





# Manual del Vidrio Plano

**CAVIPLAN**   
Cámara del Vidrio Plano y sus Manufacturas de la República Argentina



A la memoria de Miguel Ángel López,  
Marcos Glazer  
y Aron Glatstein

DERECHOS RESERVADOS

Copyright by CAVIPLAN

Prohibida la reproducción total o parcial por cualesquiera  
medios sin la autorización escrita del Editor. (Ley 11.723).

**4ª edición** ■

Redacción, investigación, recopilación  
y actualización a cargo del equipo  
de Asesores Técnicos de Caviplan





INDICE		Página
Capítulo 1:	¿Qué es el vidrio?	11
	Tipos de vidrio según su composición química	11
	Tipos de vidrio sodo-cálcicos según su uso	13
	Propiedades mecánicas del vidrio	14
	Fabricación de vidrio	17
Capítulo 2:	Tipos de vidrio para la construcción - vidrios básicos	21
	Float incoloro	21
	Float color	21
	Vidrio armado	22
	Vidrio impreso	22
	Vidrio difuso	23
Capítulo 3:	Tipos de vidrio para la construcción - vidrios procesados	25
	Vidrios tratados térmicamente	25
	Vidrios grabados al ácido	27
	Vidrios esmaltados	28
	Vidrios serigrafiados	28
	Vidrios reflectivos (con coating)	29
	Vidrios laminados	33
	Doble vidriado hermético (DVH)	35
Capítulo 4:	Mecanismos de Transmisión de Calor en Vidrios	39
	Mecanismos de Transmisión de Calor en los Materiales	40
	La Transmisión del Calor en Vidrios	40
	El Uso de los Vidrios para el Control de la Transmisión de Calor	45
Capítulo 5:	Ahorro de energía	49
Capítulo 6:	Mecanismos de transmisión acústica en vidrios	55
	Conceptos básicos de acústica	55
	Pérdida de transmisión acústica en vidrios	59
Capítulo 7:	Vidriado de seguridad	67
	Safety: seguridad para las personas	67
	Áreas de riesgo para vidrio verticales e inclinados	68
	Normas IRAM sobre seguridad de las personas	69
	Criterios para seleccionar vidrios de seguridad	70
	Security: seguridad para los bienes	70
	Vidrio antivandalismo	72
	Vidrio antiexplosiones	72
	Vidrio antibala	73
Capítulo 8:	Stress térmico	75
	Causa de fracturas por stress térmico	75
	Como prevenir la fractura por stress térmico	76
Capítulo 9:	Instalación de vidrios	81
Capítulo 10:	Selladores	89
	Burletes	92
Capítulo 11:	Normas de calidad para los productos de vidrio	95
	Cálculo del espesor adecuado según presión del viento	97
Capítulo 12:	Selección de vidrios	103
Capítulo 13:	Aplicaciones especiales	107
	Vidrio para tapas de mesa	108
	Vidrio para techos	110
	Vidrio fusing	114
Capítulo 14:	Vidrios Antifuego	121
Capítulo 15:	Ley de vidrio seguro	125



# Capítulo 1

## ¿QUE ES EL VIDRIO?

El vidrio ha sido usado por el hombre desde hace milenios. Posiblemente sea el material más viejo fabricado por el ser humano y que aún continúa afectando la vida presente. El vidrio está presente en formas tan diversas como: ventanas, vasos, envases de todo tipo, telescopios, en la industria nuclear como escudo de radiación, en electrónica como sustrato sólido para circuitos, en la industria del transporte, de la construcción, etc.

Por sus características intrínsecas (brillantez, resistencia al uso, transparencia, etc.), es un material difícilmente sustituible (y, a veces, realmente insustituible) en la mayoría de sus aplicaciones.

Igualmente remarcable es la disponibilidad de las materias primas usadas para producirlo, especialmente su componente más importante: la sílice (que se encuentra en la arena). El vidrio es un material amorfo producido por la fusión de sílice y aditivos a muy altas temperaturas. Al enfriar se convierte en un material duro y brillante sin estructura de grano (lo cual determina muchas de sus propiedades, como veremos más adelante).

Pero el término “vidrio” no es claro. A diferencia de otros productos usados cotidianamente, la palabra “vidrio” no describe exactamente una composición y propiedades específicas del producto. Esto es porque “vidrio” define -en realidad- un estado de la materia (como “gas”, “líquido” o “sólido cristalino”). Más correctamente: un “vidrio” es un sólido no cristalino, aunque realmente esta definición no nos lleva muy lejos (muchos plásticos también son sólidos no cristalinos). Una verdadera definición de “vidrio” está aún pendiente.

El producto que llamamos vidrio es una sustancia dura, normalmente brillante y transparente, compuesta principalmente de silicatos y álcalis fusionados a alta temperatura. Se lo considera un sólido amorfo, porque no es ni sólido ni líquido, sino que existe en un estado vítreo.

Los componentes principales del vidrio, como ya se dijo, son productos que se encuentran fácilmente en la naturaleza: sílice, cal y carbonato de sodio. Los materiales secundarios son usados para conferirle propiedades especiales o para facilitar el proceso de fabricación. De la mezcla de los materiales secundarios con las materias primas básicas en el porcentaje correcto se pueden obtener diferentes tipos de vidrio, los cuales pueden ser clasificados de acuerdo a su composición química. Dentro de cada tipo, a su vez, hay numerosas composiciones distintas.

Una posible clasificación de los vidrios según su composición química, sería la siguiente:

- Vidrio sodo- cálcico
- Vidrio plomado
- Vidrio borosilicato
- Vidrio especiales

## TIPOS DE VIDRIOS SEGUN SU COMPOSICION QUIMICA

### 1. Vidrio sodo-cálcico

Este es el vidrio comercial más común y el menos costoso. El amplio uso de este tipo de vidrio es debido a sus importantes propiedades químicas y físicas. El vidrio sodo-cálcico es primariamente usado para:

- envases (botellas, jarros, vasos de uso diario, etc.) y
- vidrio para ventanas (en la industria de la construcción y en la industria automotriz).

Para fabricarlo es necesario fundir la sílice, la cual lo hace a una temperatura muy alta (1700°C). Para reducir esa temperatura de fusión y hacer la masa más manejable, se le agrega soda (carbonato de sodio). Pero el vidrio así obtenido es suave y no muy durable, por lo que se debe agregar cal (carbonato de calcio) para aumentar su

dureza y durabilidad química. Otros óxidos se agregan por otras varias razones, o son impurezas naturales de las materias primas. Por ejemplo, el aluminio eleva la duración química aún más y aumenta la viscosidad en los rangos de temperaturas más bajos. El óxido de plomo en cantidades moderadas aumenta la durabilidad, y en altas cantidades baja el punto de fusión y disminuye la dureza. También incrementa el índice de refracción y es por lo tanto el aditivo más usado para vidrios de decoración con alto brillo. Los vidrios con boro tienen alta resistencia a la corrosión química y los cambios de temperatura.

La propiedad más importante del vidrio sodo-cálcico es su elevada capacidad de transmisión de la luz, lo que lo hace adecuado para usar como vidrio en ventanas. Además su superficie suave y no porosa lo hace especialmente apto para ser usado como envases pues resulta fácil de limpiar y, debido a la inercia química del vidrio sodo-cálcico, éste no contaminará el contenido ni afectará el sabor de los elementos guardados allí.

Un típico vidrio sodo-cálcico está compuesto de 71 a 75% en peso de arena ( $\text{SiO}_2$ ), 12-16% de soda (óxido de sodio de la materia prima carbonato de sodio), 10-15% de cal (óxido de calcio de la materia prima carbonato de calcio) y un bajo porcentaje de otros materiales para propiedades específicas tales como el color.

Una de las mayores desventajas del vidrio sodo-cálcico es su relativamente alta expansión térmica, por lo que posee una resistencia relativamente pobre a cambios súbitos de temperatura. Esta limitación debe ser tomada en cuenta al instalar un vidrio en una ventana (ver stress térmico capítulo 7)

Además el vidrio sodo-cálcico no es resistente a químicos corrosivos.

## 2. Vidrio plomado:

Si se utiliza óxido de plomo en lugar de óxido de calcio, y óxido de potasio en lugar de todo o la mayoría del óxido de sodio, tendremos el tipo de vidrio comúnmente llamado cristal plomado. El óxido de plomo se agrega para bajar la temperatura de fusión y la dureza y también elevar el índice de refracción del vidrio.

Un típico vidrio plomado está compuesto de 54-65% de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), 18-38% de óxido de plomo ( $\text{PbO}$ ), 13-15% de soda ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) o potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), y varios otros óxidos. Se pueden usar dos tipos diferentes de óxido de plomo: el  $\text{PbO}$  y el  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ , éste último preferido por su mayor porcentaje de oxígeno presente.

Vidrios del mismo tipo pero conteniendo menos que 18% de  $\text{PbO}$  son conocidos simplemente como cristal.

Por su alto índice de refracción y su superficie relativamente suave, el vidrio plomado es usado especialmente para decoración a través del pulido, corte y/o tallado de su superficie (vasos para beber, jarrones, bols, o ítems decorativos); también es ampliamente usado en vidrios modernos, particularmente en cristales y ópticas. Se lo suele usar para aplicaciones eléctricas por su excelente aislamiento eléctrico. Asimismo es utilizado para fabricar los tubos de termómetros y todo tipo de vidrio artístico.

El vidrio plomado no resiste altas temperaturas o cambios súbitos en temperatura y su resistencia a químicos corrosivos no es buena.

El vidrio con un contenido aún mayor de plomo (típicamente 35%) es el recomendado para ser usado como pantalla de radiación porque es bien conocida la habilidad del plomo de absorber los rayos gamma y otras formas de radiación peligrosa. Se lo observa con frecuencia en laboratorios radiológicos.

Este tipo de vidrio es más caro que el vidrio sodo-cálcico.

## 3. Vidrio borosilicato

El vidrio borosilicato es cualquier vidrio silicato que contenga al menos 5% de óxido bórico en su composición. Este vidrio tiene mayor resistencia a los cambios térmicos y a la corrosión química.

Gracias a estas propiedades, el vidrio borosilicato es adecuado para uso en la industria química de procesos, en

laboratorios, ampollas y frascos en la industria farmacéutica, en bulbos para lámparas de alto poder, como fibra de vidrio para refuerzos textiles y plásticos, en vidrios fotocromicos, artículos de laboratorios, elementos de uso en las cocinas (planchas eléctricas, fuentes para el horno) y otros productos resistentes al calor, vidrios para unidades selladas de vehículos, etc.

Un típico vidrio borosilicato está compuesto de un 70 a 80% de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), un 7 a 13% de ácido bórico ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), un 4-8% de óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y óxido de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), y un 2 a 7% de óxido de aluminio ( $\text{AL}_2\text{O}_3$ ).

#### 4. Vidrios especiales

Se pueden inventar vidrios con propiedades específicas para casi cualquier requerimiento que se pueda imaginar. Sus composiciones son diversas e involucran numerosos elementos químicos. Así pueden obtenerse vidrios especiales para uso en diversos campos tales como en química, farmacia, electro-tecnología, electrónica, óptica, aparatos e instrumentos, etc. Podemos citar como ejemplos:

- Vidrio aluminio-silicato: tiene óxido de aluminio en su composición. Es similar al vidrio borosilicato pero tiene una mayor durabilidad química y puede soportar temperaturas de operación más altas. Comparado con el borosilicato, el vidrio aluminio-silicato es más difícil de fabricar. Cuando se lo cubre con un film conductivo, el vidrio aluminio-silicato es usado para circuitos electrónicos.
- Vidrio de silicio 96%: se obtiene a partir de un vidrio borosilicato fundido, al que se le remueven casi todos los elementos no silicatos. Este vidrio es resistente a shocks térmicos superiores a 900°C.
- Vidrio de sílice fundida: es dióxido de silicio puro en un estado no cristalino. Es muy difícil de fabricar, por lo que es el más caro de los vidrios. Pueden sostener temperaturas de operación de arriba de 1200°C por períodos cortos.
- Vidrio con bajo contenido de hierro: posee muy bajo contenido de óxido de hierro en su composición, lo que lo hace notablemente más transparente que el incoloro estándar. Los usos principales son: cuando se requiere una alta transmisión de luz natural, cuando se quiere evitar que la tonalidad del vidrio distorsione la visión a través del mismo o en aplicaciones que dejan expuesto el borde y no es deseable el tono verdoso del vidrio incoloro común. Un vidrio de 4mm de espesor tiene un porcentaje de transmisión de la luz visible del 92% por lo que se lo utiliza en colectores solares y paneles fotovoltaicos. Se usa también en multilaminados de grandes espesores como vidrios de seguridad antibala, pisos de vidrio o vidrio contra fuego.

#### TIPOS DE VIDRIOS SODO-CALCICOS SEGUN SU USO

En este libro nos ocuparemos únicamente de los vidrios sodo-cálcicos, de los cuales ya hemos especificado su composición química. Veamos ahora una clasificación de los mismos según su uso, la cual podría ser la siguiente:

- VIDRIO PLANO (fabricado en líneas automáticas)
  - para uso en construcción: ventanas, curtain wall, fachadas templadas, etc.
  - para uso en automotores: parabrisas, lunetas traseras, vidrios laterales, espejos retrovisores, tanto para automóviles particulares como para transporte de pasajeros (terrestre y ferrocarril), maquinarias agrícolas, etc.
  - para uso en artículos electrodomésticos: la llamada línea blanca (hornos de cocina, heladeras, calefones, etc.).
  - Para uso en refrigeración: puertas de heladeras exhibidoras, etc.
- VIDRIO HUECO (fabricado por soplado automático o manual)
  - para uso en envases: botellas, frascos, etc.
- VIDRIO PARA DECORACION (elaborado por el método conocido como fusing) (ver capítulo 12)
  - Muebles de vidrio: bachas para baños, mesas pequeñas, etc.
  - Objetos varios para decoración (producidos normalmente en forma artesanal): platos, floreros, collares, ceniceros, vasos, etc.

- VIDRIO ARTISTICO (elaborado por fusing y/o soplado manual )  
-Todo tipo de objetos con aplicaciones no funcionales sino artísticas.

En este manual nos ocuparemos exclusivamente del *vidrio sodo-cálcico plano para uso en la Industria de la Construcción*, por lo que la palabra vidrio - en el resto del texto - deberá ser extendida como referida a este tipo de vidrio.

## PROPIEDADES MECANICAS DEL VIDRIO

### La Elasticidad del vidrio

Si se ejerce un empuje en el centro de una placa de vidrio, o si se trata de doblarla, veremos que ésta, en efecto, se doblará. No mucho realmente, pero algún grado de curvado o doblado es posible. De hecho, las reflexiones que se producen en un vidrio grande cuando un viento fuerte incide sobre él, son debidas a que el vidrio se dobla por la presión del viento.

El vidrio es un material inusual en este aspecto, no porque se doble o curve -la mayoría de los materiales lo hacen- sino porque retorna exactamente a su forma original cuando el doblado o fuerza de curvado es removida. Esta característica del vidrio lo clasifica como un material perfectamente elástico. Si se va aumentando la fuerza aplicada, el vidrio finalmente romperá cuando se alcance su última capacidad de resistencia. Pero en cualquier punto antes de la rotura, el vidrio no deformará permanentemente. Para ser preciso, el vidrio debe ser clasificado como cercano a la elasticidad perfecta.

### Tipos de fuerzas actuantes sobre el vidrio:

Un vidrio colocado en su marco se verá sometido a las siguientes fuerzas:

- 1.- La fuerza de FLEXION: producida por las cargas de viento, nieve o personas apoyándose sobre el vidrio. La fuerza de flexión actuante genera:
  - COMPRESION sobre la superficie del vidrio expuesta a la carga del viento.
  - TRACCION sobre la cara opuesta.

Mientras la fuerza de Compresión actúa “prensando” el material, la de tracción lo hace tendiendo a “separar” el material.

- 2.- La fuerza de CORTE: actúa en los extremos sujetados del vidrio y actúa como hojas de una cuchilla que tiende a separar dos partes del material.

El vidrio tiene mucha resistencia a los esfuerzos de compresión y corte pero poca resistencia a los esfuerzos de tracción. Un vidrio rompe debido a los esfuerzos de tracción.

La resistencia del vidrio es sólo levemente afectada por su composición química, pero es altamente dependiente de las condiciones de la superficie. El vidrio producido comercialmente puede adquirir pequeñas picaduras y rayaduras en el curso de la manufactura y más tarde en el uso. Cualquier esfuerzo aplicado sobre el vidrio se concentrará en esos puntos de daños, de tal modo que la tensión en esos puntos se incrementará por encima de la cantidad de esfuerzo original aplicado. El vidrio no se desintegra ni explota sometido a las cargas de flexión, sino que la rotura se origina en un punto específico (donde hay una falla) la cual se convierte en una pequeña grieta y de allí progresa extendiéndose rápidamente sobre el vidrio y generando la rotura.

En la resistencia del vidrio a la rotura también influye el tiempo durante el cual se aplicó la tensión. A mayor tiempo de aplicación, la capacidad de resistencia del vidrio disminuye respecto a la original.

### Propiedades generales de los vidrios sodo-cálcicos para uso en construcción

Las propiedades físicas más importantes son las siguientes:

- Densidad:  $2,5 \text{ kg/m}^3$ , lo que significa un peso de  $2,5 \text{ kg/m}^2$  por cada mm de espesor  
(es comparable con la densidad del aluminio:  $2,6 \text{ kg/m}^2$ )

- Punto de ablandamiento: aproximadamente 730°C.
- Conductividad térmica (coeficiente lambda) = 1.05 W/mK.  
La diferencia existente entre distintos tipos diferentes de vidrio plano es muy pequeña como para ser considerada.
- Coeficiente de dilatación lineal: es el alargamiento experimentado por la unidad de longitud al variar 1° C la temperatura. Para el vidrio (entre 20 y 220°C) es  $9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ .  
Por ejemplo: un vidrio de 2000 mm de longitud que aumente su temperatura en 30° C sufrirá un alargamiento de  $2000 \times (9 \times 10^{-6}) \times 30 = 0.54 \text{ mm}$ .

En el siguiente cuadro se observan los coeficientes de dilatación de los elementos más usuales en la industria de la construcción, así como su relación respecto al vidrio:

Material	Coeficiente de dilatación	Relación aproximada respecto al vidrio
Madera	$4 \times 10^{-6}$	0.5
Ladrillo	$5 \times 10^{-6}$	0.5
Vidrio	$9 \times 10^{-6}$	1.0
Hierro	$12 \times 10^{-6}$	1.4
Aluminio	$23 \times 10^{-6}$	2.5

Puede observarse que el vidrio tiene un coeficiente de expansión térmica mucho más bajo que los metales.

- Dureza: Se entiende por dureza de un vidrio a su resistencia a ser rayado.  
A continuación se indican dos escalas que miden la dureza de los materiales.

En estas escalas se debe entender que cada elemento raya al anterior (de menor dureza) y no raya al siguiente (de mayor dureza).

#### Escala Mohs:

-	diamante	10
-	zafiro	9
-	vidrio	6 a 7
-	yeso	2
-	talco	1

#### Escala Knoop (Kg/mm<sup>2</sup>):

-	diamante	5.500 a 6.950
-	vidrio	575
-	yeso	32.

Los vidrios templados (ver “Vidrios tratados térmicamente”, capítulo 3) poseen la misma dureza superficial que los vidrios recocidos.

#### • Módulo de elasticidad (módulo de Young):

El módulo de Young es un coeficiente (E) que relaciona el alargamiento ( $\Delta L$ ) experimentado por una barra de vidrio de longitud (L) y sección (S), sometida a un esfuerzo de tracción (F)

$$F/S = E \Delta L/L \quad (E) \text{ se expresa en Kg/m}^2$$

El módulo de Young expresa la fuerza que hay que aplicar a una barra de sección unitaria para duplicar su longitud.  
Para el vidrio plano es:  $E = 720.000 \text{ k/m}^2$

Otros materiales:

Acero.....	2.100.000
Aluminio.....	700.000
Concreto.....	200.000
Policarbonato.....	21.000-25.000

• **Coefficiente de Poisson:** (Coeficiente de contracción lateral)

Cuando una barra se alarga por estar sometida a un esfuerzo de tracción, se contrae. El coeficiente de Poisson (S) es la relación entre la contracción que experimenta una sección perpendicular al sentido del esfuerzo y el alargamiento unitario en la dirección de dicho esfuerzo. Para el vidrio plano: S = de 0.22 a 0.23

• **Resistencia mecánica:** El vidrio siempre rompe por tensiones de tracción en su superficie.

• **Resistencia a la tracción:** Varía entre 300 y 700 kg/cm<sup>2</sup>, dependiendo de la duración de la carga. Si la carga es permanente la resistencia a la tracción disminuye un 40%.

La resistencia a la tracción varía con la temperatura: a mayor temperatura, menor resistencia.

También depende del estado de los bordes del vidrio: el canto pulido brinda mayor resistencia que el canto arenado y, por último, el corte neto.

• **Resistencia a la Compresión:** Aproximadamente 10.000 kg/cm<sup>2</sup> es el peso necesario para romper un cubo de vidrio de 1 cm de lado).

• **Resistencia a la intemperie:** No presenta cambios

• **Resistencia química:** El vidrio resiste a la mayoría de los ácidos excepto al ácido fluorhídrico y - a alta temperatura - el fosfórico. Los álcalis, sin embargo, atacan la superficie del vidrio. Si sobre el vidrio caen elementos típicos de la construcción (cal, cemento, etc.), los álcalis de esos productos al ser liberados por la lluvia, causaran abrasión de la superficie del vidrio.

• **Módulo de rotura para:**

Vidrios recocidos : de 350 a 550 kg/cm<sup>2</sup>

Vidrios Templados: de 1850 a 2100 kg/cm<sup>2</sup>

• **Módulo de trabajo para:**

Vidrios recocidos con carga momentánea: 170 kg/cm<sup>2</sup>

Vidrios recocidos con carga permanente: 60 kg/cm<sup>2</sup>

Vidrios templados: 500 kg/cm<sup>2</sup>

• **Varios:** Un vidrio con su superficie esmerilada o arenada tiene un 30% menos de resistencia a la tracción. El vidrio laminado simétrico en condiciones normales de uso en aberturas presenta una resistencia por lo menos un 10% menor que un float monolítico de igual espesor total.

• **Resistencia a la Temperatura:** Un vidrio de 6 mm calentado a una mayor temperatura y sumergido en agua a 21°C romperá cuando la diferencia de temperatura alcance los 55° C aproximadamente. Un vidrio templado (ver "Vidrios tratados térmicamente", capítulo 3) lo hará con una diferencia de temperatura de los 250°C.

• **Constante Dieléctrica:** para vidrio de 6 mm a 21° C.

- 1,000,000,000	ciclos por seg.	6.0
- 10,000,000	ciclos por seg.	6.5
- 1,000	ciclos por seg.	7.4
- 10	ciclos por seg.	30.0

• **Índice de Refracción:** 1.52 (el índice de refracción varía para luces de diferentes longitudes de onda).

• **Transmitancia Térmica (valor U):** 5.8 W/m<sup>2</sup> °C



- **Transmisión de luz visible:** depende del tipo de vidrio; para el vidrio Float: 87%, vidrio armado 75%, translúcido 70 a 85% (estos son valores aproximados para vidrio de 6 mm basados en luz difusa incidentes desde el cielo sobre la ventana). Los vidrios color y reflectivos tienen valores significativamente menores (ver capítulo 4: Transmisión térmica en vidrios).
- **Transmisión de infrarrojos:** el vidrio común tiene la propiedad de ser relativamente transparente a los rayos infrarrojos de onda corta, pero relativamente opacos a los de longitud de onda larga. Esta es la razón por la que los vidrios para horticultura acumulan calor en el interior de los invernaderos. La radiación de los rayos de sol de onda corta pasan por el vidrio y es absorbida por plantas, paredes, etc., las que irradian parte del mismo como radiación de longitud de onda larga que, parcialmente, es reflejada hacia el interior.
- **Transmisión ultravioleta:** el vidrio común transmite una proporción de los rayos UV del sol. Para impedir el ingreso de los rayos UV, se debe utilizar vidrios laminados, (ver capítulo 3).

## FABRICACION DEL VIDRIO

El proceso de fabricación del vidrio ha sido esencialmente el mismo desde los tiempos remotos. Los materiales son fundidos a alta temperatura y -una vez homogeneizada la mezcla- vertidos sobre una superficie para que se enfríe (como en el método float para fabricación de vidrio plano), o sacados con un cucharón o una lanza (como se hace en la fabricación artesanal de objetos) o vertido en moldes en forma natural (como en el vidrio artístico) o a veces a presión (como es el caso de la fabricación de vidrio para botellas o envases en general) o soplados (método actualmente utilizado mayormente para realizar objetos artísticos en vidrio u objetos de adorno o vasos caros).

Nosotros sólo nos ocuparemos de la fabricación del vidrio plano para la construcción, donde el método actual para la fabricación es el llamado "float". El vidrio float fue inventado por Alistair Pilkington de Pilkington Bros. Ltd. en el Reino Unido a mediados de 1950 y anunciado al mundo en 1959. Alistair no pertenecía a la familia Pilkington, que eran los dueños de la compañía, sino que era un empleado más de la misma. Debido a la trascendencia de este descubrimiento la Reina de Inglaterra le otorgó un título nobiliario.

Este proceso se basa en que la masa de vidrio -una vez fundida- se vierte sobre un baño de estaño líquido, el cual posee una planimetría perfecta. El vidrio copia la superficie plana del estaño fundido, mientras se va enfriando, obteniendo así un vidrio con una planimetría perfecta, sin ondulaciones.

El proceso puede verse en el esquema de la fig 1.1 Las materias primas son fundidas en un horno a una temperatura de 1500°C. Una vez lograda la homogeneización, la masa de vidrio es vertida sobre un baño de estaño fundido que avanza a una determinada velocidad (aquí la temperatura es de aproximadamente 1050°C).

De esta manera el vidrio avanza en forma de banda. Esta banda es mantenida dentro de una atmósfera inerte a una alta temperatura por un tiempo suficientemente largo para que desaparezcan las irregularidades y las superficies sean planas y paralelas. Como la superficie del estaño fundido es plana, el vidrio también lo será. La cinta es entonces enfriada mientras continúa avanzando a lo largo del estaño fundido hasta que las superficies estén lo suficientemente duras como para salir del baño sin que los rodillos marquen la superficie inferior.

De este modo la cinta es producida con un espesor uniforme y las superficies pulidas brillantes sin necesidad de posteriores procesos. El vidrio continúa enfriándose mientras avanza a lo largo del baño de estaño fundido y entra al horno de recocido (lehr) a aproximadamente 600°C. Este proceso es necesario para bajar lentamente la temperatura previniendo las tensiones internas que se producirían por un rápido enfriamiento. El vidrio continúa enfriándose y deja los lehrs a 200°C. Posteriormente se lleva a 80° con enfriamiento por aire.

Ahora está suficientemente frío para poder ser cortado, lo cual es realizado por ruedas de corte montadas sobre puentes de corte longitudinales y transversales, que permiten obtener los tamaños individuales requeridos.

Las piezas separadas son removidas de la línea de producción por brazos robóticos con ventosas que toman el vidrio.

Previo al corte se realiza una inspección con rayos láser para identificar posibles defectos en el vidrio. Esta información es transmitida a una computadora que permite que se corte el defecto y reenviar el trozo de vidrio defectuoso al horno de fusión. Los bordes recortados de la cinta de vidrio también son reenviados al horno.

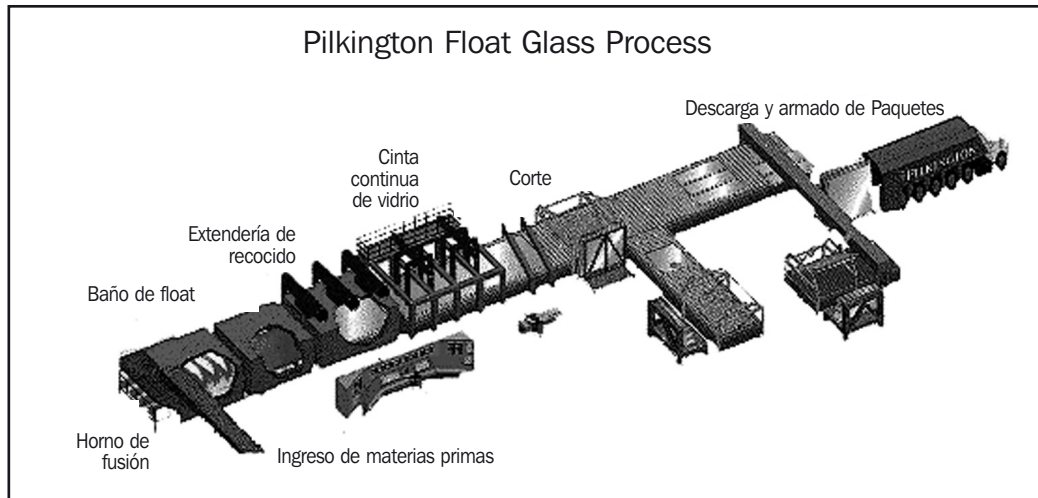


Fig. 1.1: Esquema de producción del vidrio float (fuente: Pilkington).

## CORTE DEL VIDRIO PLANO

Como ya se definió en el capítulo 1, el vidrio no es realmente un sólido como un metal, ni un líquido como el agua; el vidrio es un líquido sobreenfriado que tiene la apariencia y el comportamiento de un sólido, ES UN SOLIDO AMORFO.

El vidrio realmente se corta en el sentido normal de la palabra, al menos en el sentido de cortar utilizando sierras y cuchillos. El vidrio se ROMPE, y para lograr el fraccionamiento de una hoja de vidrio se recurre a una fractura controlada.

Esta acción implica dos operaciones:

- **MARCAR EL VIDRIO:** debilitamiento previo a lo largo de una línea predeterminada mediante un trazo superficial realizado con un elemento cortante (cortador de vidrio).

- **ROMPER:** realizar el quiebre de la hoja en la zona debilitada.

Al marcar el vidrio se produce el surco de corte, que lo podemos describir a través de una vista microscópica:

## ESTRUCTURA DE SURCO

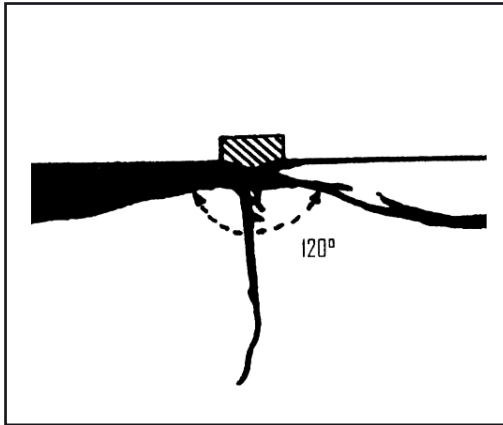


Fig. 2.1: Fisuras vertical y laterales.

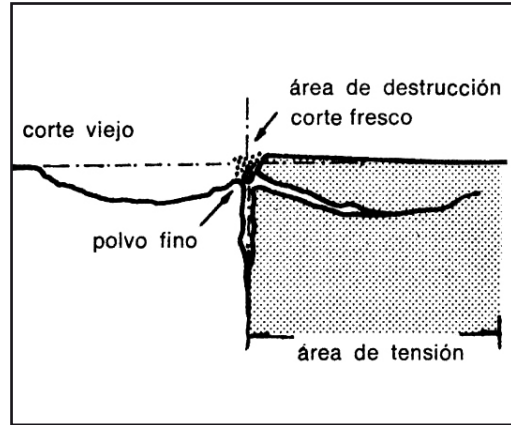


Fig. 2.2: Surco vertical y área de tensiones.

El surco de corte produce 3 fracturas en el vidrio: una central, vertical, que penetra dentro del vidrio hasta a ciertas profundidades la que nos va a permitir cortar el vidrio de la manera deseada, y dos fracturas laterales, horizontales, paralelas a la superficie del vidrio que no participan en el posterior quiebre.

Además se observa en el lugar que actuó la herramienta una zona de destrucción y polvo de vidrio atrapado que crea un estado de tensiones y mantiene el surco vertical abierto.

Este estado inmediato después de efectuar un surco crea las condiciones para que pueda realizarse el quiebre en la dirección deseada a continuación. A medida que transcurre el tiempo luego del surco las tensiones empiezan a disminuir, porque las fracturas horizontales avanzan y terminan saliendo a la superficie liberando el polvo de vidrio atrapado y la fractura vertical tiende a cerrarse, esto se conoce como envejecimiento o cicatrización del corte, por lo tanto es muy importante que el quiebre se realice en el menor tiempo después de marcado el surco.

Si la presión de la herramienta de corte es excesiva la zona de destrucción es muy ancha y las fracturas laterales salen a la superficie, (saltan "pelusas") y no crean un estado de tensión adecuado dificultando el quiebre.

## HERRAMIENTA DE CORTE

La herramienta de corte usual es una ruedita de metal duro (carburo de tungsteno) de unos 5 mm de diámetro y 1 mm de espesor, maquinada con ángulos de corte de acuerdo al uso, manual o mecanizado y a los distintos espesores del vidrio que cortar.

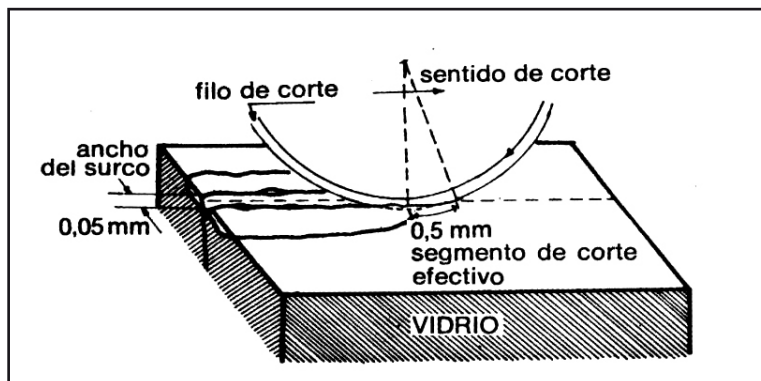


Fig. 2.3: Rueda marcando el vidrio.

La fuerza a aplicar dependerá de la geometría de la rueda y el tipo y espesor del vidrio. una fuerza de 500 g sobre el cortador representa un presión de  $2000 \text{ Kg/m}^2$  sobre la superficie del vidrio.

Los ángulos de rueda recomendados para distintos espesores para cortes convencionales con ruedas de 5-6 mm de diámetro son:

ESPESOR DE VIDIRIO (mm)	ANGULO DE FILO DE RUEDA
1.8 a 3.0	125
2.0 a 4.0	130
4.0 a 6.0	135
6.0 a 8.0	140
8.0 a 10.0	145
10.0 a 15.0	150/160

Para cortes manuales el ángulo máximo de ruedas a utilizar está en los  $140^0$ , porque para ángulos mayores la fuerza necesaria que se debe aplicar en el cortador es imposible de mantener constante.

### **FUERZA DE CORTE Y VELOCIDAD**

A mayor velocidad mayor será la profundidad de la fisura (a igualdad de fuerza aplicada).

Hay una relación inversa entre fuerza y velocidad: mientras la velocidad aumenta la fuerza debe ser decrecida. Generalmente cuando más veloz sea el corte (por debajo de la fuerza máxima) mejor será el corte.

Lo más importante es matener la fuerza y la velocidad constante a través de un corte, de esta manera se obtendrá un surco continuo y uniforme a lo largo de toda la línea que se pretende cortar y el quiebre será facilitado. El surco deberá realizarse siempre en un solo trazo, sin fuerza excesiva que levante pelusas y nunca se debe pasar dos veces el cortador, porque el segundo trazo destruirá el surco original.

### **LUBRICACION**

La lubricación aporta beneficios y facilita el corte: alarga la vida de la rueda, retarda el envejecimiento del corte, otorga mayor seguridad de que el quiebre seguirá el surco sin desviarse. El lubricante recomendado son aceites de máquina livianos. Nunca cortar vidrio mojado.

# Capítulo 2

## TIPOS DE VIDRIOS PARA LA CONSTRUCCION

### VIDRIOS BASICOS

Se entiende por vidrio básico aquel que es obtenido directamente de la transformación de la materia prima, tal como se detalló en el capítulo anterior. También se los llama recocidos por haber sido sometidos a un tratamiento de recocido al final del proceso de fabricación, para disminuir las tensiones internas (ver capítulo 1).

#### 1.- Float incoloro

El vidrio float incoloro (cuyo método de fabricación fue explicado en el capítulo 1) es un vidrio transparente de caras planas y paralelas, lo que asegura una visión nítida y exacta, libre de distorsión, motivo por el cual es usualmente llamado cristal.

Este vidrio es irremplazable para toda aplicación en la que es fundamental asegurar la ausencia de distorsión (espejos, templados, laminados, DVH).

También se lo llama vidrio monolítico (para diferenciarlo del vidrio laminado o doble vidriado), o vidrio crudo (para diferenciarlo del vidrio templado).

Cuando el vidrio float rompe lo hace en pedazos grandes en forma de cuña filosa y cortante. Por ese motivo debe tenerse especial atención a la selección del espesor adecuado (que garantice que no se rompa frente a la presión del viento), así como a no utilizarlo en zonas de riesgo para las personas (ver “vidrio de seguridad”, capítulo 6).

La elección del espesor correcto de vidrio depende del tamaño del mismo y la presión de viento que soportará; se debe calcular de acuerdo a la Norma IRAM 12565. (ver “calculo del espesor adecuado del vidrio según presión de viento” capítulo 10).

#### 2.- Float color

Los vidrios float color son vidrios float fabricados del mismo modo que los float incoloros a los que se les ha agregado (durante el proceso de producción) algunos óxidos metálicos específicos que producen un coloreado determinado en la masa del vidrio, sin afectar las cualidades de ausencia de distorsión propia del vidrio float.

El agregado de color en la masa aumenta las posibilidades estéticas en el uso del vidrio, sin perder ninguna de las cualidades del float incoloro.

Son vidrios absorbentes de calor, pues los óxidos metálicos en el interior de su masa absorben parte de la radiación solar ingresante desde el exterior. De este modo disminuyen el ingreso de calor radiante al interior de las viviendas por lo que a estos vidrios se los llama también: Vidrios de Control Solar. (ver “Coeficiente de Sombra”, capítulo 4).

Al disminuir el ingreso de radiación también disminuyen las molestias ocasionadas por la excesiva luminosidad y resplandor, sin que ello afecte de modo significativo el ingreso de luz natural (ver “porcentaje de transmisión luminosa”, capítulo 4).

Sin embargo, al utilizar estos vidrios, se debe tener en cuenta la posibilidad de que rompan por stress térmico (ver “stress térmico” - capítulo 7). Para prevenirlo debe estudiarse la conveniencia de templarlo o termoendurecerlo (ver “vidrio térmicamente tratado”, capítulo 3).

Los criterios de selección de espesor en función del tamaño y los vientos a que será sometido, así como las recomendaciones en relación a no utilizarlo en áreas de riesgo, son similares a los descriptos para el float incoloro.

Al seleccionar un vidrio color se debe tener en cuenta que la intensidad del color aumenta con el espesor.

### 3.- Vidrio armado

El vidrio armado es un vidrio translúcido incoloro al cual se le ha agregado (durante el proceso de producción) una malla de alambre de acero de paso 12 mm x 12 mm la cual, ante rotura del vidrio, actuará como soporte temporario del mismo.

Una de sus caras es lisa y la otra posee una textura que hace que la luz se transmita en forma difusa. Esto lo convierte en un vidrio especialmente apto cuando se desee el ingreso de luz pero que, a su vez, no sea posible la observación a través del vidrio. Su coeficiente de transmisión de luz es de aproximadamente 80%.

La principal propiedad del vidrio armado es la de retardar la propagación del fuego (entre 30 y 60 minutos, dependiendo del tamaño del paño y del tipo de material de la abertura). Aunque el vidrio armado sometido a una rápida elevación de temperatura se fracturará rápidamente del mismo modo que lo haría cualquier otro vidrio, la presencia de la malla de alambre hace que los trozos de vidrio roto permanezcan en el marco - unidos entre sí -, por más tiempo que el que soportaría cualquier otro vidrio en las mismas circunstancias. Este lapso extra es el que permitirá a las personas alcanzar las vías de escape además de brindar condiciones de seguridad a los bomberos para combatir el fuego al evitar que el incendio se propague con facilidad.

El vidrio armado no es considerado un vidrio de seguridad, pues cumple sólo parcialmente los requisitos especificados para los mismos. (ver “vidrio de seguridad” - capítulo 6). Los problemas asociados al vidrio armado como vidrio de seguridad son los siguientes:

- El alambre no hace al vidrio más fuerte o resistente (de hecho la inserción de la malla de alambre produce una discontinuidad en la estructura del vidrio, que lo debilita en comparación con un vidrio monolítico), sólo actúa como soporte temporario del vidrio evitando el desprendimiento de los fragmentos de vidrio roto.
- En caso de impacto directo de una persona, los alambres del vidrio armado pueden ocasionar lesiones.

El vidrio armado es más débil frente a los esfuerzos térmicos que el vidrio float. Para minimizar la fractura por stress térmico (ver “stress térmico” - capítulo 7) los bordes del vidrio deben tener sus cantos matados y/o pulidos además de cumplir con los requerimientos básicos de instalación de cualquier vidrio en un marco (ver “instalación de vidrios” - capítulo 8).

El espesor nominal del vidrio armado es de 6 mm y su peso aproximado es de 15 kg/m<sup>2</sup>.

Como con cualquier otro vidrio, la selección debe hacerse teniendo en cuenta que éste sea capaz de resistir las presiones a que estará sometido en su vida útil. Teniendo en cuenta que este vidrio sólo se fabrica en 6 mm de espesor, la selección pasa únicamente por la elección del tamaño máximo de paño de vidrio que puede utilizarse. Es conveniente consultar con el fabricante.

### 4.- Vidrio impreso (fantasía)

Este vidrio posee una textura decorativa que permite el paso de la luz pero -a la vez- impide la visión clara dando diferentes grados de translucidez y privacidad. La transmisión de luz es aproximadamente 70%.

De esta manera los vidrios fantasía permiten, además, reducir la excesiva luminosidad y resplandor.

La incorporación de la textura en la superficie del vidrio produce -a su vez- una disminución en la resistencia mecánica. Si se requiere aumentar esa resistencia, algunos de estos vidrios pueden ser templados. Consultar con el fabricante.

Colocados al exterior, los vidrios fantasía pueden presentar stress térmico (ver “stress térmico” - capítulo 7).

### 5.- Vidrio difuso

Este vidrio posee una superficie levemente texturada que atenúa las molestias ocasionadas por los reflejos de luz sobre un vidrio de caras brillantes. Por ese motivo es utilizado como vidrio para proteger cuadros y fotografías. La cara texturada debe colocarse mirando al exterior.

El vidrio difuso presenta un delicado acabado mate que permite una visión clara, minimizando la reflexión de las fuentes de luz sobre su superficie.

El espesor nominal es de 2.3 mm, con un tamaño estándares de 1200 x 1800 mm. Su peso es de 5.6 kg/m<sup>2</sup>.

### 6.- Vidrio PROFILIT

El PROFILIT es un vidrio incoloro recocido configurado en forma de “U”, cuya cara exterior presenta un textura similar al vidrio impreso “stipolite”, y su faz interna es lisa.

Se fabrica en tiras continuas de 262 mm de ancho y 41 mm de altura de las alas. El espesor es de 6 mm. La configuración es en forma de “U” y sus bordes redondeados pulidos a fuego aumentan considerablemente su resistencia a los esfuerzos laterales permitiendo instalaciones de grandes dimensiones sin estructuras intermedias.

El vidrio PROFILIT se complementa con un sistema básico de dos perfiles de aluminio: un perfil umbral donde apoyan los componentes de vidrio y un perfil dintel que se utiliza para retener los componentes de vidrio en la parte superior y también para las terminaciones laterales verticales. Se agregan distintos perfiles de PVC que van insertos y trabajados dentro de los perfiles de aluminio y su función es dar apoyo al vidrio y evitar el contacto vidrio-metal.

Los perfiles pueden colocarse en sistemas simple o doble piel, en forma vertical u horizontal. Las instalaciones de posición vertical pueden tener formas rectas o curvas.

El sistema permite una muy buena transmisión de luz, 85% para simple vidriado y 69% para cerramientos a doble piel.

Los largos estándares de fabricación son de 3000 y 5500mm, pueden cortarse fácilmente con cortadores de vidrio convencionales.

El peso por m<sup>2</sup> en simple piel es de 20 kg y en doble es de 40 kg.

Para brindar al conjunto una completa hermeticidad las juntas entre vidrios se obturan con un sellador de silicona. Las principales aplicaciones de cerramiento PROFILIT son: edificios industriales, depósitos, centros comerciales, instalaciones deportivas y todos aquellos destinos en los que se requieran grandes superficies vidriadas para la iluminación natural. <<<también es utilizado en oficinas, comercios, viviendas, etc. para realizar paredes vidriadas, particiones y pantallas interiores.

PROFILIT TEMPLADO. Este producto puede ser también templado, transformándose en un vidrio de seguridad para aplicaciones donde los cerramientos son susceptibles de impacto humano o se requiera mayor resistencia. En el caso de rotura rompe en pequeños fragmentos sin filo.





# Capítulo 3

## TIPOS DE VIDRIOS PARA LA CONSTRUCCION

### VIDRIOS PROCESADOS

Los vidrios procesados son vidrios producidos a partir de float básico, incoloro o color. Los vidrios procesados pueden cumplir varias e importantes funciones, dependiendo de su conformación, como ser:

- de seguridad (ver capítulo 6)
- de aislantes térmicos (ver capítulo 4)
- de aislantes acústicos (ver capítulo 5)
- decorativos

Los distintos tipos de vidrio procesado y sus principales características se explican a continuación.

#### 1.- VIDRIOS TRATADOS TERMICAMENTE

Como se explicó en el capítulo 1, el vidrio recocido es muy resistente a la compresión pura, pero relativamente débil a la tracción. La rotura de un vidrio se produce por un excesivo esfuerzo de tracción sobre la superficie de sus bordes, o en una sobretensión en las microfisuras que siempre se encuentran presentes en la superficie del vidrio.

Teniendo en cuenta que los esfuerzos más comunes que soportará un vidrio en su vida útil son, precisamente, los de tracción (presión de viento, personas que se apoyan o caen sobre el vidrio), es fácil imaginar los serios inconvenientes que ésto significa. Por medio del tratamiento térmico se logra que el vidrio obtenga una mayor resistencia a la tracción (ya sea mecánica o térmica), respecto a la que es natural en un vidrio float.

Durante la producción de vidrio float, como se explicó en el capítulo 1, la masa fundida de vidrio es enfriada lentamente (proceso de recocido) para remover las tensiones que se originan entre la superficie exterior de la masa (que se enfría más rápido) y el interior de la misma (que, inevitablemente, se enfría más lentamente). Si el vidrio no fuera recocido, no podría ser cortado ni procesado posteriormente debido a que estas tensiones lo hacen más resistente, lo cual es indeseable para un vidrio de uso común.

Pero esta propiedad puede ser usada cuando se desea disponer de un vidrio más resistente. Para ello se somete al vidrio a un tratamiento térmico que consiste en elevar su temperatura hasta cerca del punto de ablandamiento (650°C) y enfriarlo rápidamente. El enfriamiento rápido del vidrio hace que la superficie del mismo se enfríe más rápido que el centro, el que estará relativamente más caliente. La superficie del vidrio al enfriarse se contrae mientras que el centro no lo hace de la misma manera. Mientras el centro se va enfriando, fuerza a la superficie y a los bordes a la compresión. El principio básico empleado en el tratamiento térmico es crear una condición inicial de compresión en la superficie y los bordes. De este modo la presión del viento, el impacto de objetos, las tensiones térmicas u otras cargas que pueden afectar al vidrio, deberán primero vencer esta compresión antes que pueda suceder cualquier fractura. Esto es un “vidrio térmicamente tratado”.

Durante este proceso, en el momento de mayor temperatura, el vidrio está en un estado plástico y permite curvarlo en distintas formas antes de su enfriamiento.

El color, la transparencia y demás propiedades del vidrio no se ven afectadas por el tratamiento térmico.

En el cuadro 3.1 pueden compararse los resultados de un vidrio común y un vidrio templado en relación a la tensión de rotura.

Cuadro 3.1: Comparación entre vidrio común y templado en relación a la tensión de rotura.

	Vidrio Común	Vidrio Templado
Típica tensión de rotura (fuerte espesor, 60 seg de carga)	6.000 psi	24.000 psi
Típica velocidad de impacto que causa fractura (6 mm de espesor, misil de 5 mg, impacto normal a la superficie)	30 ft/seg	60 ft/seg

Los vidrios térmicamente tratados pueden ser de dos tipos, dependiendo de la velocidad de enfriamiento a la que hayan sido sometidos durante su fabricación:

-Templado: aquí el enfriamiento es muy rápido.

-Termoendurecido: el enfriamiento es más lento.

Las diferencias de propiedades entre el vidrio común, el vidrio templado y el termoendurecido se pueden observar en el cuadro 3.2:

Cuadro 3.2: Comparación de las propiedades del vidrio templado y termoendurecido

	Templado	Termoendurecido
Resistencia al impacto respecto al vidrio crudo	4 veces más	2 veces más
Flexión respecto al vidrio crudo	Igual [1]	Igual
Forma de rotura	Pequeños fragmentos sin aristas cortantes	Pedazos grandes sin aristas cortantes
Soporta cambios de temperatura de hasta	250°C	120°C
Presenta rotura espontánea	Sí	No
Sobre vidrios reflectantes	Puede presentar distorsiones	no distorsiona
¿Se considera vidrio de seguridad?	Sí [2]	No

[1] Aunque el vidrio templado tiene una resistencia mecánica cuatro veces mayor que la del vidrio recocido, flexiona igual que un vidrio recocido. Por eso el dimensionamiento de un vidrio templado está definido, muchas veces, por sus limitaciones a la flexión más que por su resistencia.

[2] Las tensiones de compresión en un vidrio templado oscilan entre 80 y 150 N/mm<sup>2</sup>. Para ser considerado un vidrio de seguridad no debe ser menor a 100 N/mm<sup>2</sup>.

Una propiedad muy importante del vidrio templado es que -debido a las elevadas tensiones a las que ha sido sometido - una vez que inicia la rotura ésta se propaga rápidamente por la liberación de energía que se produce. Como consecuencia de ello, el vidrio se desintegra en pequeños fragmentos que no causan heridas cortantes o lacerantes serias (ver figura 3.2), como las que causarían los bordes filosos de pequeños trozos de vidrio recocido (ver fig. 3.1). Por este motivo el vidrio templado es considerado un vidrio de seguridad (ver capítulo 6).



Fig 3.1 Rotura de un vidrio recocido.

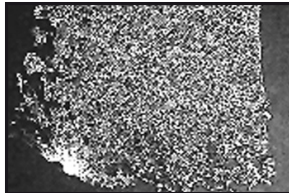


Fig 3.2 Rotura de un vidrio templado.

Cuando se templan vidrios reflectivos, se pueden producir ondulaciones en la superficie, las que generan inde-seables distorsiones en la imagen percibida. Por ese motivo, en estas situaciones, es preferible la utilización de vidrio termoendurecido. Además el vidrio termoendurecido es capaz de soportar las tensiones térmicas que generan rotura por stress térmico (ver “stress térmico”, capítulo 7).

### Usos del vidrio templado

El vidrio templado se usa en lugar de otros vidrios en aplicaciones que requieren aumentar la resistencia y reducir la probabilidad de lesiones en caso de rotura. En la industria de la construcción se usa en vidrios exteriores en edificios de gran altura y en curtain walls, en antepechos, en puertas de abrir, mamparas de baños, fachadas de lobbys, escaleras y pisos de vidrio, frente de negocios y bancos, etc. También se usa para canchas de pelota a paleta o deportes similares, en tableros de basketball, sky-lights y paneles solares. En la industria automotor se usa para las ventanas laterales y traseras en automóviles, camiones y otros vehículos. La industria manufacturera usa vidrio templado en refrigeradores, muebles, hornos, anaqueles y pantallas de chimeneas.

Debido a su elevada resistencia y confiabilidad, el vidrio templado puede ser utilizado en aplicaciones estructurales y semi-estructurales, con agujeros y entrantes lo que posibilita su montaje y unión con herrajes abulonados.

El vidrio templado no debe ser usado donde se busque resistencia al fuego. Tampoco debe usarse cuando el objetivo es proveer seguridad contra la entrada de ladrones.

### Manipuleo e instalación

El vidrio templado debe recibir el mismo cuidado que un vidrio no templado. Desafortunadamente, acostumbrados a la gran resistencia que tiene un vidrio templado la gente pone menor cuidado en su manipuleo. La falta de cuidado en el manipuleo y la instalación inapropiada a veces produce daños en los bordes. Una rotura posterior a la instalación puede ocurrir cuando los bordes dañados del vidrio templado son sujetos a tensiones térmicas o mecánicas moderadas. La penetración de la capa de compresión producirá instantáneamente la fragmentación del vidrio templado.

### Anisotropía y Fachadas Vidriadas

Este efecto consiste en que patrones coloreados (tensiones) pueden ser vistos en vidrios termo-endurecidos o templados bajo determinadas condiciones de iluminación.

Los productos termo-tratados como los vidrios termo-endurecidos o templados, naturalmente contienen patrones de tensión en el cristal como consecuencia del proceso de producción y estos pueden ser vistos claramente cuando se miran con gafas de sol polarizadas. Pero en algunas circunstancias la luz alrededor de un edificio también puede estar polarizada y cuando esta alcanza el cristal y es reflejada puede revelar los mismos patrones de tensión que normalmente son invisibles.

La polarización de la luz puede ocurrir vía reflexiones de superficies de fachadas típicas o de otros paños de vidrio, tanto del mismo edificio como de edificios adyacentes. El vidrio instalado en un plano diferente al cristal observado también puede ser causa de polarización. Los cambios - incluso sutiles - en la posición del cristal pueden generar o eliminar el efecto. La luz transmitida a través de finos revestimientos en el cristal también puede polarizar la luz.

Allí donde hay luz polarizada y vidrio se pueden dar casos en los cuales el efecto de patrón de tensiones es visible, aunque el número de casos donde esto es reportado es muy pequeño.

Este fenómeno es un efecto visual cuya observación es un acontecimiento gobernado según las leyes de física, por lo tanto debe ser considerado como algo normal, y no se considera un defecto de producción o procesamiento (salvo casos excepcionales).

## 2.- VIDRIOS GRABADOS AL ACIDO

Este tipo de vidrio se obtiene por medio de una abrasión de la superficie del vidrio producida por la acción de uno o varios ácidos.

Esta abrasión puede cubrir la totalidad de la superficie del vidrio o puede aplicarse siguiendo patrones determinados e - incluso - copiando formas y dibujos muy diferentes y complejos. Pueden obtenerse así muy bellos motivos, por lo que suele usarse cuando se desea decorar con vidrio determinados lugares.

Dependiendo del motivo del dibujo, se pueden obtener diferentes grados de translucidez y privacidad.

El vidrio grabado al ácido tiene una superficie de una suavidad y uniformidad distintiva y apariencia satinada. Este tipo de vidrio permite el paso de la luz a la vez que provee un control de la visión. Puede ser de uso residencial (puertas, mamparas de baño, muebles, etc.) y comerciales (decoración de locales, etc.).

### **3.- VIDRIOS ESMALTADOS**

Los vidrios esmaltados son aquellos en los que una de las superficies ha sido tratada con una pintura vitrificable, de modo de transformar al vidrio en opaco. Esta es una necesidad en algunas aplicaciones actuales del vidrio con el objeto de ocultar algunas zonas: antepechos, losas, cielorrasos, conductos de aire acondicionado, etc.

Se comercializan en una amplia gama de colores estándares, aunque siempre es posible obtenerlos del color que se desee, previo convenio con el fabricante.

Debido a que estos vidrios absorben mucho calor existe peligro de rotura por stress térmico (ver “stress térmico”, capítulo 7), por lo cual normalmente son vidrios templados o termoendurecidos. Por este motivo, todo procesamiento del vidrio (agujereado, etc.) debe ser hecho previamente debido a que una vez tratados térmicamente no pueden ser cortados ni perforados pues se produciría su rotura .

Por las características de los esmaltes utilizados, el color no se altera con el tiempo ni por la radiación UV.

Además de sus funciones decorativas, los vidrios esmaltados son también vidrios de control solar.

### **4.- VIDRIOS SERIGRAFIADOS**

Este es un vidrio templado o termo endurecido que presenta algún tipo de dibujo sobre una de sus caras, el cual se aplica con técnicas de serigrafía usando esmaltes cerámicos vitrificables.

Los dibujos pueden ser estándares o realizados a pedido según los requerimientos del diseñador, quien - de este modo - puede manejar amplias aplicaciones funcionales y estéticas, tales como:

- disponer de una imagen visual única.
- obtener distintos grados de control de la transmisión de calor y luz visible (ver capítulo 4).
- obtener distintos grados de privacidad.

Normalmente los dibujos suelen ser rayas, puntos, bandas u otro tipo de tramas, los cuales - dependiendo de la densidad y color de esos dibujos - permiten un pasaje de la luz diferente así como la posibilidad de graduar la visibilidad entre el interior y el exterior. En la fig. 3.3 se observa alguno de los motivos más utilizados.

Al diseñar un vidrio serigrafiado debe tenerse muy en cuenta el porcentaje de transmisión de luz que se obtendrá así como el coeficiente de sombra que se obtendrá al usarlo, (ver capítulo 4).

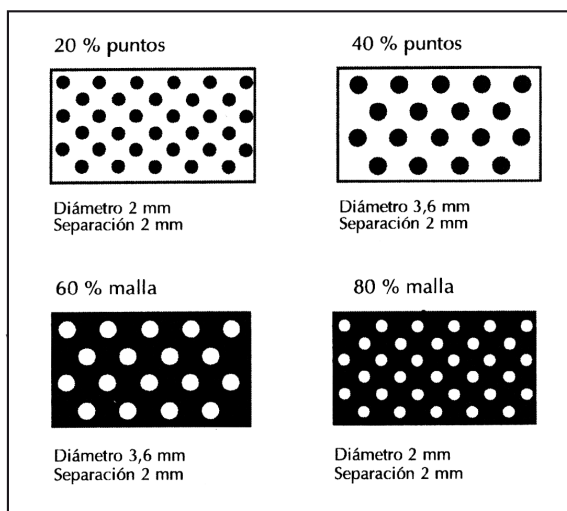


Fig 3.3: Diseño estándar de vidrios serigrafiados (Fuente: BI n° 11 VASA)  
Los vidrios serigrafiados se pueden usar en múltiples aplicaciones, por ejemplo:

- En fachadas (techos y cúpulas, ventanas, antepechos de muros cortinas, etc.): aquí sus principales virtudes son:

**Apariencia:** ofrece una gran flexibilidad de diseños y opciones creativas, por cuanto virtualmente cualquier tipo de diseño puede ser serigrafiado sobre el vidrio. Se puede, también, coordinar áreas de visión y no visión, así como variar el color de cada área de vidrioado.

**Control solar:** se pueden obtener distintos niveles de control solar variando el color y densidad del dibujo, así como el tipo de vidrio.

**Protección contra reflejos:** dependiendo del dibujo y su distribución sobre el vidrio, actúa como filtro contra la luz directa del sol y ayuda a reducir el resplandor.

- **Otras aplicaciones exteriores:**

**Muebles de calle:** por ser vidrios de seguridad y tener bajo requerimiento de mantenimiento, pueden ser usados en muebles de calle tales como refugios, paneles de publicidad, etc.

**Señalización:** por ser un producto durable y resistente a rayaduras, además de la flexibilidad del proceso de serigrafiado, es ideal para señalización exterior, tales como: paneles de información iluminados, señales de tránsito, etc.

- **Aplicaciones interiores** (tabiques interiores y exteriores, puertas, mamparas de baño, balaustradas de escaleras y balcones, muebles, etc.):

**Decoración:** no sólo se pueden obtener numerosas terminaciones y efectos para embellecer interiores, sino que, además, es un producto resistente a las rayaduras, al agua, la humedad y a los agentes limpiantes.

**Control de la visión:** cuando se lo usa en particiones, provee distintos grados de privacidad creando una sensación de apertura y espacio permitiendo buena luminosidad en la pieza. Experimentando con el color, la densidad, distribución y orientación de los patrones de la serigrafía, pueden alcanzarse un sinnúmero de efectos para satisfacer diseños, control de visión y requerimientos personales.

Personalización: la flexibilidad de los procesos de serigrafía y la calidad de terminación producida es ideal para reproducir logotipos de compañías, señalizaciones, etc.

## 5.- VIDRIOS REFLECTIVOS

Son vidrios float (incolores o color) que poseen un revestimiento reflectivo metálico en una de sus caras. También se los denomina vidrios con “coating” por la capa (coat) metálica depositada sobre su superficie.

### 5.1.- Tipos de vidrios Reflectivos o con “coating”

Podríamos dividir – someramente – los vidrios con “coating” en dos categorías:

- Reflectivos solares (figs. 3.4 y 3.5): impiden el ingreso de calor radiante del sol (reflejan las radiaciones de longitud de onda corta - ver capítulo 4). Pueden estar fabricados con vidrio float color o incoloro. La ubicación del revestimiento puede ser en cara # 1 o # 2.

- de baja emisividad o Low-e (fig. 3.6): impiden la salida del calor radiante de los cuerpos calientes del interior de las viviendas (radiaciones de onda larga - ver capítulo 4). Pueden estar fabricados con vidrio float color o incoloro. La ubicación del revestimiento puede ser en cara # 2 o # 3 (estos suelen ser incoloros).

Los vidrios de control solar de alta performance combinan ambos revestimientos –solares y de baja emisividad– en la misma cara.

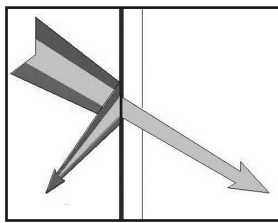


Fig 3.4: Vidrio reflectivo #1.

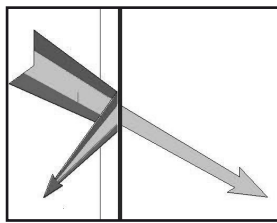


Fig 3.5: Vidrio reflectivo #2.

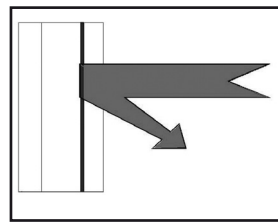


Fig 3.6: Vidrio bajo emisivo #3.

La diferencia entre ambos tipos de revestimientos es la siguiente:

a.- El porcentaje de transmisión de luz visible:

- Revestimientos reflectivos solares: reflejan y/o absorben un porcentaje importante de luz visible, debido al espejado y/o la coloración de la masa del vidrio.

- Revestimientos bajo emisivos: no se ve afectada la transmisión de luz visible.

b.- longitudes de onda de la energía que reflejan:

- Revestimientos reflectivos solares: reflejan la energía de longitud de onda corta (sol).

- Revestimientos bajo emisivos: reflejan la energía de luz de onda larga (cuerpos calientes).

c.- dirección en la cual reflejan las ondas.

- Revestimientos reflectivos: hacia el exterior de la vivienda.

- Revestimientos bajo emisivos: hacia el interior de la vivienda.

### 5.2.- Funcionamiento del vidrio de control solar

Con la faz reflectiva en cara 1 (#1) presentan un aspecto plateado brillante, cuyo color aparente depende del entorno y/o del cielo reflejado sobre su superficie. Ver figura 3.4.

Con la faz reflectiva en cara 2 (#2) se pone en evidencia el color del cristal base y su aspecto reflectivo es menos intenso y brillante (fondo plateado). Ver figura 3.5.

No debe olvidarse que estos vidrios presentan el efecto espejo que impide la visión hacia el lado menos iluminado. De día no es posible ver desde el exterior hacia el interior; durante la noche (con locales iluminados interiormente) no es posible ver hacia el exterior..

### 5.3.- Funcionamiento del vidrio bajo emisivo

El calor radiante de los cuerpos calientes que se encuentran en el interior del edificio es reflejado por el revestimiento bajo emisivo hacia el interior (ver fig. 3.6), evitando las pérdidas de calor hacia el exterior a través del vidrio.

Si es incoloro (revestimiento en cara # 3) no afecta la visión interior.

### 5.4.- Cuidados a tener en Obra:

Se deben seguir las siguientes indicaciones:

- Tratar con cuidado la faz reflectiva
- Protegerla de ataques exteriores
- Evitar condensaciones de humedad
- Evitar contacto con materiales de construcción, que pueden dañar la capa metálica
- No pegarle etiquetas (puede generar roturas por stress térmico)

### 5.5.- Comparación del manejo energético de diferentes vidrios

En el cuadro 3.3 se puede observar el diferente comportamiento que tienen los vidrios ya vistos, en relación a la reflexión, absorción y transmisión de la luz.

Estos valores deberán ser tomados en cuenta por quien desea utilizar vidrios en un emprendimiento determinado.

Cuadro 3.3: comparación del manejo energético de diferentes vidrios (Fuente: BI VA S A )

Tipo de Vidrio	Reflexión	Absorción	Transmisión
Incoloro	7 %	15 %	78 %
Color	5 %	46 %	49 %
Reflectivo (#1)	30 %	39 %	31 %
Reflectivo (#2)	12 %	57 %	31 %

### 5.6.- Clasificación según proceso de fabricación

Los vidrios con “coating” (tanto los reflectivos solares como los low-e) pueden ser fabricados por dos procesos diferentes: pirolítico o magnetrónico. El cuadro 3.4 muestra las diferencias entre ambos procesos y entre las propiedades de cada uno de los productos así obtenidos.

#### Cuadro 3.4: Diferencias entre vidrios pirolíticos y magnetrónicos

##### Pirolítico

- Fabricado en la misma línea de fabricación del float (on line)
- También llamado Hard Coat
- Puede usarse como monolítico
- Se puede templar, cortar y pulir

##### Magnetrónico

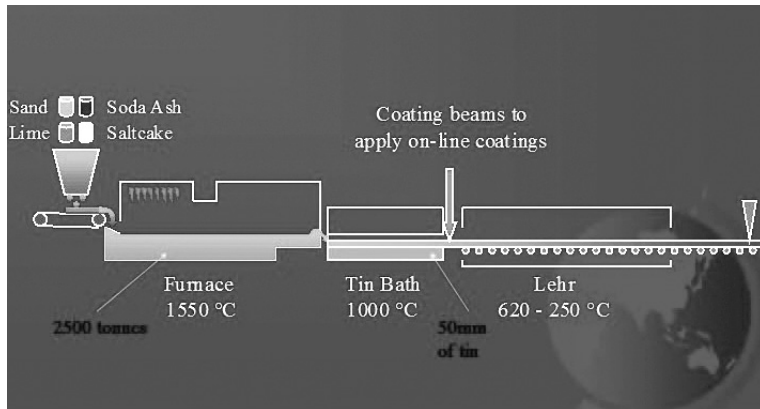
- Fabricado fuera de línea de float (off - line)
- También llamado Soft Coat
- Sólo puede usarse con la capa reflectiva protegida (laminado o en DVH)
- No todos los productos de esta tecnología se pueden templar

### Revestimientos pirolíticos (on line / hard coat)

Los revestimientos colocados en la superficie del vidrio, ya sea con fines de control solar o baja emisividad, se denominan revestimientos pirolíticos porque generalmente se aplican sobre el vidrio caliente durante su pasaje a través de la extendería de recocido. Implican la descomposición térmica de gases, líquidos o polvos que se rocían sobre el vidrio para formar una capa de óxido metálico que se fusiona a la superficie.

Los revestimientos en línea tienen la ventaja de una mayor dureza, durabilidad en el depósito y facilidad de procesado en comparación con los revestimientos fuera de línea (son adecuados para el curvado y el templado). Tienden a ser limitados en cuanto a la variedad de colores.

### HARD COAT

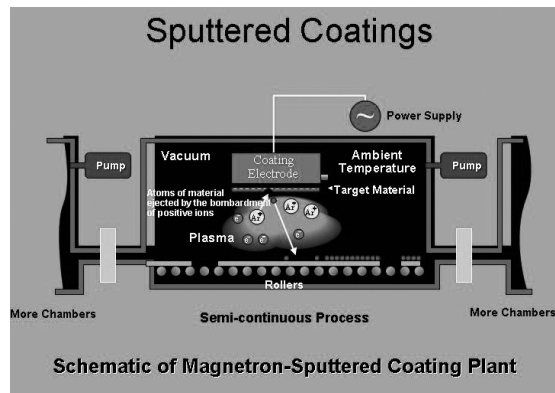


### Revestimientos magnetrónicos (off line / soft coat)

Los revestimientos fuera de línea son los que se aplican a los paños individuales de vidrio después de su fabricación y corte. Este proceso es capaz de ofrecer una amplia gama de revestimientos de diferentes colores, reflectividades y propiedades térmicas.

En el proceso magnetrónico, el material por ser aplicado se convierte en el cátodo de un circuito eléctrico a 500 voltios.

### SOFT COAT



Se introduce gas argón en una cámara de vacío, y se produce un plasma de descarga incandescente. Se eliminan los electrones del argón, dejando iones de carga positiva. Estos iones son atraídos por los cátodos, impactando con los mismos. Tienen una inercia muy alta y eliminan átomos de material catódico que se recondensan en el vidrio que se encuentra debajo.

Una cuidadosa alineación permite colocar revestimientos uniformes sobre sustratos de gran tamaño. Se pueden revestir hojas de vidrio a una velocidad de una cada 60 segundos aproximadamente. Es posible aplicar virtualmente



cualquier metal o aleación no magnética. La transmisión de luz del vidrio resultante depende de la naturaleza y espesor del revestimiento. El color depende del espesor, material y configuración del revestimiento.

### Ahorro energético

Se considera que los edificios consumen alrededor del 30% del total de la energía generada (en todas sus variantes) la cual produce emisiones de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) a la atmósfera.

Debido al incremento de estas emisiones y al aumento del efecto de invernadero a nivel global, el ahorro energético en edificios –residenciales o comerciales– resulta de suma importancia para disminuir el consumo de energía de climatización (refrigeración y calefacción) e iluminación.

Los vidrios de control solar que reducen el ingreso de calor por radiación a la vez que permiten la mayor transmisión de luz natural, combinados con los beneficios del DVH que mejora sustancialmente el aislamiento térmico de las ventanas, son la mejor opción al momento de especificar una solución sustentable para las ventanas o fachadas de los edificios.

### Vidrios autolimpiantes

El vidrio autolimpiante posee en su cara exterior (# 1) un revestimiento que permite mantener limpio el vidrio de manera natural mediante un proceso que consta de dos pasos:

1. Proceso fotocatalítico: una superficie especial fotoactiva utiliza la energía del sol para descomponer, aflojar y destruir la suciedad y otras materias orgánicas depositadas en la superficie del vidrio.
2. Proceso hidrofílico: cuando llueve el agua se desplaza en forma de chorro sobre la superficie del vidrio para arrastrar la suciedad, no dejando marcas de goteo o estriado una vez seco.

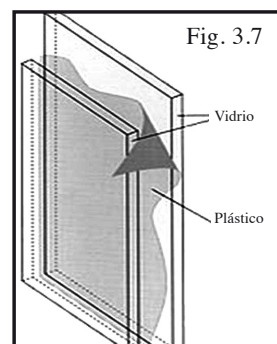
Este vidrio se puede aplicar en cualquier tipo de composición (monolítico, laminado, DVH), siempre que la cara tratada esté colocada hacia el exterior.

## 6.- VIDRIOS LAMINADOS

Los vidrios laminados son vidrios formados por dos o más hojas de float (incoloro o color, crudo o templado), unidas entre sí por la interposición de una o varias láminas de Polivinil de Butiral (PVB) aplicadas a presión y calor en un autoclave. Ver fig. 3.7

Esta configuración combina las propiedades del vidrio (transparencia, dureza, etc.) con las propiedades del PVB:

- Adherencia al vidrio
- Elasticidad
- Resistencia al impacto



De este modo ante un impacto sobre el vidrio laminado, la película de PVB absorbe la energía del choque al mismo tiempo que mantiene su adherencia al vidrio. Así los trozos de vidrio no se desprenden y el conjunto se mantiene en el marco.

Aunque el PVB es un material opaco en su estado natural, luego del proceso de autoclave es transparente, de modo tal que no se ven afectadas las propiedades de transmisión lumínicas del vidrio.

El espesor de PVB estándar es 0.38 mm, pero para aplicaciones especiales (de seguridad o de control acústico; ver capítulos 5 y 6) se utilizan espesores de 0.76 mm, 1.14 mm y 1.52 mm.

### 6.1.- Aplicaciones del vidrio laminado

Las aplicaciones del vidrio laminado son las siguientes:

#### • Como vidrio de SEGURIDAD

El vidrio laminado es considerado un vidrio de seguridad (ver capítulo 6) porque en caso de rotura los trozos de vidrio quedan adheridos al PVB y no se desprenden. De esta manera constituye una barrera de protección y retención ante el impacto de personas u objetos.

#### • Como vidrio de CONTROL SOLAR

Si el vidrio laminado se fabrica utilizando vidrio de control solar (float color) o reflectivo, se pueden obtener

diferentes grados de control solar y así disminuir las molestias de una excesiva luminosidad y resplandor.

• **Como FILTRO DE UV**

EL PVB tiene la propiedad de ser un efectivo filtro para los nocivos rayos ultravioletas del sol. En el cuadro 3.5 se muestran los valores de absorción de rayos UV para diferentes tipos de vidrio laminado.

Cuadro 3.5: La absorción de los rayos UV para laminado 3+3 incoloro (Fuente BI VASA)	
PVB = 0.38 mm	96.6 % de radiación UV filtrada
PVB = 0.76 mm	99.9 % de radiación UV filtrada
PVB = 1.52 mm	99.9 % de radiación UV filtrada

• **Como Vidrio ACUSTICO**

Por sus características elásticas, el PVB tiene la capacidad de absorber las ondas sonoras lo que contribuye en la absorción del ruido (ver capítulo 5). En particular atenúa el ruido para los rangos de frecuencias de la voz humana y el tránsito automotor.

La capacidad aislante aumenta en la medida que aumenta el espesor de PVB utilizado. Para control acústico debe usarse un PVB de 0.76 mm como mínimo.

## 6.2.- Tipos de laminado

Dependiendo del tipo de vidrio que se use, se obtienen diferentes tipos de vidrios laminados. Una clasificación de los diversos tipos de vidrio laminado (fuente: Boletín V&M) es la siguiente:

• **Vidrio Laminado ARQUITECTURA (2 float + 1 PVB de 0.38)**

- Incoloro: los dos float son incoloros.

- Color: se logran diferentes colores usando una hoja de vidrio incoloro con otra de color (tonos claros) o con 2 hojas de color (tonos oscuros) o con los vidrios incoloros y el PVB de color. El uso de PVB de color permite obtener una gama enorme de variedad de colores.

- Reflectante: en este caso uno de los vidrios es reflectante y el otro no. Si la faz reflectiva se encuentra en #2 (en contacto con el PVB) se evidencia más el tono del float base que el del cristal reflectivo, sin afectar las propiedades de transmisión.

- Templado: se puede usar un vidrio templado (o termoendurecido) y el otro crudo, o ambos templados (o termoendurecidos). Al usar vidrio templado se hace necesario utilizar doble PVB para garantizar que la adherencia sea correcta pues las pequeñas discontinuidades de planimetría que puede tener el templado podría afectar la capacidad de adherencia. De esta manera, a las propiedades del vidrio laminado se le agrega una mayor resistencia al impacto, a los esfuerzos de flexión y a las sollicitaciones por causas de origen térmico.

• **ANTIRROBO (3 Float®+ 2 PVB de 0.76 mm)**

Esta configuración posee una excelente resistencia a ser penetrado, por lo que es especialmente apto como vidrio antirrobo o antivandalismo.

• **ANTIBALA ( más de 3 Float®+ varios PVB + Policarbonato)**

Es un cristal multilaminado fabricado con hojas de Float® de fuerte espesor (6 - 8 - 10 mm) laminados con un gran número de láminas de PVB incoloros de 0.76 y 1.52 mm de espesor. Una de las capas suele ser policarbonato por su gran capacidad de absorber la energía cinética del proyectil, además de ayudar a quitar peso al conjunto.

Las configuraciones mínimas recomendadas para cada aplicación de vidrio laminado pueden verse en el cuadro 3.6.

Cuadro 3.6 : configuraciones mínimas recomendadas para vidrio Laminado (Fuente: Boletín Técnico nº 2 - VyM)

Función del vidrio laminado	Configuración mínima	Aplicación
Protección de persona contra lesiones accidentales	1 PVB laminado simple	Puertas de entrada, ventanas, puertas de interior, barandas, cajas de ducha, muebles.
Protección contra astillas de vidrio	2 PVB laminado simple	Techos de vidrio, cúpulas, balaustradas.
Protección contra caídas a través del vano	2 PVB configuración especial	Rampas de escaleras, balaustradas, pisos de vidrio.
Protección primaria de bienes contra las agresiones rápidas	2 PVB laminado simple	Viviendas familiares, oficinas.
Protección contra el vandalismo	2 PVB laminado simple	Vidrieras, museos, marquesinas.
Protección contra agresiones no premeditadas	4 PVB laminado simple	Vidrieras con objetos de valor o de gran tamaño, residencias.
Protección contra agresiones organizadas	6 PVB laminado simple o multilaminado	Vidrieras con objetos de arte, vitrinas de museos, prisiones, hospitales psiquiátricos, salas de computación.
Alta protección contra todo tipo de agresión	6 PVB multilaminado	Vidrieras de comercio de alto riesgo.
Protección contra diferentes tipos de armas de fuego	Configuración especial	Bancos, instalaciones oficiales y militares, ventanillas de correo o bancos.
Protección contra explosivos	Configuración especial	Edificios públicos o privados, viviendas.

## NOTAS:

- Para efectuar esta tabla se consideró el uso de las láminas de PVB de 0.38 mm de espesor
- Los espesores de los cristales dependerán de las condiciones de diseño y tamaño de la abertura
- Para cualquier tipo de aplicación es necesario realizar un diseño previo; consultar a los proveedores de cristal y/o especialistas.

**7.- DOBLE VIDRIADO HERMETICO (DVH)**

EL DVH es un vidrio conformado por 2 vidrios que se encuentran separados por una cámara de aire. Los vidrios pueden ser cualquiera de los tipos mencionados en este libro (incoloros, de color, reflectante, laminados, etc.).

La separación entre los vidrios puede lograrse de dos maneras distintas:

- Por medio de un separador metálico (normalmente aluminio). Fig 3.8
- Por medio de un cordón orgánico. Fig. 3.9

Es indispensable colocar un deshumectante en el interior del DVH, para evitar que la humedad del aire que ha quedado rete-



Fig 3.8

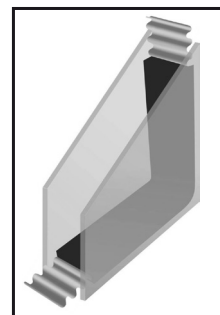


Fig 3.9

nido en el interior de la cavidad condense cuando el DVH se vea sometido a diferencias de temperaturas entre ambas caras.

Cuando se usan separadores metálicos (fig. 3.8), las sales deshumectantes son introducidas en el interior del separador desde donde -y a través de pequeñas perforaciones hechas sobre el separador- toman contacto con el espacio interior del DVH y deshumecta el aire.

En el caso del cordón orgánico (fig. 3.9), las sales están incorporadas al mismo cordón orgánico desde donde interactúan con el aire del interior de la cámara y lo deshumectan.

Todo este conjunto debe ser mantenido aislado para impedir el ingreso de aire desde el exterior, para lo cual se utilizan selladores especiales (hot-melt, polisulfuro, poliuretano o silicona). Estos selladores se conocen como selladores secundarios. En el caso de los DVH de cordón orgánico, el sellador secundario sólo se utiliza a partir de determinado tamaño del vidrio (consultar con el fabricante).

En el caso de los DVH con separador metálico, también se usa una barrera anterior (llamada primera barrera de vapor) consistente en un fino cordón de butilo aplicado sobre el separador metálico. El cordón orgánico, a su vez, tiene el butilo incorporado en el mismo cordón orgánico.

Gran parte de las propiedades del DVH están ligadas al ancho de la cámara (ver capítulo 4 y 5). Los anchos de cámara más usuales en la Argentina son: 6, 9 y 12 mm.

### Elección de los vidrios de un DVH

Muchas veces, cuando se proyecta la instalación de aberturas con paneles de doble vidriado hermético (DVH), se diseña a los mismos en función del tipo de perfilera a utilizar cuando, en realidad, debe diseñarse el ceramamiento con un criterio integral, tomando en cuenta todos sus componentes en función de las características de la obra y sus requerimientos. Suele suceder - especialmente si se trata de un edificio para uso residencial - que los vidrios son, casi por definición, incoloros de espesor mínimo y crudos o, con suerte, laminados. Hay elementos que muchas veces no se tienen en cuenta y que definen el buen funcionamiento del sistema, como la aislación térmica, la seguridad, la luminosidad, el control solar y otras virtudes del DVH que están relacionadas directamente con el tipo de vidrio a utilizar.

El primer parámetro a tener en cuenta es el espesor de los vidrios interiores y exteriores: el mismo estará dado por las dimensiones del paño vidriado (base x altura) y la carga de viento a la que estará sometido (u otras cargas: ej. nieve, en el caso de una cubierta vidriada). Cuando los paños son muy grandes y la carga muy alta, la flexión de los vidrios puede provocar el contacto entre los mismos: en tal caso, habrá que considerar un aumento del espesor de los vidrios (para disminuir su flexión) o de la cámara de aire.

Al mismo tiempo, debemos definir en qué casos utilizaremos vidrios de seguridad en la composición del DVH. En general, en todas las áreas vidriadas de riesgo o susceptibles de impacto humano, los DVH deberían llevar vidrios de seguridad (ej.: los vidrios colocados en puertas, los vidrios en paños adyacentes a puertas que puedan ser confundidos con un acceso, los vidrios colocados a baja altura respecto del solado, las cubiertas vidriadas, etc). Los DVH se pueden conformar con vidrios crudos, templados o laminados, o una combinación de los mismos, según los requerimientos de seguridad.

Las propiedades ópticas y térmicas de los vidrios del DVH son fundamentales para definir su rendimiento en aspectos tales como la luminosidad, la aislación térmica y el control de la radiación. Aquí, cabe hacer una breve introducción a las propiedades de los vidrios:

- Los vidrios - incoloros, tonalizados o reflectivos - tienen una alta conductividad térmica, o sea, ofrecen poca resistencia al paso del calor por conducción. El coeficiente de transmitancia térmica  $K$  de un vidrio incoloro de 6 mm es de  $5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . El de un DVH 6/12/6 es de  $2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ya que la cámara actúa como aislante térmico.
- Los vidrios absorben, reflejan y transmiten la radiación solar de onda corta - ultravioleta, visible e infrarroja-,

en distintos porcentajes según sus características (ej: los vidrios incoloros transmiten la mayor parte de la radiación que incide sobre ellos, los tonalizados absorben la mayor parte y los reflectivos la reflejan).

- Los vidrios - en general – son permeables a la radiación infrarroja de onda larga que se genera en el interior de los edificios, producto de la actividad humana, artefactos eléctricos, iluminación, etc. Esta radiación es calor que se pierde a través del vidrio, así sea monolítico o DVH.
- Conociendo las características (coeficiente de transmitancia térmica, % de transmisión y reflexión, coeficiente de sombra, etc) de cada tipo de vidrio, podemos armar un DVH que se ajuste a las necesidades de cada proyecto. Debemos tener en cuenta que, de acuerdo a las características, usos y ubicación de cada edificio, las necesidades cambiarán: a veces no es deseable tener la mayor transmisión de luz solar posible ya que puede ser molesta (ej.: el techo vidriado de un centro comercial) y otras si; en algunos casos es beneficioso aprovechar todo el calor solar – radiación infrarroja – que nos llega a través de la ventana (ej.: las viviendas en regiones de frío extremo) y en otros no; las necesidades serán distintas en un edificio con fachada de piel de vidrio y uso diurno y en una casa con aleros importantes, aún cuando ambos estén en la misma latitud; etc.

Para graficar mejor todas estas variantes, aquí van algunos ejemplos concretos:

- La principal virtud del DVH es su capacidad de aislamiento térmico, comparado con un vidriado simple:

DVH con cámara de 6 mm .....	K= 3.2 W/m <sup>2</sup> °K
9 mm .....	K= 3.0 W/m <sup>2</sup> °K
12 mm .....	K= 2.8 W/m <sup>2</sup> °K
12 mm c/low-e.....	K= 1.8 W/m <sup>2</sup> °K

Si uno de los vidrios del DVH tiene revestimiento de baja emisividad – low-e – el K se reduce hasta un 35 %: el low-e refleja la radiación de onda larga generada en el interior de los edificios, impidiendo la salida del calor en invierno.

- Cuando es necesaria una gran luminosidad, se debe tener en cuenta que un DVH con ambos vidrios incoloros transmite hasta un 80 % de la luz solar. Por ejemplo, para DVH con distintos tipos de vidrio exterior, la transmisión de luz es:

DVH c/Float verde.....	TL= 67 %
DVH c/Evergreen (float alta performance).....	TL= 58 %
DVH c/Energy Advantage Evergreen (reflectivo).....	TL= 44 %

- Cuando un edificio posee una gran superficie vidriada (ej.: curtain wall), es necesario tener el mayor control de la radiación solar, especialmente la infrarroja que es sinónimo de calor. Un DVH con el vidrio exterior tonalizado y reflectivo, refleja gran parte de la radiación, parte es absorbida por la masa coloreada del vidrio y re-irradiada y el resto es transmitida al interior del edificio. El coeficiente de sombra es el valor que nos permite comparar la ganancia solar total de un DVH comparado con un vidrio incoloro de 3 mm de espesor: Por ejemplo, los valores para DVH con distintos tipos de vidrio exterior son:

DVH c/Float incoloro.....	CS= 81 %
DVH c/Float Gris.....	CS= 52 %
DVH c/Cool Lite ST 120 (Reflectivo HP).....	CS= 24 %

- En cuanto a los rayos UV, además de las características propias de cada vidrio para el control de este tipo de radiación, es bueno recordar que si un DVH está compuesto por vidrios laminados con PVB (polivinil butiral), este material permite el filtrado del 96 % o más de la misma, según el espesor del PVB.

Vale aclarar que determinados vidrios combinan dos o más propiedades - reflectivos con low-e, control solar con low-e, laminados con control solar, etc – y que, combinados en un DVH con un vidrio incoloro, obtienen altas prestaciones en casi todos los requerimientos.

Otro aspecto a tener en cuenta al momento de determinar el tipo de vidrio para conformar un DVH, es la cuestión referente a la aislación acústica: la cámara de aire de 6, 9 o 12 mm de un DVH, incide en menor medida en el aislamiento acústico. En cambio, este mejora cuando los vidrios del DVH son laminados con PVB de 0,76 mm de espesor como mínimo, vidrios de fuerte espesor, laminados compuestos de vidrios de distinto espesor, cuando las cámaras de aire tienen 50 mm o más, o cuando se combinan varias de estas alternativas en un mismo DVH.

Todos los aspectos considerados se deben tener en cuenta al momento de diseñar un panel de DVH. Los vidrios son los componentes más importantes del DVH, y los que más alternativas ofrecen para lograr un rendimiento conforme a los requerimientos de cada obra.

### **1.- REDUCE LAS PERDIDAS DE CALOR A TRAVES DEL ACRISTALAMIENTO**

- La cámara de aire controla la transmisión por convección (ver capítulo 4).
- Los dos vidrios reducen la transmisión por conducción (ver capítulo 4).
- Según el tipo de vidrio utilizado, se controla el ingreso de radiación:
  - Vidrios reflectivos de control solar: para impedir el ingreso de calor por radiación
  - Vidrios reflectivos bajo emisivos para impedir la salida del calor de los cuerpos
- Todo esto lleva a ahorros de calefacción y/o refrigeración

### **2.- EVITA LAS CONDENSACIONES SOBRE LA CARA INTERNA DEL VIDRIO:**

Que dañan paredes, pinturas y marcos aparte de dificultar la visión hacia el exterior

### **3.- EVITA EL EFECTO DE “PARED FRIA”:**

Por lo que la temperatura en el recinto es más uniforme y permite aumentar las zonas habitables de la vivienda y reducir algunos grados la temperatura de la calefacción.

### **4.- PRESTACIONES ACUSTICAS (ver capítulo 5)**

- La atenuación acústica depende, básicamente, de los vidrios, no de la cavidad.
- La cámara sólo influye en anchos aproximadamente de 20 mm.

### **5.- PRESTACIONES DE SEGURIDAD**

- Utilizando vidrios de seguridad (ver capítulo 6).

# Capítulo 4

## MECANISMOS DE TRANSMISION DE CALOR EN VIDRIOS

Así como el vidrio posee características intrínsecas que lo hacen insustituible, también tiene entre sus propiedades el de ser un buen transmisor del calor y del ruido. Ambas propiedades son - generalmente - indeseables y pueden convertir un recinto en absolutamente inconfortable.

Por ese motivo, quien diseñe o seleccione vidrios debe conocer los principios básicos de transmisión de calor y ruido a través de los mismos, así como las soluciones que la industria del vidrio ha desarrollado para resolver estos problemas. En este capítulo se abordarán los aspectos de la transmisión térmica (primero en los materiales en general y luego particularmente en el vidrio) y en el capítulo 6 los referidos a la transmisión acústica.

### 1.- MECANISMOS DE TRANSMISION DE CALOR EN LOS MATERIALES

Siempre el calor se transmite desde el lado de mayor temperatura hacia el de menor temperatura. Para seleccionar los materiales que se usarán en la construcción, es necesario conocer la velocidad con que se transmite el calor en cada material (madera, paredes, vidrio, tejas, acero, etc.), de modo de usar ese conocimiento para seleccionar los más adecuados: aquellos que respondan a las necesidades de confort interior y ahorro de energía.

Existen tres mecanismos básicos de transmisión de calor, que son los siguientes:

#### 1.1.- Transmisión de calor por conducción:

Este mecanismo de transmisión de calor se da en los sólidos. En este caso el calor se va transmitiendo molécula a molécula, desde las que se encuentran a mayor temperatura hacia las que están más frías. Pero, por ser un sólido, las moléculas se encuentran fijas (no se pueden desplazar) y la energía extra que tienen las que se encuentran a mayor temperatura, las obliga a “vibrar” dentro de su propio espacio molecular. Esta vibración se transmite a las moléculas más cercanas, las que a su vez comienzan también a vibrar (como producto de la energía que se les está transmitiendo). De esta manera se va transmitiendo la energía de molécula a molécula. Este mecanismo (llamado de conducción) es relativamente lento, dependiendo del material (en los metales es mucho más rápido que en el hormigón, por ejemplo).

En la fig. 4.1 se ejemplifica el calentamiento por conducción de una varilla metálica desde un extremo al otro de la misma.

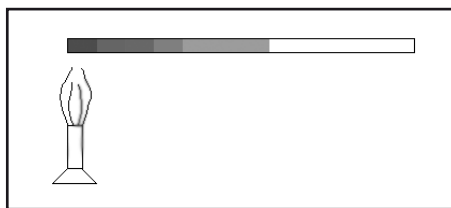


Fig. 4.1: transmisión de calor por conducción.

#### 1.2.- Transmisión de calor por convección:

Este mecanismo se da en los fluidos (como el aire). En este caso el calor también se transmite de una molécula a la molécula más cercana, pero a diferencia de lo que ocurre en los sólidos donde las moléculas están fijas, en los fluidos las moléculas pueden desplazarse, lo que les permite moverse bastante libres desde las zonas más calientes a las más frías.

De este modo cuando una molécula de aire adquiere mayor temperatura disminuye su densidad y, como se encuentra libre, se desplaza hacia una zona más fría, dejando su lugar a otra molécula fría. Por este motivo, este mecanismo de transmisión de calor es más rápido que el de conducción.

Esta característica tiene importancia en la transmisión de calor a través de los vidrios, porque los vientos (que inevitablemente existen en el exterior de los edificios) moverán aún más rápido y las moléculas de aire adyacentes a la superficie del vidrio, lo que aumentará la transmisión de calor,



En la fig. 4.2 se ejemplifica un caso de transferencia de calor por convección. (Gentileza V&M)

### 1.3.- TRANSMISIÓN DE CALOR POR RADIACION

En este caso no existe contacto entre la fuente de calor y el elemento que lo recibe. Es el caso típico del calentamiento por el sol: no hay contacto físico entre la fuente emisora de calor (el sol) y el elemento a ser calentado. Es uno de los mecanismos de transmisión de calor de mayor importancia, pues se realiza a una elevada velocidad. Es el responsable de la mayor parte de las ganancias de calor.



En la fig. 4.3 se ejemplifica un caso de transferencia de calor por radiación, se observa que no hay contacto directo entre la fuente de calor y el receptor. (Gentileza V&M)

## 2. LA TRANSMISION DE CALOR EN LOS VIDRIOS

Apliquemos los mecanismos descriptos en el punto anterior, al caso específico de los vidrios (ver fig. 4.4):

**2.1.- Transmisión por CONDUCCION:** el calor se transmitirá molécula a molécula a través de la masa de vidrio

**2.2.- Transmisión por CONVECCION:** el calor se transmite por medio del aire que se encuentra a ambos lados del vidrio. Este proceso es más lento que el de conducción pero se acelera debido a las corrientes de aire (tal como se explicó antes). En particular, las moléculas de aire que se encuentran en el exterior estarán sometidas a vientos que producirán una transferencia de calor mayor.

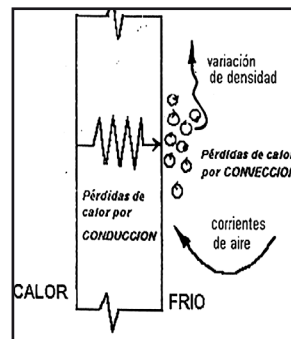


fig. 4.4: Mecanismo de transmisión de calor en vidrios.



Para medir la velocidad de transferencia de calor debido a la conducción y la convección, se utiliza el Coeficiente de Transmisión de Calor K.

COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN TÉRMICA (K): es la cantidad de calor que atraviesa una superficie por unidad de tiempo (1 h), por unidad de superficie ( $1\text{m}^2$ ) y por unidad de diferencia de temperatura entre ambos lados ( $1^\circ\text{C}$ ). Se mide en  $\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ , ó  $\text{Kcal}/\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$

Este valor K incluye ambos mecanismos de transferencia de calor: la conducción (a través de la masa de vidrio) y la convección (a través del aire que se encuentra adyacente al vidrio en ambos lados).

Un mayor valor de K significa una mayor transmisión de calor, un menor valor de K, significa una menor transmisión de calor. O dicho de otro modo: mayor capacidad de retardar la conducción de calor.

En el cuadro 4.1 se observan diferentes valores de K para diferentes materiales usualmente utilizados en construcción:

Cuadro 4.1: Valores K de algunos materiales de construcción  
(Fuente: “Vidrios de valor Agregado”, VyM Consultores)

Descripción	$K = \frac{\text{Kcal}}{\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}}$
Tabique ladrillo hueco 0.15 revocado en ambas caras	1.55
Pared de bloques de cemento 0.20 revocado en ambas caras	1.45
Mampostería de 0.30 revocada en ambas caras	1.62
Chapa canaleta de zinc en techo sobre tirantes	7.50
Losa H°A° (10 cm) + contrapiso (10 cm) + membrana	1.50
Vidrio 4 mm en ventana	6.26
Vidrio 4 mm en techos ( $30^\circ$ )	6.88
Doble vidriado hermético 6 / 12 / 6 en ventana	2.75
Doble vidriado hermético 6 / 12 / 6 en techos ( $30^\circ$ )	3.16
Mampostería 0.30 con 3 cm cámara de aire	1.31

Puede observarse que el valor K de un vidrio de 4 mm es muy alto en relación a la mayoría de los productos utilizados en construcción (es cercano al valor de una chapa de zinc y más de 4 veces el valor de una pared de 0.30 m). Esto significa que cada vez que se reemplaza un  $\text{m}^2$  de pared por un  $\text{m}^2$  de vidrio, se cuadruplica la carga térmica en el interior de la vivienda. Imaginemos lo que esto significa en términos de consumo de energía y de confort interior.

### 2.3.- Transmisión por RADIACION:

El valor K mide la transferencia de calor cuando existe una diferencia de temperatura entre ambos lados de un material. No toma en cuenta las transferencias de calor por radiación, los cuales se describen a continuación.

En los vidrios debemos tener en cuenta dos tipos de radiación diferentes, que actúan simultáneamente y producen efectos diferentes:

- Radiación solar
- Radiación de los cuerpos calientes

### 2.3.1.-RADIACION SOLAR

Es la energía del sol que entra a la vivienda atravesando los vidrios. Sus características principales son:

- Es producido por la radiación solar
- Son de longitud de onda corta
- Es energía entrante a la vivienda

En la fig. 4.5 se muestra el espectro de radiación solar, el cual está formado por radiación UV, radiación visible y radiación infrarroja.

La importancia de controlar el ingreso de la radiación solar está dada porque el 50% de la misma es radiación infrarroja, es decir: calor puro (ver fig. 4.6). En algunas situaciones es necesario aprovechar esta energía gratuita y aprovecharla, total o parcialmente (zonas frías); pero en otras situaciones es una carga térmica indeseable (zonas calientes) que origina discomfort y excesos de gastos de refrigeración.

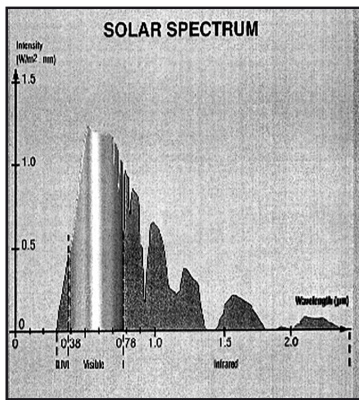


Fig. 4.5: Espectro de radiación solar.

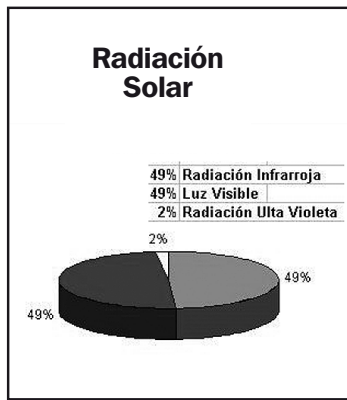
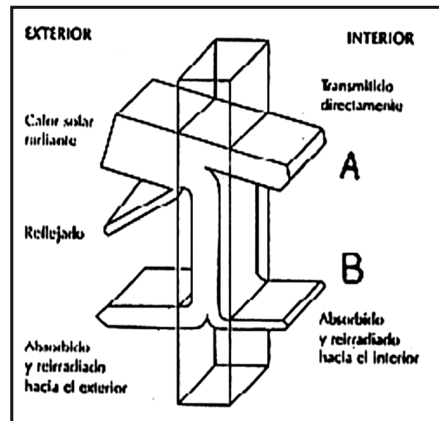


Fig. 4.6: Composición de la radiación solar.

Los dos coeficientes que se utilizan cuando se trata de mensurar la cantidad de calor por radiación que atraviesa un determinado vidrio son el **Coefficiente de Sombra (CS)** y el **FACTOR SOLAR (FS)**. Para entender estos conceptos utilizaremos como ayuda gráfica a la fig. 4.7.

Fig. 4.7: Representación esquemática del ingreso de radiación solar a través de un vidrio.



#### Factor solar (FS)

Este coeficiente indica el total de la energía solar radiante que atraviesa un vidrio. De acuerdo a la fig. 4.7 representa la parte A (parte del calor radiante incidente que atraviesa directamente el vidrio) más la parte B (parte de la energía radiante absorbida por el vidrio que es reirradiada hacia el interior).

Un FS de 0.45 significa que sólo el 45% de la energía solar que incide sobre el vidrio realmente lo atraviesa. A menor FS, mayor es la capacidad del vidrio de evitar el ingreso de calor solar.

Algunos valores de FS:

FS 6 mm incoloro	= 0.82
FS reflectivo verde 6 mm #2	= 0.39

Un DVH formado con un vidrio de control solar y un vidrio incoloro disminuye el FS entre el 20 y el 25%, respecto al FS del vidrio de control solar sólo.

### Coefficiente de sombra (CS)

Es la ganancia de calor solar (A+B, de la fig. 4.7) de un vidrio determinado respecto a la ganancia de calor solar de un vidrio de 3 mm de espesor. Es decir que la diferencia respecto al FS es que el CS está relacionado a un valor de referencia que es el vidrio de 3 mm, cuyo CS es, aproximadamente, igual a 1 (uno).

A mayor valor de CS mayor será la ganancia de calor por radiación; a menor valor de CS, menor será el ingreso de calor por radiación a través del mismo.

Algunos valores de CS:

CS 6mm gris	= 0.66
CS 6mm bronce	= 0.73
CS solar-E #2	= 0.61
CS 6mm reflectivo verde #2	= 0.44
CS 6mm supergrey	= 0.39

Nota: No se debe confundir el concepto de coeficiente de sombra (CS) de un vidrio -que depende de la radiación solar incidente sobre el vidrio- con el concepto de aislación térmica de un vidrio que se expresa con el valor K y que es la capacidad de reducir las pérdidas o ganancias de calor debidas a la diferencias de temperatura entre ambos lados del vidrio.

El FS y el CS están relacionados entre sí:

$$CS = FS_{\text{vidrio}} \times / FS_{\text{vidrio inc 3mm}}$$

### Transmisión de Luz (%T)

Es el mecanismo a través del cual los vidrios de Control Solar logran disminuir el CS, es generando una absorción de la luz visible que puede atravesar el vidrio, disminuyendo así la luminosidad del ambiente. El índice de TRANSMISION DE LUZ (%T) es la fracción de luz visible que, incidiendo en forma normal, es transmitida a través del vidrio.

Los valores mayores de %T corresponderán a los vidrios incoloros y, aunque en principio es deseable un valor de T% alto, debe recordarse que el exceso de luz solar puede producir deslumbramiento y molestias visuales a las personas, por lo que la disminución del porcentaje de luz visible que pasa a través de un vidrio es un aspecto que siempre debe tenerse en cuenta. Un índice de transmisión del 30 al 60% es, en la mayoría de los casos, un valor suficiente para evitar el deslumbramiento

En el cuadro 4.2 se muestran valores típicos de CS y %T para distintos tipos de vidrios de Control Solar:

Cuadro 4.2: Valores de CS y %T para algunos vidrios de Control Solar (fuente: Boletín Técnico VASA n°28/97)

Tipo de Float		CS	%T
Incoloro 6 mm		0.95	87 %
Coloreado en la masa	Bronce 6 mm	0.73	47 %
	Gris 6 mm	0.66	41 %
	Bronce 10 mm	0.59	33 %
	Gris 10 mm	0.52	25 %
Reflectivo	Bronce 6 mm	0.51	21 %
	Gris 6 mm	0.49	18 %

En relación a los vidrios serigrafiados (ver capítulo 3), el CS depende del % de área serigrafiada, del color de la serigrafía y del tipo de vidrio utilizado. En la fig. 4.8 se observa cómo varía el CS según sea la superficie serigrafiada y el tipo de vidrio.

Otro gráfico similar (que no se presenta en este libro) muestra la variación del %T cuando varía el área serigrafiada y el tipo de vidrio.

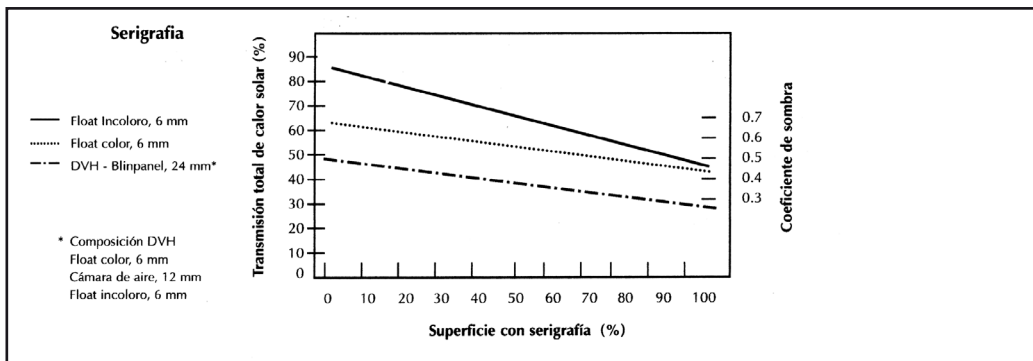


Fig. 4.8: Variación del CS en función de la superficie serigrafiada y tipo de vidrio (fuente: BI n° 11 - VASA).

### 2.3.2.-RADIACION DE LOS CUERPOS CALIENTES

Todo cuerpo a una determinada temperatura emite una radiación, la cual será mayor cuanto mayor sea la temperatura del objeto. La energía radiante del sol que ingresa a las viviendas calienta las paredes, pisos, muebles, personas, etc. elevando su temperatura y, de este modo, generando un aumento de la energía que irradian esos objetos. Esta radiación (producida por los cuerpos calientes) tenderá a salir hacia el exterior de la vivienda a través de los vidrios.

Las características principales de este tipo de radiación son:

- Son producidas por los cuerpos calientes del interior de las viviendas.
- Son radiaciones de onda larga.
- Es energía saliente de la vivienda.

Desde el momento que la radiación de los cuerpos calientes es energía que se ha almacenado en los cuerpos y objetos y tiende a salir, es necesario evitar que se pierda a través de los vidrios, pues será energía desperdiciada.

Para controlar la pérdida de este calor, se ha desarrollado el vidrio bajo emisor (en inglés Low-e) que tiene la propiedad de rechazar (hacia el interior de la vivienda) la radiación de onda larga (ver capítulo 3).

La tecnología que ha permitido la creación del Low-e ha ido progresando a pasos agigantados, lo que permite, hoy en día, ofrecer una variedad muy amplia de este tipo de vidrio. Podríamos resumirlas así:

- vidrios bajo emisivos soft (fabricados fuera de la línea de float): suelen tener capas débiles que no soportan las agresiones del medio ambiente y/o de la limpieza de los vidrios, por lo que deben usarse sólo en DVH con la capa bajo emisiva hacia el interior de la cámara.
- Vidrios bajo emisivos hard (fabricados a la salida de la línea float): poseen una capa dura, capaz de resistir las agresiones del medio ambiente y/o la limpieza de los vidrios. Puede usarse del mismo modo que un vidrio monolítico común. Suelen tener un rango de propiedades térmicas más limitado que los soft.

Como el vidrio bajo emisor impide la salida de calor radiante de los cuerpos calientes del interior de las viviendas, esto trae como efecto una disminución de la transferencia de calor debida a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, es decir: disminuye el valor K, aunque no tiene prácticamente incidencia en el coeficiente de sombra (CS). Es importante, sin embargo, observar que -al ser un vidrio prácticamente incoloro- su uso no afecta el porcentaje de transmisión de luz visible (%T).

Una última generación de vidrio bajo emisor posee también propiedades de Control Solar (disminuye el CS) permitiendo así disponer las dos propiedades en un solo vidrio: control solar y control de la radiación de los cuerpos calientes.

### 3. EL USO DE LOS VIDRIOS PARA CONTROLAR LA TRANSMISION DE CALOR:

Un factor importante en la elección de vidrios para un edificio es asegurar que eviten el ingreso excesivo de calor en verano e impidan que el calor de calefacción escape hacia el exterior durante el invierno. Esto es de suma importancia porque incide en el confort térmico interior y porque define un consumo permanente de energía del edificio durante su vida útil. Veremos a continuación los aspectos más generales que deben tenerse en cuenta para la adecuada selección de vidrios desde el punto de vista térmico.

Se explicó anteriormente que:

- Desde el punto de vista de la transferencia de calor debido a la diferencia de temperatura entre ambas caras del vidrio, cada vez que se reemplaza un  $m^2$  de pared tradicional por un  $m^2$  de vidrio, se está prácticamente cuadruplicando la carga térmica en el interior de la misma. Esto representará un gran consumo de energía de calefacción y/o refrigeración para poder recomponer el confort en el interior de la vivienda. Pensemos en lo que esto significaría en las grandes torres vidriadas que son características de la moderna arquitectura de nuestros días.
- Desde el punto de vista de la radiación solar, la energía infrarroja (calórica) es el 50% del total de la energía del sol, por lo que la carga térmica que implica ésto generará menor confort y mayores costos térmicos para adecuar el ambiente.
- La energía saliente del interior de la vivienda (radiación de los cuerpos calientes) es pérdida de energía que debe ser evitada.

Para encarar estos problemas, existen varios tipos de soluciones que ofrece la industria del vidrio actualmente, dependiendo del problema por resolver y lo que quiera obtenerse.

Si el problema se reduce solamente a disminuir el ingreso de calor radiante del sol se pueden utilizar vidrios de control solar, reflectivos o serigrafiados (tal como se explicó en el punto anterior). Si el problema es evitar la pérdida de radiación de los cuerpos calientes, se puede usar vidrio Low-e (tal como se explicó en el punto anterior) pero teniendo en cuenta que si se lo usa como monolítico deberá ser vidrio de tipo hard (y siempre se deberá consultar al fabricante primero, para ver si realmente el vidrio seleccionado está en condiciones de soportar la condiciones de uso como monolítico).

Pero la aplicación más importante para el control de la transferencia de calor a través de los vidrios es el DVH, por cuanto con él se puede conseguir simultáneamente (dependiendo del tipo de vidrio utilizado y su composición):

- disminución del coeficiente K
- disminución del CS
- disminución de la pérdida de calor por radiación de los cuerpos calientes

## EL DOBLE VIDRIADO HERMETICO (DVH) Y K

El DVH es un muy buen aislante térmico porque entre sus dos hojas de vidrio (ver capítulo 2) almacena una capa de aire estanca. El aire quieto es uno de los más importantes aislantes naturales que existen, pues al estar las moléculas sin movimiento la transmisión de calor por convección se reduce y, de esta manera, disminuye el valor K.

Esto puede observarse al comparar los valores de K de un vidrio simple con los correspondientes a un DVH:

Vidrio	K
Simple incoloro de 6 mm	5.80
DVH 6/12/6	2.80

A pesar de esta importante disminución en la transferencia de calor, el valor K de un DVH 6/12/6 sigue siendo muy elevado en relación a los valores de K de otros productos de construcción (ver cuadro 4.1).

¿Cómo se puede lograr disminuir aún más el valor de K en un DVH? Existen las siguientes alternativas:

- aumentar el ancho de la cámara
- reemplazar el aire por un gas de menor conductividad
- utilizar vidrio bajo emisivo (Low-e)
- utilizar triple vidriado herético

Al aumentar el ancho de cámara el valor K disminuye en forma importante hasta alcanzar un valor a partir del cual empieza a aumentar (aproximadamente en 20 mm). Esto es debido a que a partir de ese valor el espacio de cámara es tan grande que las moléculas tienen espacio para moverse y de esa manera la transferencia de calor aumenta.

Al reemplazar el aire por un gas con menor valor de conductividad térmica que el aire, se obtienen importantes valores de disminución de K, y aún más si se lo combina con el aumento del espesor de cámara. Sin embargo, lo dicho anteriormente respecto al aumento de la transferencia de calor al sobrepasar un determinado valor de ancho de cámara, es también válido en este caso.

Al utilizar un vidrio Low-e en un DVH, se logra una disminución del valor K de más del 30% respecto a un DVH sin Low-e.

## EL DOBLE VIDRIADO HERMETICO Y EL CS

El DVH admite el uso de vidrios de control solar y reflectivos, por lo que se puede controlar el ingreso de calor radiante solar, tal como se explicó anteriormente.

El vidrio reflectivo puede ser utilizado en cara 1 (#1) o en cara 2 (#2) (ver capítulo 3), debiendo tenerse en cuenta las diferencias entre ambos usos:

- En cara 1 (fig 3.4 - capítulo 3): en este caso los rayos del sol inciden directamente sobre la capa reflectiva y la visión será la de un espejo (casi no podrá observarse el color del vidrio). Esta aplicación ha sido restringida en muchos países porque el reflejo de los rayos del sol molestan a vecinos e incluso puede ser peligroso hacia el tránsito automotor.
- En cara 2 (fig 3.5 - capítulo 3): en esta utilización los rayos del sol atraviesan la masa del vidrio y recién allí son reflejadas por la capa metálica. Esto permite que el observador pueda apreciar los colores del vidrio (solución preferida estéticamente) y no tiene los peligros de usarlo en cara 1. Por otro lado, como los rayos del sol atraviesan el vidrio 2 veces, existe una gran probabilidad de rotura por stress térmico (ver capítulo 6).

## RESUMEN FINAL

El creciente uso de superficies vidriadas en las viviendas genera problemas de menor confort debido a la mayor transferencia de calor del vidrio respecto a las paredes de mampostería.

El DVH es una eficaz solución a este problema, pues su cámara de aire estanca limita las transferencias de calor por convección a la vez que los vidrios limitan la transmisión de calor por conducción.

De este modo se logra una disminución de aproximadamente 50 a 60% (dependiendo del ancho de cámara) en el valor del coeficiente K. En la práctica esto significa que utilizando un DVH se puede duplicar la superficie vidriada sin que ello signifique aumentar las pérdidas o ganancias de calor.

En el cuadro 4.3 se puede observar los valores de K para un vidrio simple (float incoloro 6 mm) y los valores para un DVH (inc. 6 / 12 / inc. 6 + cloro).

La utilización de un vidrio bajo emisivo (low-e) o la inclusión de gases nobles (tal como el argón) dentro de la cámara de aire reducen aún más el valor K (cuadro 4.3).

Si se quiere, adicionalmente, reducir el ingreso de calor por radiación, el vidrio exterior del DVH deberá ser de control solar y el mayor o menor rendimiento en impedir el ingreso de calor solar se mide por el coeficiente de sombra (en el 4.3 se pueden observar los valores de CS para distintas configuraciones).

De este modo -con una adecuada elección de los vidrios y la cámara de aire- se pueden alcanzar valores de K tan bajos como 1.80 o menor aún (usando gases diferentes al aire). Si comparamos estos valores con el K de las paredes de mampostería, se puede observar como la tecnología del vidrio permite construir edificios totalmente vidriados que tengan pérdidas de calor inferiores a los de edificios totalmente de paredes tradicionales.

Cuadro 4.3

Material	Espesor (mm)	K (W/m <sup>2</sup> °C)	FS	TL
Float incoloro	6	5,8	0,82	0,88
DVH incoloro-incoloro	6-12-6	2,8	0,72	0,79
DVH incoloro-LowE	6-12-6	1,8	0,66	0,73
DVH incoloro-LowE c/arg	6-15-6	1,5	0,68	0,73
Muro ladrillo comun	300	1,8	-	-
Losa H°A°	100	1,5		
Lana de vidrio	50	0,7		



# Capítulo 5

## AHORRO DE ENERGIA

### LEGISLACION SOBRE AHORRO ENERGETICO

En materia legislativa el país está dando sus primeros pasos, y ha sido la Provincia de Buenos Aires la pionera al promulgar la Ley N°13059/03 y el decreto reglamentario 1030/10.

Esta legislación determina valores máximos de transmitancia térmica de la envolvente de los edificios que se construyen en todo el ámbito de la provincia bonaerense, incluyendo obras públicas y obras privadas.

Con respecto al vidrio la ley establece que toda ventana ubicada hasta los 10 mts de altura (medidos a su dintel) debe cumplir con la clasificación K5 de la norma IRAM 11507-4 “Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores. Parte 4: requisitos complementarios. Aislación térmica”. Y para aquellas ventanas que e encuentran por encima de ese nivel la ley pide cumplir con la clasificación K4.

Para determinar la clasificación de la ventana se debe tener en cuenta tanto la transmitancia térmica del vidrio como también de la carpintería, utilizando la siguiente ecuación:

$$K_m = \frac{(K_v \times S_v + K_p \times S_p)}{S_{vent}}$$

Siendo:

$K_m$  = Transmitancia térmica ponderada de la ventana en  $w/m^2 \cdot ^\circ C$

$K_v$  = Transmitancia térmica del vidrio en  $w/m^2 \cdot ^\circ C$

$S_v$  = Superficie de la parte vidriada de la ventana en  $m^2$

$K_p$  = Transmitancia térmica de la carpintería en  $w/m^2 \cdot ^\circ C$

$S_p$  = Superficie de la carpintería en  $m^2$

$S_{vent}$  = Superficie total de la ventana en  $m^2$

Extrayendo los datos de la norma citada, se pueden tomar como referencia los siguientes datos:

Tipología (mm)	Transmitancia térmica de los vidrios en [W/(m <sup>2</sup> K)]
Vidrio simple incoloro de 6	5,8
DVH Inc-Inc 6-12-6	2,8
DVH Inc-Low E 6-12-6	1,8
DVH Inc-Low E c/argon 4-15-4	1,3

Tipología	Transmitancia térmica de los perfiles en [W/(m <sup>2</sup> K)]
Perfil aluminio sin ruptor de puente térmico	6,02
Perfil aluminio con ruptor de puente térmico	2,85

NOTA. Los valores indicados son orientativos.

Tipología	Transmitancia térmica de los perfiles [W/(m <sup>2</sup> K)]
Perfiles de PVC de 2 cámaras c/refuerzo	2,2
Perfiles de PVC de 3 cámaras c/refuerzo	2,0
NOTA. Los valores indicados son orientativos.	

Finalmente la clasificación de acuerdo al Km sería la siguiente:

Categoría de aislación de ventanas	Transmitancia térmica, K (en W/° C m <sup>2</sup> )
K <sub>1</sub>	K < 1,0
K <sub>2</sub>	1,0 ≤ K ≤ 1,5
K <sub>3</sub>	1,5 < K ≤ 2,0
K <sub>4</sub>	2,0 < K ≤ 3,0
K <sub>5</sub>	3,0 < K ≤ 4,0
No clasificable	K > 4,0

Otras ciudades han ido un paso mas allá, incorporando al cuerpo de las leyes un tema de suma importancia como es el control de las ganancias térmicas solares directas, establecidas por el Factor Solar de los vidrios. La Ordenanza N°8757/10 de la ciudad de Rosario establece dos niveles de aislación dependiendo de la superficie cubierta del edificio, para edificios de hasta 500m<sup>2</sup> cubiertos se exige nivel "B", para más de 500m<sup>2</sup> cubiertos se exige nivel "A".

En materia de vidrio las exigencias se establecen en las siguientes tablas:

#### Nivel A

##### Transmitancia térmica máxima en huecos y cerramientos no opacos

% de huecos	N	NE/NO	E/O	S
0 a 20	4,00	4,00	3,50	4,00
21 a 40	2,80	2,80	2,50	2,80
41 a 60	2,00	2,00	1,80	2,00

Factor de exposición solar máxima en lucernarios 0,25

##### Factor de exposición solar máxima en huecos

% de huecos	N	NE/NO	E/O	S
0 a 20	-	-	-	-
21 a 40	0,41	0,36	0,36	-
41 a 60	0,36	0,27	0,27	-

#### Nivel B

##### Transmitancia térmica máxima en huecos y cerramientos no opacos

% de huecos	N	NE/NO	E/O	S
0 a 20	5,70	5,70	5,00	5,70
21 a 40	4,00	4,00	3,50	4,00
41 a 60	3,00	3,00	2,80	3,00

Factor de exposición solar máxima en lucernarios 0,3