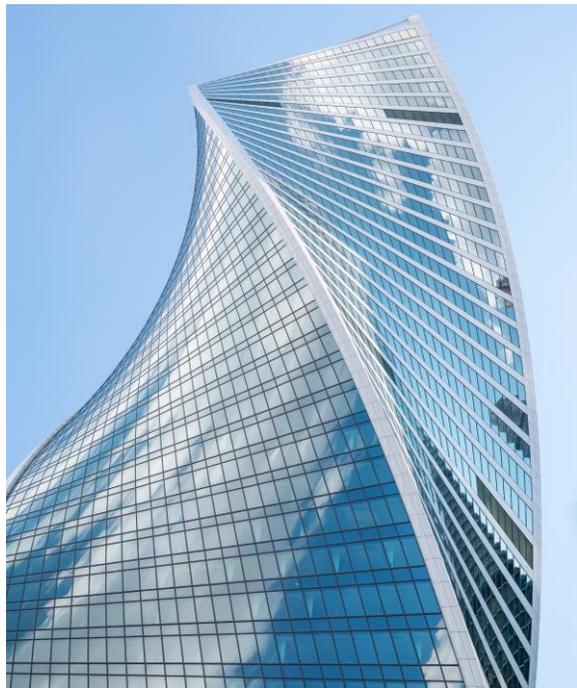
Los revestimientos de vidrio de baja emisividad (low-e) fueron desarrollados para minimizar el paso de luz infrarroja (calor) y ultravioleta, sin afectar la luz visible transmitida.

Varias capas de metales de espesor microscópico depositadas sobre una de sus caras provocan que el vidrio low-e refleje el calor de vuelta al exterior en condiciones de alta temperatura y retenga el aire acondicionado en el interior del inmueble. También funcionan a la inversa, en climas fríos, conservando la temperatura de la calefacción y evitando la pérdida de calor a través del vidrio, lo que mejora ampliamente la eficiencia energética. (Vitro Vidrio Arquitectónico, Vidrios de Baja Emisividad (low-e) y Control Solar, 2021).

Un material con "baja" emisividad (también llamado Low-e, donde la "e" significa emisividad), absorbe e irradia deficientemente la energía infrarroja, lo cual es el factor clave en la reducción de la transferencia de calor. Cuanto menor sea la emisividad del recubrimiento (coating), mejor será el desempeño del vidrio.

Los estudios demuestran que, en un periodo de 10 años, el ahorro energético gracias al vidrio de capas de alto rendimiento puede ser muy significativo (por ejemplo, para un edificio normal de seis plantas, el periodo de amortización puede ser de sólo dos años). (Guardian Glass, SunGuard® Build With Light™ Información Técnica, 2011).

Imagen 24 Vidrio de control Solar bajo emisivo (low-e).



Ejemplo: Evolution Tower.

Rascacielos en Moscú, Rusia.

Producto:

SUNGUARD® Neutral 60/40

HIGH PERFORMANCE

GUARDIAN GLASS

Deja pasar el 60% de la luz natural (light transmission VLT) y solo permite pasar el 40% del calor solar (SHGC).

60 mil m<sup>2</sup> de vidrio SunGuard® de alto rendimiento, de protección solar y con eficiencia energética, ayudan a minimizar la pérdida de calor y, al mismo tiempo, proporcionan una transmisión de luz óptima.

(Guardian Glass, Project: Evolution, 2020)

## Vidrios fabricados por deposición pirolítica o por deposición al vacío

Según el modo en que se fabrica, el vidrio de baja emisividad puede clasificarse en dos categorías:

- deposición pirolítica (capa dura)
- deposición al vacío (capa de pulverización catódica o capa suave) low-e

El método de deposición pirolítica (*capa dura*) aplica varios metales al vidrio fundido durante el proceso de fabricación del vidrio flotado. Los recubrimientos pirolíticos tienen mayores ganancias de calor solar y valores U y pueden no cumplir con los códigos de energía.

Debido a que los vidrios son fabricados ya en conjunto con los metales que les darán el desempeño, una vez producidos ya solo pueden ser utilizados para ese fin.

Estos vidrios no necesitan que sea protegida la capa de metales de manera que pueden ser utilizados monolíticamente.

La deposición al vacío (*capa suave*), por otro lado, aplica varios metales fuera de línea en una gran cámara de vacío. Los revestimientos de pulverización catódica se ofrecen en una amplia variedad de opciones de color y rendimiento, incluidas las versiones post-temperables, y pueden cumplir y superar los requisitos del código de energía. (Glass Caribe, Vidrio low-e, 2021).

En los vidrios con coating de capa suave se debe proteger dicha capa ya sea colocándola hacia el lado de la cámara de aire de la unidad de vidrio doble acristalado o laminando el vidrio de manera que el P.V.B.<sup>(1)</sup> proteja la capa de coating.

No todos los vidrios de coating de capa suave se pueden laminar, debe consultarse cuales son las versiones de vidrio laminable de este tipo.

Las ventajas que ofrece este tipo de coating es que se pueden lograr vidrios muy transparentes y muy poco reflectivos, en los que la transmisión de luz natural es alta y la ganancia de calor solar hacia el interior del inmueble es muy baja.

Otra ventaja es que estas capas de coating se pueden depositar en cualquier momento en un vidrio flotado de stock.

<sup>1</sup> P.V.B. Polivinil butiral Es un tipo de plástico intercalador utilizado para la fabricación del vidrio inastillable, cuyos espesores nominales son 0,38, 0,76, 1,04, 1,52 mm y sus múltiplos (Norma Oficial Mexicana NOM-146-SCFI-2016).

## Modo de adhesión de las capas de metales a los vidrios bajo emisivos.

Los vidrios bajo emisivos (low-e) hechos por deposición al vacío (capa suave), son vidrios flotados a los que se les han depositado sobre una de sus caras algunas capas de metales, sumamente delgadas.

Esto se realiza mediante un proceso de bombardeo iónico, a través del cual se depositan los metales en escala de nanopartículas, en un ambiente de alto vacío sumamente controlado. Cada capa de nanopartículas es de un metal en específico, y le dará propiedades particulares a ese vidrio. La plata es uno de los metales más eficientes. (MegaGlass, Vidrio Low-E, 2021).

Al depositar varias capas de distintos metales, en diferentes espesores y posiciones, se logran una gran variedad productos, cada uno con diferentes desempeños.

### Representación esquemática de las diferentes capas de metales depositadas sobre el vidrio

Los vidrios bajo emisivos cuentan con diseños complejos de varias capas destinados a proporcionar una alta transmisión de la luz visible, una baja reflexión de la luz visible y a reducir la transferencia térmica. También pueden complementarse con capas de control solar. (Guardian Glass, SunGuard® Build With Light™ Información Técnica, 2011).

*El espesor de una capa es aproximadamente  
1/10 000 de un cabello humano.*

*Cada capa de un metal o espesor distinto provoca  
diferentes desempeños en el vidrio.*

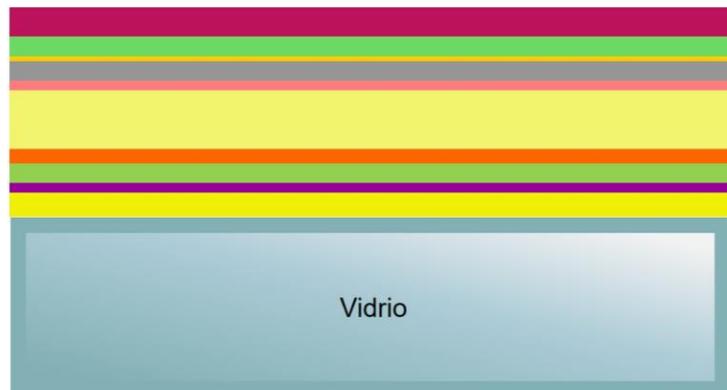


Imagen 25 Representación esquemática de capas de metales sobre el vidrio.

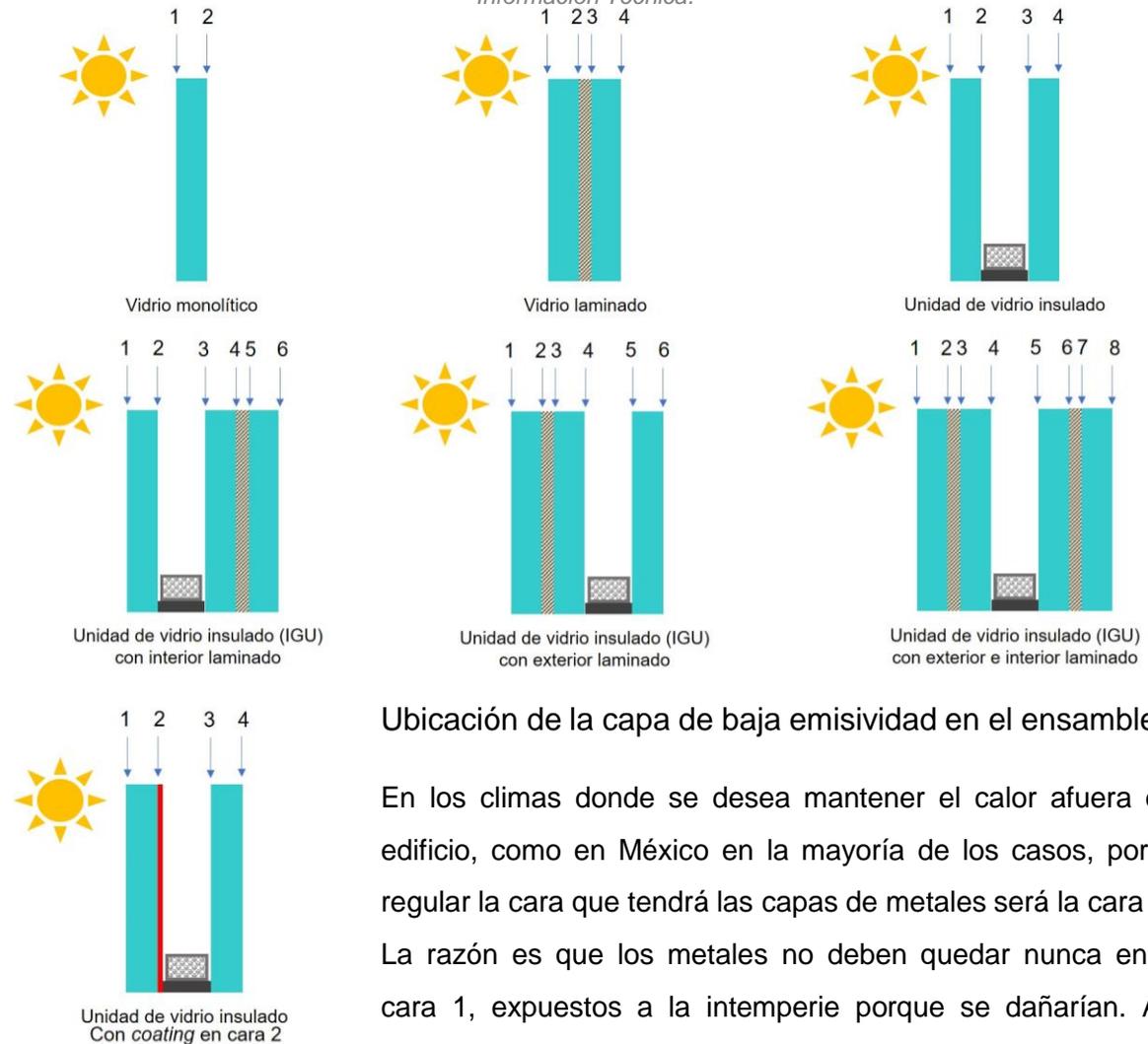
*Elaboración propia.*

## Configuraciones comunes de los vidrios en fachadas

Las imágenes que aparecen a continuación muestran las configuraciones de vidrio más comunes e identifican las caras del vidrio mediante números. Siempre se enumeran del exterior al interior del edificio. (Guardian Glass, SunGuard® Build With Light™ Información Técnica, 2011).

Imagen 26 Configuraciones de vidrio comunes.

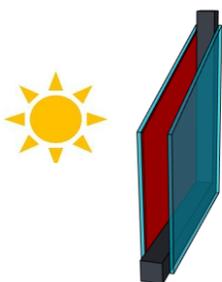
Elaboración propia con base en el documento Guardian Glass. (2011). SunGuard® Build With Light™ Información Técnica.



### Ubicación de la capa de baja emisividad en el ensamble.

En los climas donde se desea mantener el calor afuera del edificio, como en México en la mayoría de los casos, por lo regular la cara que tendrá las capas de metales será la cara 2. La razón es que los metales no deben quedar nunca en la cara 1, expuestos a la intemperie porque se dañarían. Así mismo, en la cara 3 o alguna posterior, se calentarían más masas que absorberían calor y lo re-radiarían hacia el interior, provocando menor eficiencia en el ensamble. Es por esto por lo que generalmente es especificada en cara 2, ya que es la más próxima al exterior del edificio.

Existen configuraciones donde las capas metálicas son recomendadas en otra cara por motivos específicos técnicos.



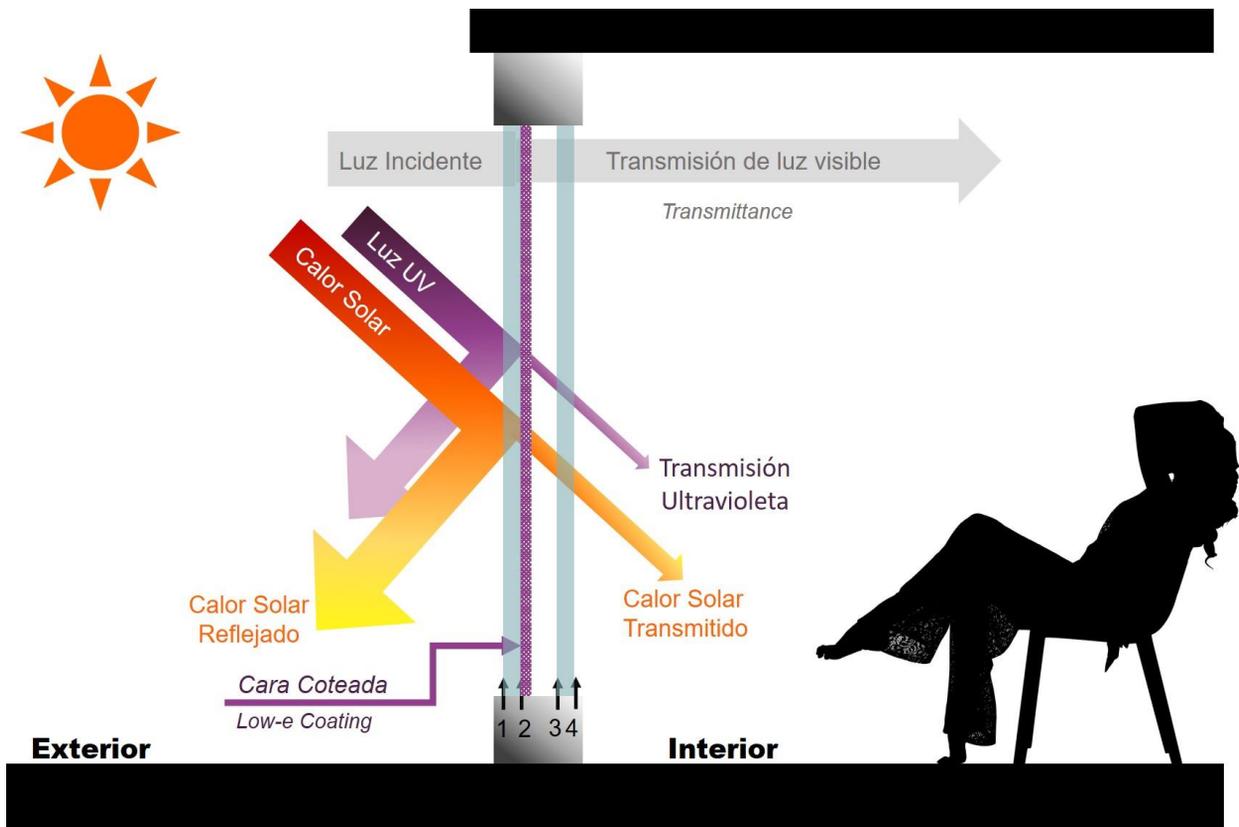
## Explicación gráfica del funcionamiento de un vidrio bajo emisivo.

En general, los recubrimientos reflejantes y de baja emisividad se fabrican depositando algunas capas de metales en el vidrio. El espesor y la reflectividad de estas capas (recubrimiento de baja emisividad), así como la ubicación de la cara del vidrio a la que están adheridas, afectan directamente el ingreso de calor solar en la habitación, o el escape de la calefacción en el caso de climas fríos.

En el esquema siguiente en el que se ejemplifica un clima cálido. Podemos observar que la mayor parte del calor es reflejado de vuelta al exterior dejándolo afuera, así como prácticamente todos los rayos UV<sup>(2)</sup>, mientras que la luz natural puede pasar en un buen porcentaje al interior permitiendo ambientes confortables e iluminados que ofrecen a los usuarios mejor calidad de vida.

Imagen 27 Funcionamiento de un vidrio bajo emisivo.

*Elaboración propia.*



<sup>2</sup> Radiación Ultravioleta (UV): Luz solar, que por su longitud de onda (menor a 380 nanómetros) ocasiona la degradación, y decoloración de diversos compuestos orgánicos, incluyendo plástico (Norma Oficial Mexicana NOM-146-SCFI-2016).

## Capítulo 4 Valores técnicos fundamentales para la especificación de un vidrio de control solar o bajo emisivo.

### Transmisión de luz visible – VLT

La transmisión de luz visible (VLT por sus siglas en inglés) o también nombrada Transmittance, es la cantidad de luz que se transmite a través del sistema de acristalamiento en la porción del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir (Energy Saver, 2021).

“El VLT también es un número adimensional con valor de 0 a 1; cuanto más bajo sea el valor VLT, menor será la cantidad de luz visible que se transmitirá a través del sistema de acristalamiento.” (Vitro Vidrio Arquitectónico, Vidrios Arquitectónicos de Baja Emisividad (Low-E) y Control Solar: Beneficios Energéticos, Económicos y Ambientales, 2021).

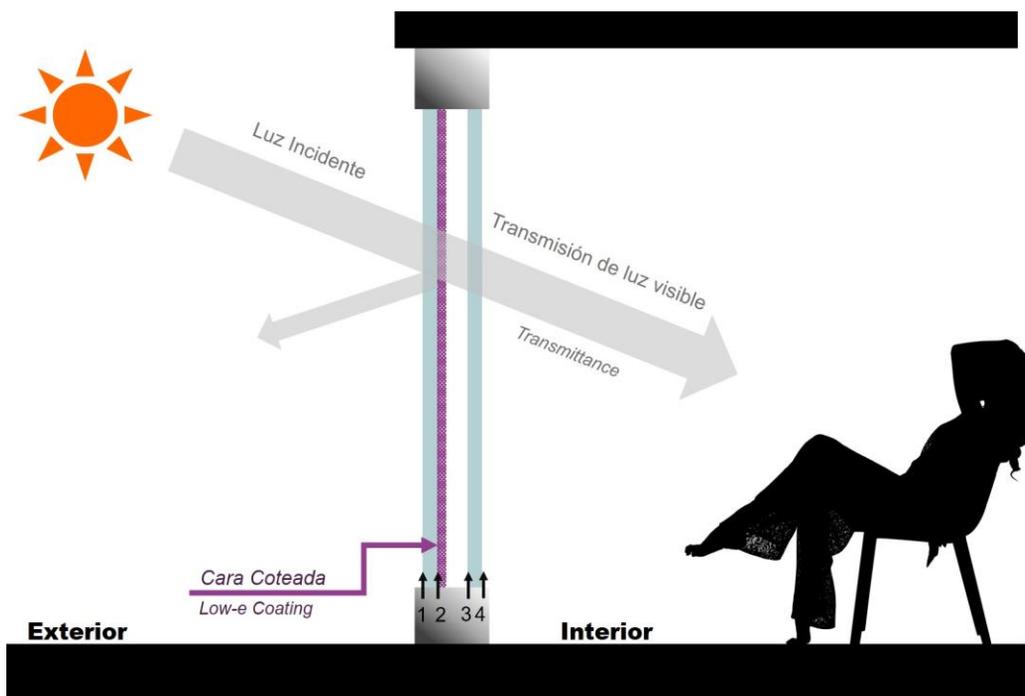
En resumen, nos indica que tan transparente es el vidrio, cuanta entrada de luz natural permite y que relación de visuales hay en consecuencia entre el exterior y el interior.

Imagen 28 Transmisión de luz visible.

*Elaboración propia.*

*Vidrio Claro de 6mm = 90% de transmisión de luz visible.*

*Deja pasar el 90% de la luz natural.*



## Reflectancia exterior

Es el porcentaje de la radiación solar reflejada por el vidrio hacia el exterior.

Dicho en otras palabras, indica que tanta luz exterior que incide sobre ese vidrio será reflejada de vuelta al exterior, lo que permite saber que tan reflectivo es.

Imagen 29 Reflectancia exterior de vidrio flotado.

Elaboración propia.

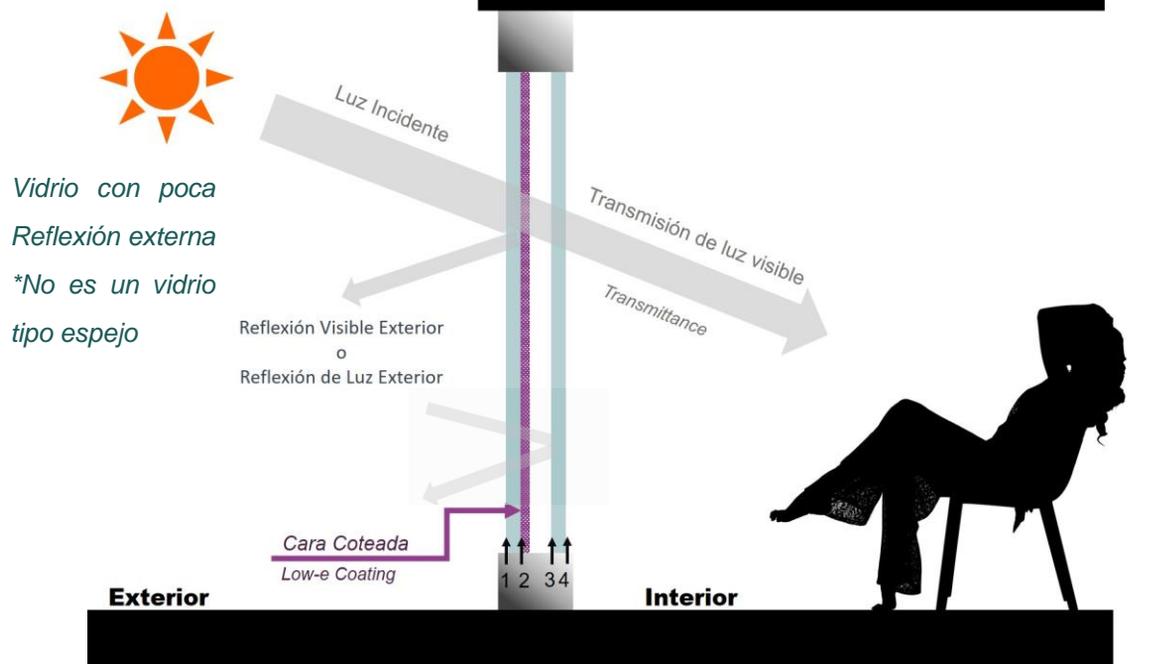
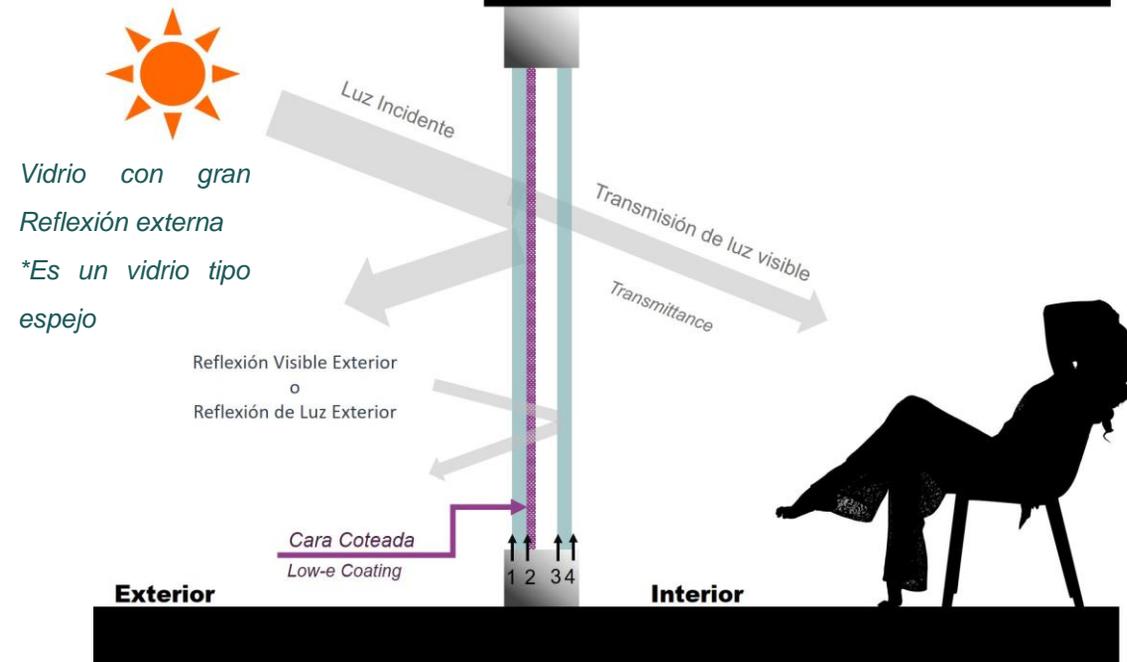


Imagen 30 Reflectancia exterior de vidrio reflectivo.

Elaboración propia.



## Reflectancia interior

Es el porcentaje de Reflectancia Visible Interior o Reflectancia de Luz Interior.

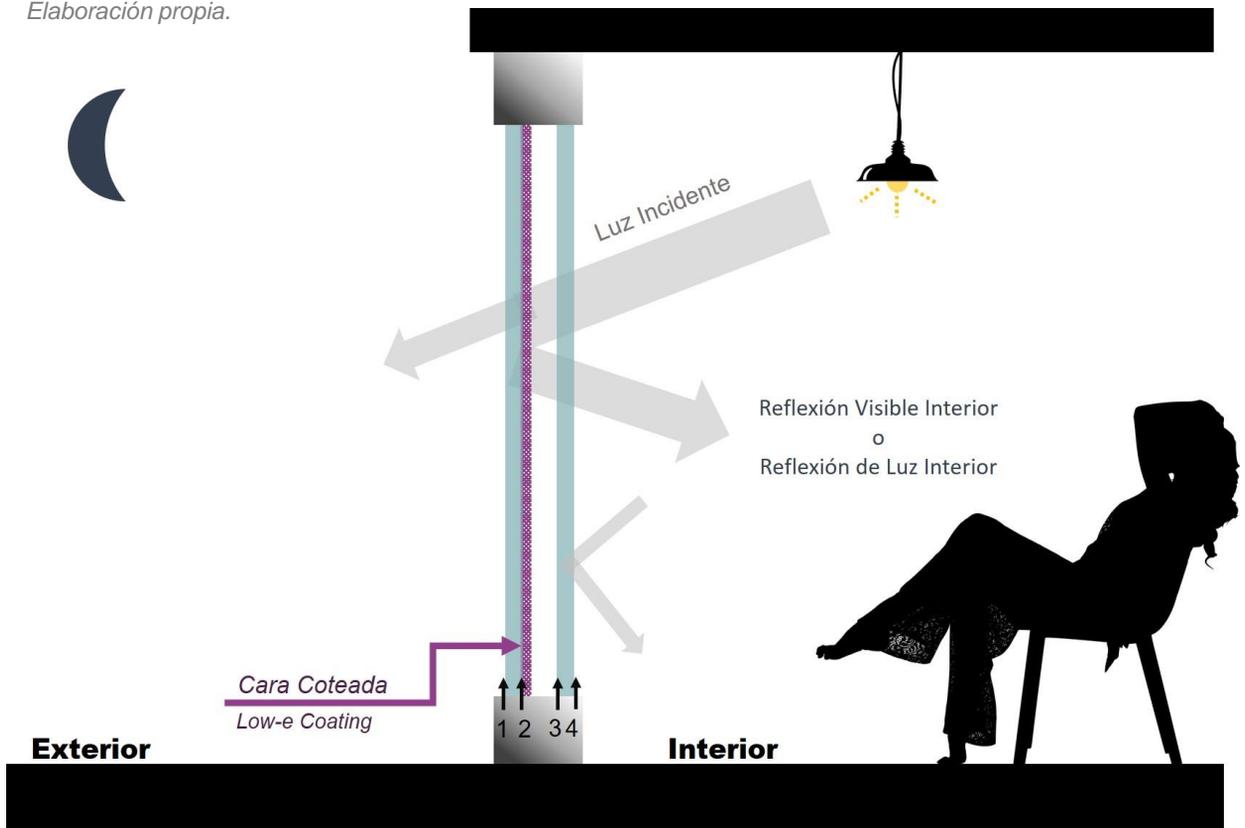
Dicho en otras palabras, es el porcentaje de luz visible en incidencia normal directamente reflejada por el vidrio de vuelta al interior.

Cuando un vidrio tiene un alto porcentaje de reflexión interna, al encender las luces se reflejará completamente en el vidrio el mobiliario y los interiores del inmueble.

Es importante tomar en cuenta los valores de reflectancia en lugares donde se busca evitar el reflejo del vidrio, como por ejemplo en las vitrinas de exhibición en tiendas o museos, donde se necesita ver el objeto detrás del vidrio con gran nitidez y claridad. También en proyectos en los que se busca tener conexión con los exteriores y obtener vistas claras del entorno circundante, deberá considerarse la reflectancia como premisa de diseño.

Imagen 31 Reflectancia interior.

*Elaboración propia.*



## Coeficiente de ganancia de calor solar – SHGC

El coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC) mide la fracción de energía solar transmitida y le indica qué tan bien bloquea el producto el calor causado por la luz solar. La SHGC se mide en una escala de 0 a 1; los valores suelen oscilar entre 0,25 y 0,80. Cuanto menor sea el SHGC, menos calor solar transmite la ventana. (Energy Star, Independently Tested and Certified Energy Performance, 2021).

Un producto con un valor SHGC alto es más eficaz para recolectar el calor solar en climas fríos. Un producto con un valor SHGC bajo es más efectivo para reducir las cargas de aire acondicionado en climas cálidos, al bloquear la ganancia de calor del sol. (Energy Saver, 2021).

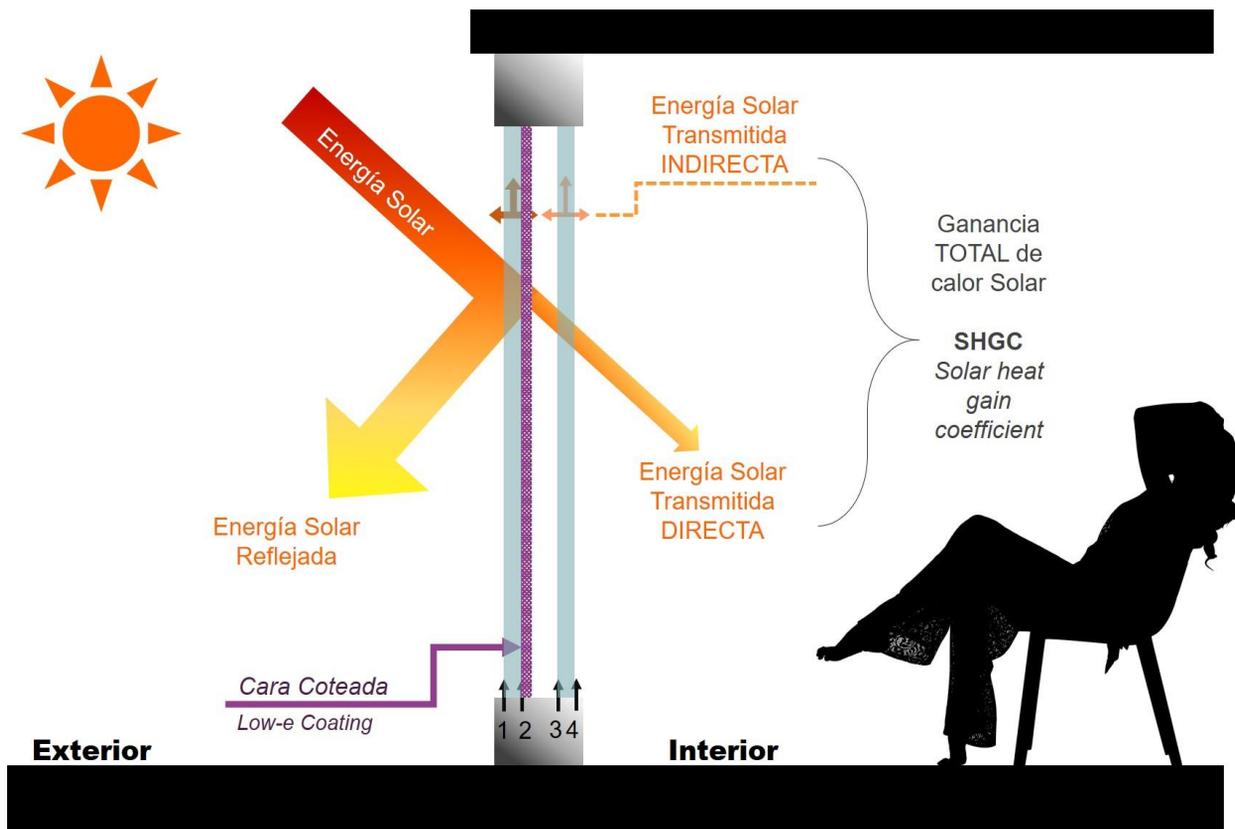
El clima, la orientación y el sombreado externo del inmueble determinarán el SHGC óptimo para una ventana en particular.

Imagen 32 Solar heat gain coefficient, SHGC.

*Elaboración propia.*

*Vidrio Claro de 6mm = .86 SHGC*

*Deja pasar el 86% del calor solar*



## Valor U

Es la medida de ganancia o pérdida térmica a través del vidrio causada por la diferencia entre la temperatura del aire en el exterior y en el interior. Cuanto más bajo sea el valor U, mejores son las propiedades aislantes (Guardian Glass, SunGuard® Build With Light™ Información Técnica, 2011).

El valor U toma en cuenta las fuentes de ganancia de calor ajenas al sol, como puede ser la re-radiación de los objetos circundantes como el pavimento u otros edificios y el calor emitido por alguna otra fuente directa.

Para ventanas, tragaluces y puertas de vidrio, un factor U puede referirse solo al vidrio o al acristalamiento. Sin embargo, las clasificaciones del factor U del NFRC (National Fenestration Rating Council, organización de los Estados Unidos que patrocina un programa de certificación y etiquetado de eficiencia energética para ventanas, puertas y tragaluces.) representan el rendimiento completo de la ventana, incluido el marco y el material del espaciador. (Energy Saver, 2021).

Imagen 33 Valor "U".

*Elaboración propia.*

*Cuanto menor sea el factor U, más eficiente será la ventana, la puerta o el tragaluz.*

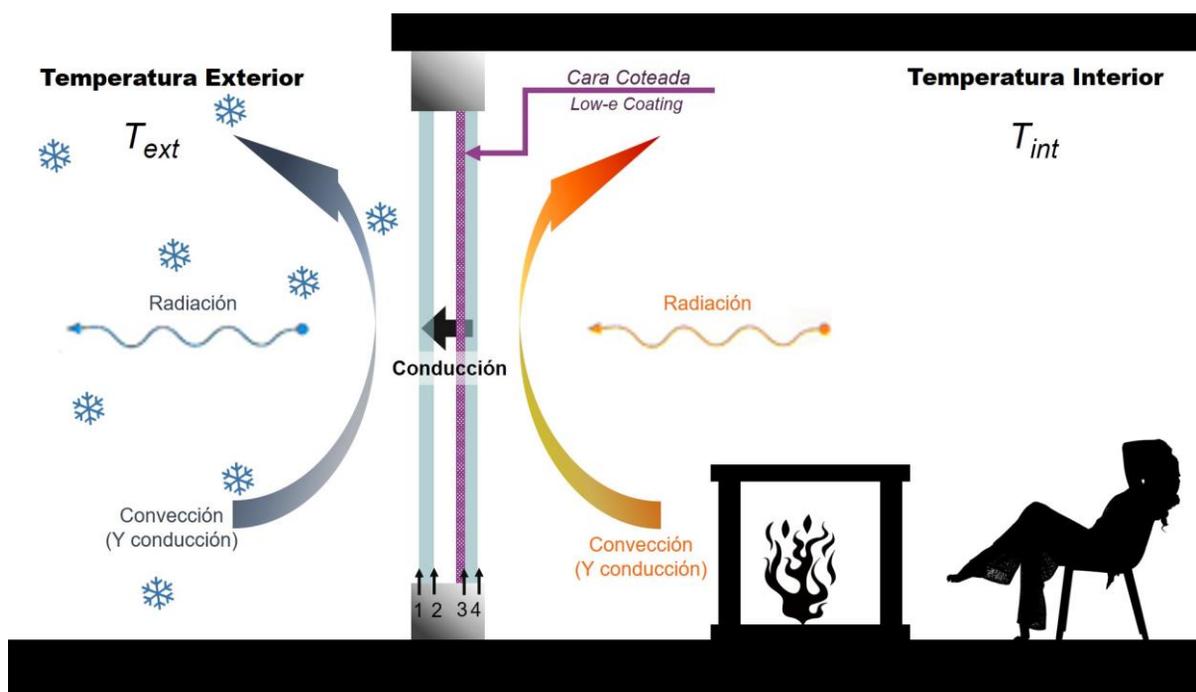


Imagen 34 Valor "U" alto. *Elaboración propia.*

Un mayor valor U permitirá que se escape más calor en los climas fríos del interior hacia el exterior, y en los climas cálidos permitirá que entre más calor del exterior hacia el interior. Como se muestra en el esquema 1.

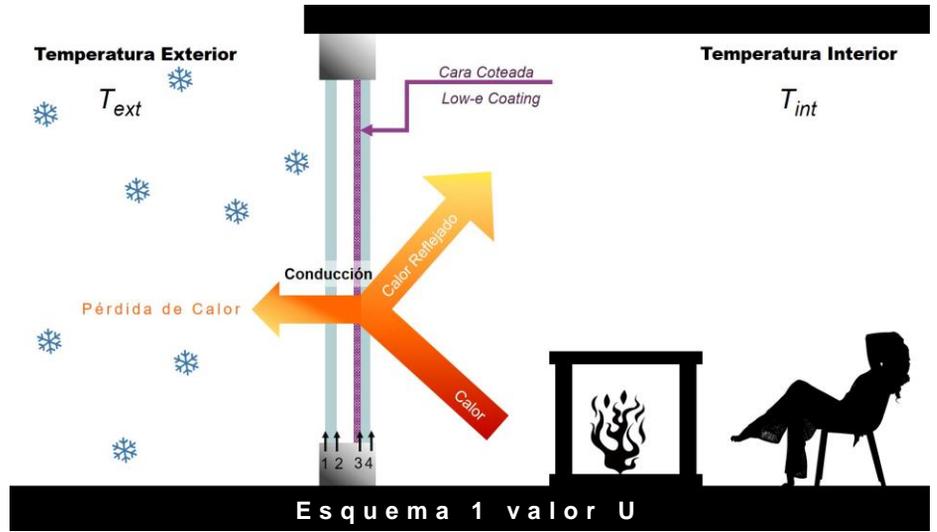


Imagen 35 Valor "U" bajo. *Elaboración propia.*

Un menor valor U evitará que se escape demasiado calor en los climas fríos del interior hacia el exterior, y en los climas cálidos evitará que entre demasiado calor del exterior hacia el interior. Como se muestra en el esquema 2 y 3.

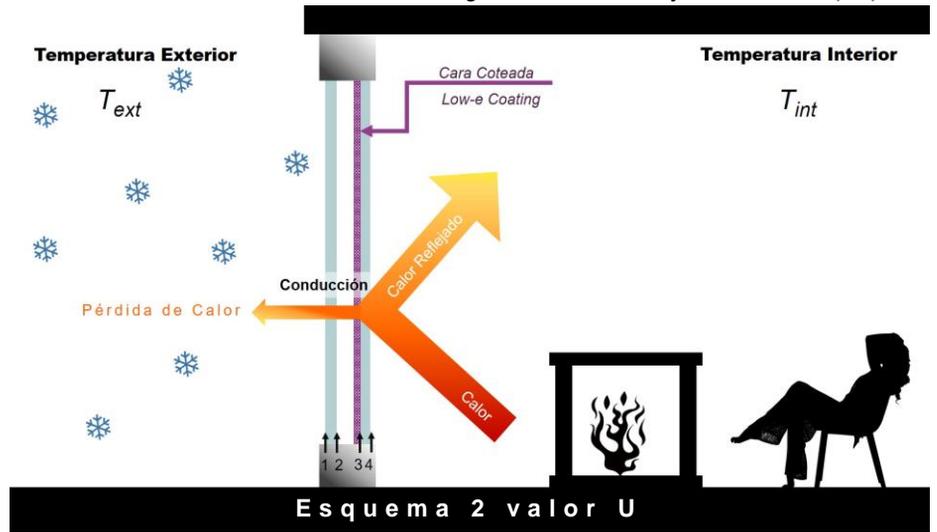
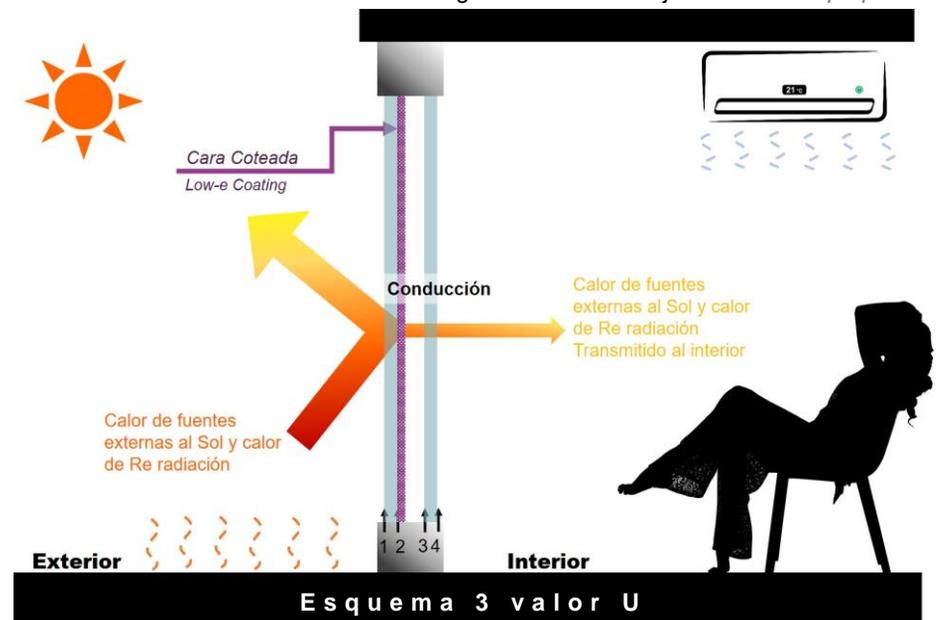


Imagen 36 Valor "U" bajo. *Elaboración propia.*



## Ganancia lumínica solar – LSG

La relación existente entre SHGC (coeficiente de ganancia de calor solar) y VLT (transmisión de luz visible) se denomina Relación de Ganancia Lumínica solar (LSG, por sus siglas en inglés).

De este modo se obtiene una indicación de la eficiencia relativa de los distintos tipos de vidrio para transmitir la luz natural al tiempo que bloquean el ingreso de calor. A mayor relación, resulta más iluminada la habitación, sin recibir cantidades excesivas de calor (Energy Saver, 2021).

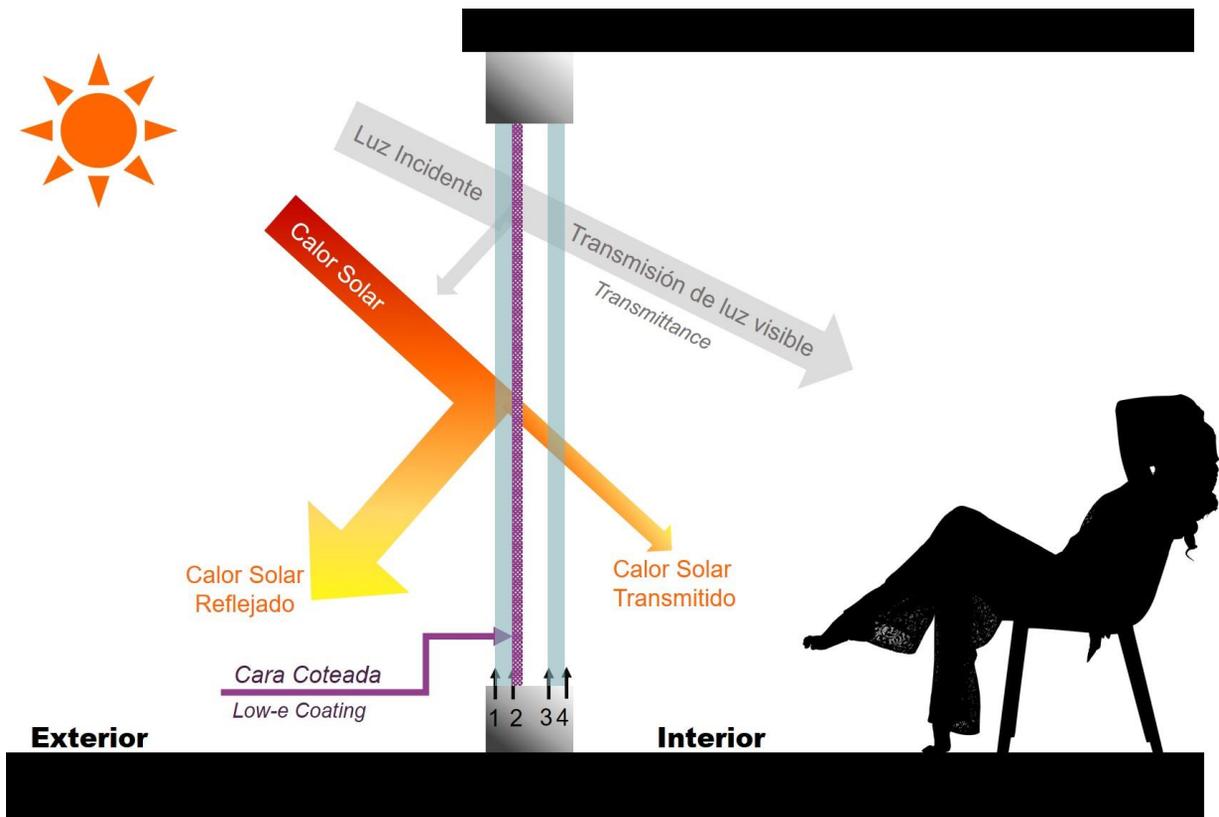
Imagen 37 Ganancia lumínica solar, LSG.

*Elaboración propia.*

*Entre más alto es el valor LSG, el vidrio tiene una mejor relación entre la cantidad de luz natural que entra y el calor solar que bloquea.*

*Vidrio Claro de 6mm = LSG de 1.08*

*Para las certificaciones LEED se requiere como requisito un valor LSG de mínimo 1.25*



## Ejemplo 1: Explicación del significado de los valores de un vidrio bajo emisivo.

Vidrio Neutral 40 de Guardian Glass en la siguiente configuración:

- 6 mm / 16 mm / 6 mm – coating en cara #2
  - Vidrio 1 y Coating: SunGuard HP Neutral 40 sobre Claro
  - Vidrio 2: Claro
  - Espacio: 100% Aire
- (Guardian Glass, SunGuard High Performance Neutral 40, 2020).

SUNGUARD® Neutral 40 IG comparado con un Vidrio Claro de 6mm monolítico.  
*Cálculo estándar: NFRC 2010*

| Valores de Desempeño                                       | SunGuard HP Neutral 40 IG | Vidrio monolítico claro de 6mm |
|--|---------------------------|--------------------------------|
| Transmisión de Luz Visible                                 | 39                        | 89                             |
| LSG (Relación de Ganancia Lumínica)                        | 1.33                      | 1.06                           |
| Reflexión Exterior   | 23                        | 8                              |
| Reflexión Interior   | 12                        | 8                              |
| Valor U Durante día de Verano - Aire [W/m <sup>2</sup> ·K] | 1.50                      | 5.28                           |
| SHGC Coeficiente de Ganancia de Calor Solar                | 0.29                      | .84                            |

Imagen 38 Tabla comparativa de valores: Vidrio Neutral 40 vs. Flotado claro.

*Elaboración propia con base en la página de internet de Guardian Glass, SunGuard High Performance Neutral 40, 2020*

El ejemplo muestra un vidrio que permite pasar el 39% de la luz natural visible y únicamente permite el ingreso del 29% del calor solar. Estos valores son los que deben tomarse en cuenta de manera preliminar al momento de tomar decisiones en la elección de un vidrio. Y finalmente leyendo el valor de la reflexión exterior se puede saber cuál vidrio tendrá una apariencia más reflectiva y cuál tendrá una apariencia más transparente.



Imagen 39 Vidrio bajo emisivo Neutral 40 Guardian Glass.

Proyecto:

The Address Downtown

Dubai's newest lifestyle address, Address Boulevard.

Producto:

SUNGUARD®

HIGH PERFORMANCE

HP NEUTRAL 40

(Guardian Glass, The Address Downtown, 2010).

Image by Colin Hall from Pixabay

## Ejemplo 2: Especificación de un vidrio de control solar o bajo emisivo.

Tomando nuevamente de ejemplo en vidrio Neutral 40 de Guardian Glass en la siguiente configuración:

- 6 mm / 16 mm / 6 mm – coating en cara #2
- Vidrio 1 y Coating: SunGuard HP Neutral 40 sobre Claro
- Vidrio 2: Claro
- Espacio: 100% Aire

(Guardian Glass, SunGuard High Performance Neutral 40, 2020).

Esto puede redactarse en un proyecto arquitectónico de la siguiente manera:

Unidad de vidrio IG compuesta por: Vidrio Neutral 40 de Guardian Glass sobre Claro de 6mm #2 templado, más espacio de aire de 16mm, más vidrio Claro de Guardian Glass de 6mm recocido.

De esta manera en el párrafo anterior ya estarían definidos los espesores, los sustratos, el producto bajo emisivo elegido, la cara sobre la que estarán depositadas las capas de metales, el fabricante, la configuración y los procesos recomendados.

Todos estos conceptos deben ser analizados y recomendados por el fabricante, el asesor de fachadas o el proveedor, quién deberá tomar en cuenta:

- La ubicación del proyecto.
- La ubicación del vidrio en la fachada.
- Las cargas de viento.
- El estrés térmico.
- Las recomendaciones por seguridad.
- Las recomendaciones para el tipo de vidrio específico elegido.
- Las recomendaciones por objetivos de reducción acústica, si aplican.
- La consideración de los diferentes reglamentos y normas que apliquen en el proyecto.
- Las variables particulares del proyecto en específico

<sup>3</sup> Estrés térmico: Las tensiones (o estreses) inducidas térmicamente en el vidrio son causadas por una diferencia de temperatura positiva entre el centro y el borde de la placa de vidrio lo que significa que el centro del vidrio está más caliente que el borde. La expansión del centro del vidrio calentado da como resultado una tensión de tracción en el borde del vidrio. Si la tensión inducida térmicamente excede la resistencia del borde del vidrio, se producirá la fractura. (Vitró Vidrio Arquitectónico, Documento técnico del vidrio | TD-109, Actualización de Estrés Térmico, 2022)

## Recomendaciones

Para determinar las características adecuadas del vidrio para cada edificación será útil reflexionar las siguientes preguntas.

- ¿Cuál será el uso de la edificación? Si es un edificio de usos mixtos, el vidrio de cada nivel debe tener su especificación particular de acuerdo con su tipo de uso.
- ¿Cuál es la ubicación geográfica del edificio?
- ¿Se busca un aspecto reflectivo tipo espejo o un aspecto transparente?
- ¿Se busca un aspecto neutral o se desea un vidrio que tienda a un color específico?
- ¿Cuál es la orientación de las fachadas?
- ¿Cuántos m<sup>2</sup> de fachada son aproximadamente?
- ¿Cuántos niveles tiene el proyecto, qué altura total tiene y cuál es la altura de los entresijos?
- ¿Será una fachada completamente de vidrio continuo, tendrá algún diseño provocado por la cancelería expuesta, o será un diseño de macizos y vanos?
- ¿De qué tamaño son los vanos o los módulos de vidrio deseados?
- ¿Se cuenta ya con requerimientos específicos de valores de desempeño otorgados por algún especialista, como puede ser un asesor de aire acondicionado, un asesor de fachadas?
- ¿Se pretende que la edificación obtenga alguna certificación específica?
- ¿Se desea o requiere aislar el ruido exterior? ¿Existe ya un valor objetivo de reducción de decibeles determinado por un reglamento o un especialista?
- ¿Cuándo se comenzará la obra?
- ¿Cuándo se estima que se requerirá el vidrio en la obra para comenzar a cerrar las fachadas?
- ¿El inversionista planea rentar el inmueble o venderlo?
- ¿Con cuánto presupuesto se cuenta?

El siguiente paso que recomiendo es acercarse con un fabricante de vidrio, compartirle esas respuestas y solicitar su apoyo para desarrollar una especificación.

Será muy útil para el fabricante contar con los planos arquitectónicos del proyecto (plantas, cortes, fachadas y cortes por fachada) y de ser posible con el modelo en 3D o algunas imágenes del modelo. Compartir suficiente información ayudará a que se desarrolle una especificación detallada particular que cumpla con todos los reglamentos y normas aplicables y que, además logre el aspecto y la estética deseada. Si es necesario, puede solicitarse al fabricante la firma de un contrato de confidencialidad antes de compartirle toda la información. Esto generalmente solo se solicita para proyectos monumentales o para proyectos que por su giro así lo requieren por seguridad.

## Reflexiones

En este trabajo se procuró dejar plasmados los conceptos básicos que deben conocerse para poder tomar decisiones referentes al vidrio en las fachadas.

Es nuestra responsabilidad como pertenecientes al gremio de la arquitectura informarnos de la evolución en los materiales y equipos disponibles, así como mantenernos actualizados constantemente, ya que ahora más que nunca es de suma importancia hacer propuestas comprometidas con el cuidado ambiental y de preferencia que tomen el ahorro energético y de recursos naturales como fundamental.

Es normal encontrarnos con que cada influenciador involucrado en el proyecto tiene intereses diferentes, como por ejemplo, que el inversionista en ocasiones busque el producto de menor costo, el arquitecto persiga la estética, el bienestar de los usuarios y la habitabilidad del espacio y que otro influenciador involucrado persiga algún otro interés particular.

Es por eso que debemos tener las bases del conocimiento de lo que estamos especificando para que cuando por ejemplo, un inversionista cuestione el precio, nosotros podamos hablarle del retorno de inversión al usar un producto que provoque un menor consumo de energía eléctrica a largo plazo y un ahorro en los equipos y los consumos de aire acondicionado.

Por medio del diseño de las fachadas y el conocimiento de los vidrios, se puede planear la cantidad deseada de paso de luz natural y las áreas y vanos de ventilación, que son básicos para asegurar el bienestar de los usuarios, esto inclusive influirá en crear espacios más salubres y donde se generen menos enfermedades. Es posible también controlar por medio del vidrio la calidad de vistas y el contacto con los exteriores o la negación de los mismos según sea el caso, que dará a los usuarios un espacio que genere bienestar.

Es por todo esto la gran importancia que tiene cada línea que sugerimos en un proyecto y cada producto que elegimos para materializar una obra. Cada línea dibujada en un plano, en la vida real tiene una consecuencia y de nosotros dependerá que sea una aportación positiva para el usuario, para nuestro entorno y para el planeta en el que habitamos o que sea un desacierto.

También es importante relacionarnos con empresas que tengan una trayectoria basada en la ética para poder apoyarnos en sus recomendaciones y conseguir productos certificados y de buena calidad a largo plazo.

Existen muchos más valores técnicos relacionados con el vidrio, no obstante, los valores que dejo asentados en este documento son los básicos para tener un criterio de elección de vidrio con suficiente conocimiento.

Es recomendable solicitar siempre al fabricante de vidrio las muestras y las fichas con los valores técnicos de desempeño de los productos de interés y compararlas uno mismo.

---

Elaborar este documento ha sido sumamente satisfactorio y me llena de orgullo cerrar este ciclo universitario con un escrito que contiene una serie de conceptos que he conocido a lo largo de mi desempeño profesional. Especializarme en un tema relacionado con el ahorro energético es algo que me hace sentir realizada y congruente con la educación basada en contribuir positivamente a nuestro entorno a través de nuestra carrera, que recibí en la Facultad de Arquitectura.

Ahí me enseñaron a buscar el conocimiento y la actualización constante y también que la integridad y los valores son un aspecto sumamente importante en la vida profesional.

En la Facultad de Arquitectura se refuerza constantemente que los arquitectos egresados debemos desempeñarnos con ética y trabajar con calidad para contribuir positivamente a la arquitectura actual.

Durante mi estancia como alumna en la Facultad de Arquitectura tuve la oportunidad de adquirir una gran variedad y cantidad de conocimientos que cimentaron las bases para mi desarrollo laboral. Fue gracias a esa formación tan robusta y de alta calidad que al desempeñarme en la vida profesional he contado con la posibilidad de elegir colaborar con diversas empresas de mi interés para profundizar en áreas específicas relacionadas con la arquitectura.

He podido corroborar que los alumnos egresados de la Facultad de Arquitectura de la UNAM somos capaces de aportar un gran valor a la sociedad por medio de nuestro trabajo y he tenido la posibilidad de coincidir con compañeros de varias generaciones que están haciendo grandes papeles en nuestro gremio.

Tener el privilegio y la fortuna de estudiar en la UNAM es algo que, si bien valoré en mi paso por la escuela, cuando egresé y durante todos estos años de trabajo es cuando realmente he entendido la magnitud de lo aprendido. Es ahora que puedo notar con claridad y reconocer las posibilidades infinitas que nuestra Universidad nos brinda para adquirir conocimiento. Los acercamientos con grandes figuras de la arquitectura actual, la excelencia de la plantilla de docentes de los que tuve y tengo la dicha de seguir aprendiendo, la diversidad de herramientas con las que se cuenta, de foros, eventos, representaciones, exposiciones, espectáculos, conferencias y cursos que complementan los estudios y abren la mente a nuevas maneras de entender la vida.

Tener tal posibilidad de acercamiento a diferentes modos de expresión me enseñó a entender que la diversidad de formas de pensar y puntos de vista genera riqueza intelectual y social. Así mismo, este universo de recursos y posturas intelectuales me enseñó a valorar la pluralidad en los equipos de trabajo escolares y profesionales de los que he formado parte, a reconocer que las diferencias de pensamiento y percepción son algo beneficioso y que cada persona tiene fortalezas particulares y valiosas. Es la suma de todas esas fortalezas en colaboración lo que puede generar un cambio positivo en nuestro mundo.

Estudiar en la UNAM me transformó por completo de una adolescente a una mujer adulta, responsable y consciente del impacto que causa el desempeño de cada egresado en la sociedad. De ahí egresé siendo una mujer con plena confianza en las bases profesionales adquiridas en la Facultad de Arquitectura, con el impulso de siempre continuar avanzando y llegar más lejos.

Ser egresada de la UNAM es un honor, es tanto lo que te ofrece durante toda la vida el pertenecer a la comunidad universitaria de la UNAM, que las palabras no son suficientes para agradecer todas esas posibilidades infinitas.

Siempre estaré agradecida de haber contado con el privilegio de estudiar ahí y representaré dignamente a la Facultad de Arquitectura y a la Universidad Nacional Autónoma de México.

## Glosario

**Coefficiente de ganancia de calor solar (Solar heat gain coefficient, SHGC):** Es la fracción de la radiación solar admitida a través de una ventana, puerta o tragaluz, ya sea transmitida directamente y/o absorbida, y posteriormente liberada como calor dentro de un inmueble.

**Doble acristalamiento:** El doble acristalamiento convencional consiste en dos paneles de vidrio colocados a una distancia de 12 mm hasta 20 mm. El espacio interior entre los paneles contiene aire o un gas inerte como argón o criptón, que reducen la transferencia de calor.

**Estrés térmico:** Las tensiones (o estreses) inducidas térmicamente en el vidrio son causadas por una diferencia de temperatura positiva entre el centro y el borde de la placa de vidrio lo que significa que el centro del vidrio está más caliente que el borde. La expansión del centro del vidrio calentado da como resultado una tensión de tracción en el borde del vidrio. Si la tensión inducida térmicamente excede la resistencia del borde del vidrio, se producirá la fractura.

**Ganancia lumínica solar – LSG:** La relación existente entre SHGC (coeficiente de ganancia de calor solar) y VLT (transmisión de luz visible) se denomina Relación de Ganancia Lumínica solar (LSG, por sus siglas en inglés). Indica la eficiencia relativa de los distintos tipos de vidrio para transmitir la luz natural al tiempo que bloquean el ingreso de calor. A mayor relación, mayor iluminación, sin recibir cantidades excesivas de calor.

**Plástico intercalador:** Polímero orgánico de alto peso molecular, en forma de hoja, lámina o resina polimerizada, que se adhiere al vidrio de manera permanente, para darle las características del vidrio inastillable.

**P.V.B. Polivinil butiral:** Es un tipo de plástico intercalador utilizado para la fabricación del vidrio inastillable, cuyos espesores nominales son 0,38, 0,76, 1,04, 1,52 mm y sus múltiplos.

**Radiación Ultravioleta (UV):** Luz solar, que por su longitud de onda (menor a 380 nanómetros) ocasiona la degradación, y decoloración de diversos compuestos orgánicos, incluyendo plástico.

**Reflectancia:** Capacidad de un cuerpo de reflejar la luz.

**Tintado:** Cualquier color que se agrega al vidrio de seguridad y/o protección para darle tonos diferentes.

**Transmisión de luz visible (VLT por sus siglas en inglés):** También llamada Transmittance, es la cantidad de luz que se transmite a través del sistema de acristalamiento en la porción del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir.

**Unidad de vidrio aislante (UVA):** También llamado acristalamiento múltiple o acristalamiento con cámara, es un acristalamiento formado por dos o más láminas de vidrio sin contacto directo entre ellas, dispuestas paralelamente y formando una sola unidad.

**Valor U:** Conocido también como coeficiente de transferencia del calor o coeficiente de transmisión de calor, es la velocidad a la que una ventana, puerta o tragaluz conduce un flujo de calor no solar (conductividad térmica). Por lo general, se expresa en unidades de Btu / hr-ft<sup>2</sup>-oF.

**Vidrio:** Es una sustancia amorfa, resultado de la fusión, enfriamiento y solidificación de una mezcla de silicatos y otros óxidos, los cuales le confieren sus características mecánicas y de color (vidrio monolítico o recocido).

**Vidrio de contención:** Es aquel que además de actuar como vidrio de seguridad, aun después de romperse, mantiene cierta integridad brindando protección ante acciones de impactos, retardando la penetración de cualquier objeto.

**Vidrio curvado:** El vidrio curvado recocido se obtiene a partir del calentamiento lento de un vidrio plano que, al alcanzar su punto de plasticidad, comienza a caer y se adapta en un molde de acero ajustable a diferentes radios o hecho a medida.

**Vidrio flotado o recocido:** Es aquel que se obtiene a través del proceso de fabricación mediante el cual una masa continua de vidrio, proveniente de los hornos de fusión, flota sobre la superficie de un metal fundido, por lo común estaño, a una temperatura cuidadosamente controlada. La superficie plana del metal fundido da al vidrio, a medida que se enfría, una superficie lisa sin deformaciones. Después de un enfriamiento suficiente, el vidrio se vuelve rígido y se puede manejar bajo rodillos, sin dañar el acabado superficial.

**Vidrio laminado o inastillable:** Es el vidrio de seguridad y contención que puede incorporar cualquier tipo de vidrio (ejemplos no limitativos: flotado, templado, semitemplado, reflectivo, impreso y serigrafiado) y de plástico intercalador, que al romperse la mayoría de sus fragmentos quedan adheridos al plástico intercalador.

**Vidrio de seguridad:** Es aquel que reduce el riesgo de sufrir cortaduras o lesiones que pongan en peligro la integridad física de una persona, derivadas de que, al romperse, sus fragmentos puedan estar en contacto con ésta.

**Vidrio semitemplado o termoendurecido:** Es un vidrio al que se le ha aplicado un tratamiento a base de calor con el fin de mejorar sus propiedades y conseguir mejor resistencia térmica y mecánica.

**Vidrio spandrel:** Es una aplicación de "no visión" diseñada para ser opaca con el fin de ayudar a oscurecer los espacios entre los pisos de un edificio, incluidos el aislamiento térmico, las rejillas de ventilación, los cables, las losas de concreto y el equipo mecánico.

**Vidrio templado:** Es el vidrio que, al ser sometido a un tratamiento, adquiere un aumento de su resistencia a los esfuerzos de origen mecánico y a los esfuerzos térmicos

## Fuentes de información

- Alfonso Garzón, C. A. (2018). *Análisis de diferentes clases de vidrio, para la elaboración de una herramienta gráfica que considere sus características térmicas, físicas y ópticas*. [Tesis de Maestría, U Católica de Colombia]. Sitio web: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16109/1/Documento%20Tesis%20FINAL.pdf>.
- AMEVEC. (2013). *Norma Mexicana NMX-R-060-SCFI-2013: Ventanas: clasificaciones y especificaciones*. AMEVEC Asociación Mexicana de Ventanas y Cerramientos, 163-166. <http://www.amevec.mx/normativa/NMX-R-060-SCFI-2013.pdf>
- Asociación de Ciencias Ambientales (ACA). (s. f.). *Eficiencia Energética de Ventanas*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Asociación de Ciencias Ambientales. Sitio web: <https://www.cienciasambientales.org.es/index.php/conoce-la-energia-de-tu-vivienda/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica-ventanas>
- Camarglass. (2020, 9 junio). *Definiciones y datos técnicos*. Recuperado 9 de marzo del 2021, de Camarglass. Sitio web: <https://www.camarglass.com/definiciones-y-datos-tecnicos/>
- CLF Glass. (2016). *Información técnica sobre el vidrio*. Recuperado 9 de marzo del 2021, de Cristalería Las Fuentes Glass. Sitio web: <http://www.clfglass.com/procesos/informacion-tecnica-sobre-el-vidrio/>
- Construnario. (2010, 29 enero). *El vidrio de Guardian recubre el Burj Khalifa, el edificio más alto del mundo*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Construnario. Sitio web: <https://www.construnario.com/notiweb/24984/el-vidrio-de-guardian-recubre-el-burj-khalifa-el-edificio-mas-alto-del-mundo/#:%7E:text=En%20su%20construcci%C3%B3n%20se%20han,residencial%20adyacente%20a%20la%20torre.>

- Diario Oficial de la Federación. (2016, 28 octubre). *Norma Oficial Mexicana NOM-146-SCFI-2016: Productos de vidrio - Vidrio de seguridad usado en la construcción - Especificaciones y métodos de prueba*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Diario Oficial de la Federación. Sitio web: [https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/6411/seeco11\\_C/seeco11\\_C.html#:~:text=Es%20el%20vidrio%20de%20seguridad,quedan%20adheridos%20al%20pl%C3%A1stico%20intercalador](https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/6411/seeco11_C/seeco11_C.html#:~:text=Es%20el%20vidrio%20de%20seguridad,quedan%20adheridos%20al%20pl%C3%A1stico%20intercalador)
- Energy Saver. (s.f.). *Energy Performance Ratings for Windows, Doors, and Skylights*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Energy Saver. Sitio web: [https://www.energy.gov/energysaver/design/windows-doors-and-skylights/energy-performance-ratings-windows-doors-and#:~:text=Solar%20heat%20gain%20coefficient%20\(SHGC,the%20greater%20its%20shading%20ability](https://www.energy.gov/energysaver/design/windows-doors-and-skylights/energy-performance-ratings-windows-doors-and#:~:text=Solar%20heat%20gain%20coefficient%20(SHGC,the%20greater%20its%20shading%20ability)
- Energy Star. (s.f.). *Independently Tested and Certified Energy Performance*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Energy Star. Sitio web: [https://www.energystar.gov/products/building\\_products/residential\\_windows\\_doors\\_and\\_skylights/independently\\_tested\\_certified\\_energy\\_performance](https://www.energystar.gov/products/building_products/residential_windows_doors_and_skylights/independently_tested_certified_energy_performance)
- Glass Caribe. (s.f.). *Vidrio low-e*. Recuperado 23 de diciembre de 2021, de Glass Caribe. Sitio web: <https://glasscaribe.com/vidrio-low-e/>
- Gobierno de Navarra. (s.f.). *Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente: GuardianIndustriesAR1177\_095*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Navarra. Sitio web: [https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/B0DA49E5-36DF-4079-9391-B9991D6B2F9B/131792/GuardianIndustriesAR1177\\_095.pdf](https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/B0DA49E5-36DF-4079-9391-B9991D6B2F9B/131792/GuardianIndustriesAR1177_095.pdf)
- Guardian Glass. (2019). *Fundamentos del vidrio*. Recuperado 9 de marzo del 2021, de Guardian Glass. Sitio web: <https://www.guardianglass.com/mx/es/tools-and-resources/recursos/fundamentos-de-vidrio>

- Guardian Glass. (2019). *Vidrio entintado*. Recuperado 9 de marzo del 2021, de Guardian Glass. Sitio web: <https://www.guardianglass.com/mx/es/products/glass-type/vidrio-entintado>
- Guardian Glass. (2020). *Luz Visible*. Recuperado 9 de marzo del 2021, de Guardian Glass. Sitio web: <https://www.guardianglass.com/mx/es/tools-and-resources/recursos/glosario-de-vidrio/luz-visible>
- Guardian Glass. (2020). *Performance Comparison Tool*. Recuperado 9 de marzo del 2021, de Guardian Glass. Sitio web: <https://tools.guardianglass.com/us/en/performance/compare#results>
- Guardian Glass. (2020). *Project: Evolution*. Recuperado 9 de marzo del 2021, de Guardian Glass. Sitio web: <https://www.guardianglass.com/ru/en/projects/project-detail/evolution-tower>
- Guardian Glass. (2020). *Project: The Address Downtown*. Recuperado 9 de marzo del 2021, de Guardian Glass. Sitio web: <https://www.guardianglass.com/me/en/projects/project-details/the-address-boulevard>
- Guardian Glass. (2011). *SunGuard® Build With Light™ Información Técnica*. Recuperado 26 de diciembre del 2021 de DocPlayer. Sitio web: <https://docplayer.es/11394435-Guardian-sunguard-informacion-tecnica-build-with-light.html>
- Guardian Glass. (2020). *SunGuard High Performance Neutral 40*. Recuperado 9 de marzo del 2021, de Guardian Glass. Sitio web: <https://www.guardianglass.com/me/en/products/brands/sunguard/high-performance/neutral-40>
- Guardian Glass. (2020). *SunGuard Solar Silver 20*. Recuperado 9 de marzo del 2021, de Guardian Glass. Sitio web: <https://www.guardianglass.com/mx/es/products/marcas/sunguard/solar/silver-20>

- Guardian Glass. (2020). *Vidrio-low-e*. Recuperado 9 de marzo del 2021, de Guardian Glass. Sitio web: <https://www.guardianglass.com/mx/es/tools-and-resources/recursos/faqs/comercial/que-es-low-e>
- McLay Industries. (s.f.). *Reflective and low-E coated glass*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de McLay Industries. Sitio web: [https://www.efficientenergychoices.com.au/files/Lowe%20Glazing%20NGP\\_Section\\_03.pdf](https://www.efficientenergychoices.com.au/files/Lowe%20Glazing%20NGP_Section_03.pdf)
- Mesurex (2021). *Control de temperatura en la fabricación de vidrio*. Recuperado 22 de diciembre de 2021, de Mesurex. Sitio web: [flotadohttps://mesurex.com/control-de-temperatura-en-la-fabricacion-de-vidrio-flotado/](https://mesurex.com/control-de-temperatura-en-la-fabricacion-de-vidrio-flotado/)
- Museo del Vidrio. (2009). *FAQ Preguntas Frecuentes*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Museo del Vidrio. Sitio web: <https://www.museodelvidrio.com/investigacion/faq.htm>
- Pilkington. (2021). *Pilkington Spacia*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Pilkington. Sitio web: <https://www.pilkington.com/es-mx/mx/productos/categorias-de-producto/aislamiento-termico/pilkington-spacia>
- Pontevedresa. (s.f.). *Línea de vidrio curvo recocido*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Pontevedresa Group. Sitio web: <https://www.pontevedresagroup.com/tipos-de-vidrio/linea-de-vidrio-curvo-recocido/>
- Rafael Almanza Salgado y Jesús Chávez Galán . (2016). *Filtros solares y ahorro de energía*. Gaceta del Instituto de Ingeniería de la UNAM, órgano informativo IIUNAM, Vol. 1 Núm. 55 , 9-13.
- Red de Energía Solar. (s.f.). *Recubrimientos de baja emisividad: Escudos para combatir el calor*. Recuperado 26 de diciembre de 2021, de Red de Energía Solar, CONACYT, UNAM. Sitio web: <https://redsolar.ier.unam.mx/wp-content/uploads/2018/12/Recubrimientos-de-baja-emisividad-escudos-para-combatir-el-calor.pdf>.

- RYOL. (2018). *Semitemplado – Templados Ryol*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Ryol. Sitio web: <https://templadosryol.com.mx/services/semitemplado/>
- Saint-Gobain Building Glass. (s.f.). *Asesoramiento Técnico - Glosario*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Saint-Gobain Building Glass. Sitio web: <https://es.saint-gobain-building-glass.com/es/glosario-tecnico>
- Saint-Gobain Sekurit. (s.f.). *Introducción del vidrio*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Saint-Gobain Sekurit. Sitio web: <https://www.saint-gobain-sekurit.com/es/glossary/introduccion-del-vidrio#:~:text=La%20sustancia%20se%20introduce%20en,f%C3%ADsicas%20y%20qu%C3%ADmicas%20del%20vidrio.>
- Val & Val. (s.f.). *Cristal plano templado y semi-templado: Val & Val*. Recuperado 21 de diciembre de 2021, de Val & Val. Sitio web: <https://valyval.com.mx/uncategorized/cristal-plano-templado-y-semi-templado/>
- Val & Val. (s.f.). *Productos: Val & Val*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Val & Val. Sitio web: <https://valyval.com.mx/productos/>
- Vidriopanel. (2018, 4 diciembre). *Todo lo que debes saber sobre el vidrio templado*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Vidriopanel. Sitio web: <https://www.vidriopanel.es/blog/todo-lo-que-debes-saber-sobre-el-vidrio-templado/>
- Vitro Architectural Glass. (s.f.). *Key Glass Performance Measures*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Vitro Architectural Glass: Glass Education Center. Sitio web: <http://glassed.vitroglazings.com/topics/key-glass-performance-measures>
- Vitro Vidrio Arquitectónico. (2020). *Ficha Técnica: Vidrio Neutral Claro*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Vitro. Sitio web: <https://www.vitroglazings.com/media/vntko0ak/ficha-tecnica-claro.pdf>

- Vitro Vidrio Arquitectónico. (2021). *Conceptos Básicos del Vidrio*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Vitro. Sitio web: <https://www.vitroglazings.com/es/nosotros/preguntas-frecuentes/>
  
- Vitro Vidrio Arquitectónico (2022). Documento técnico del vidrio | TD-109, Actualización de Estrés Térmico, 3. <https://www.vitroglazings.com/media/adhf42qt/final-vitro-td-109-esp%C3%B1ol.pdf>
  
- Vitro Vidrio Arquitectónico. (2021). *Vidrio Spandrel*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Vitro. Sitio web: <https://www.vitroglazings.com/es/productos/aplicaciones-especiales/vidrio-spandrel/#:~:text=A%20diferencia%20del%20vidrio%20de,los%20cables%2C%20las%20losas%20de>
  
- Vitro Vidrio Arquitectónico. (2021). *Vidrios de Baja Emisividad (low-e)*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Vitro. Sitio web: <https://www.vitroglazings.com/es/productos/vidrio-de-baja-emisividad-low-e/>
  
- Vitro Vidrio Arquitectónico. (s.f.). *Vidrios Arquitectónicos de Baja Emisividad (Low-E) y Control Solar: Beneficios Energéticos, Económicos y Ambientales*. Recuperado 9 de marzo de 2021, de Vitro. Sitio web: [https://www.vitroglazings.com/media/obplzxnw/white-paper\\_vidrios-arquitectonicos.pdf](https://www.vitroglazings.com/media/obplzxnw/white-paper_vidrios-arquitectonicos.pdf)

## Índice de imágenes

|   |    |
|---|----|
| Imagen 1. Materias primas en la elaboración del vidrio.....                                   | 3  |
| Imagen 2. Vidrio flotado.....   | 3  |
| Imagen 3. Vidrios de colores.....   | 4  |
| Imagen 4. Esquema de planta de fabricación del vidrio flotado o recocido.....                 | 4  |
| Imagen 5. Silos que contienen la materia prima.....   | 5  |
| Imagen 6. Cámaras cerradas en planta de fabricación de vidrio.....                            | 5  |
| Imagen 7. Sección abierta en la plana de fabricación de vidrio.....                           | 5  |
| Imagen 8. Área de inspección y corte.....   | 5  |
| Imagen 9. Esquema de vidrio laminado doble y triple.....                                      | 6  |
| Imagen 10. Vidrio laminado.....   | 6  |
| Imagen 11. Vidrio templado.....   | 7  |
| Imagen 12 Comportamiento de cada tipo de vidrio al someterse a un impacto.....                | 9  |
| Imagen 13 Vidrio recocido o semi-templado.....  | 9  |
| Imagen 14 Vidrio templado + laminado.....   | 9  |
| Imagen 15 Diagrama para la definición de vidrios de seguridad.....                            | 10 |
| Imagen 16 Diagrama para la definición de utilización de vidrios de seguridad en ventanas..... | 11 |
| Imagen 17 y 18 Vidrio curvado.....  | 12 |
| Imagen 19, 20 y 21 Vidrio Spandrel.....   | 12 |
| Imagen 22 Esquema de vidrio insulado (IG) doble acristalado y triple acristalado.....         | 13 |
| Imagen 23 Vidrio de control Solar reflectivo.....   | 16 |
| Imagen 24 Vidrio de control Solar bajo emisivo (low-e).....                                   | 17 |
| Imagen 25 Representación esquemática de capas de metales sobre el vidrio.....                 | 19 |
| Imagen 26 Configuraciones de vidrio comunes.....  | 20 |
| Imagen 27 Funcionamiento de un vidrio bajo emisivo.....                                       | 21 |
| Imagen 28 Transmisión de luz visible.....   | 22 |
| Imagen 29 Reflectancia exterior de vidrio flotado.....  | 23 |
| Imagen 30 Reflectancia exterior de vidrio reflectivo.....                                     | 23 |
| Imagen 31 Reflectancia interior.....  | 24 |
| Imagen 32 Solar heat gain coefficient, SHGC.....  | 25 |
| Imagen 33 Valor "U".....  | 26 |
| Imagen 34 Valor "U" alto.....   | 27 |
| Imagen 35 y 36 Valor "U" bajo.....  | 27 |
| Imagen 37 Ganancia lumínica solar, LSG.....   | 28 |
| Imagen 38 Tabla comparativa de valores: Vidrio Neutral 40 vs. Flotado claro.....              | 29 |
| Imagen 39 Vidrio bajo emisivo Neutral 40 Guardian Glass.....                                  | 29 |