

Vidrio tratado térmicamente para acristalamiento arquitectónico

El objetivo de este documento técnico de Vitro (antes PPG Glass) es dar información que pueda ayudar a determinar qué tipo de vidrio tratado térmicamente es el más apropiado para la aplicación prevista. Este documento incluye breves discusiones sobre:

- Vidrio semi-templado y templado
- Fractura “espontánea” del vidrio templado y su causa
- Inclusiones de sulfuro de níquel
- Inmersión térmica (*heat soaking*) del vidrio templado
- Distorsión en el vidrio tratado térmicamente

Por último, este documento ofrece las recomendaciones de Vitro sobre el uso del vidrio tratado térmicamente.

Hay muchas consideraciones importantes al diseñar y utilizar el vidrio en las áreas de visión y spandrel (entrepiso) de las aplicaciones de acristalamiento arquitectónico. Cuando se requiera un vidrio tratado térmicamente para resistir las cargas de viento o nieve, los estreses térmicos esperados o para cumplir con los códigos de construcción aplicables, el profesional de diseño responsable debe considerar las respectivas características de rendimiento de estos productos antes de seleccionar y especificar el tipo de producto de vidrio.

En las aplicaciones arquitectónicas, el vidrio tratado térmicamente reduce en gran medida el potencial de fractura por estrés térmico y tensión de las cargas uniformes, como las cargas de viento y nieve. En la mayoría de los casos, un vidrio semi-templado del espesor y la calidad adecuados elimina las posibilidades de fractura por estrés térmico y carga del viento. Cuando un código o diseño responsable exige acristalamiento de

seguridad, se debe especificar un vidrio templado o semi-templado laminado.

Ni el vidrio semi-templado ni el templado pueden cortarse con seguridad después del procesamiento con tratamiento térmico. Para más información, consulte el *Documento técnico de Vitro TD-124 Procesamiento de vidrio tratado térmicamente*.

Se puede encontrar más información de diseño en relación con el estrés térmico utilizando la calculadora de estrés térmico en línea de Vitro, disponible en el [sitio web de Vitro Glazings](#) y en el Documento técnico de *Vitro TD-109 Actualización de estrés térmico*.

La diferencia entre el vidrio templado y el semi-templado – Ambos son tratados térmicamente

Los productos de vidrio tratados térmicamente, ya sean semi-templados o templados, se producen de forma muy similar utilizando el mismo equipo de procesamiento. En resumen, el vidrio se calienta a aproximadamente 1200°F (650°C) y luego se enfría a la fuerza para crear una compresión en la superficie y/o en los bordes del vidrio. El control de la velocidad de enfriamiento es lo que determina si el vidrio se semi-templa o se temple. Para producir un vidrio templado, el enfriamiento es mucho más rápido, creando así una mayor compresión en la superficie y/o en los bordes del vidrio. Para producir un vidrio semi-templado, el enfriamiento es más lento y la compresión resultante en el vidrio es menor que la del vidrio totalmente templado, pero aún más alta que la del vidrio recocido.

Vidrio tratado térmicamente para acristalamiento arquitectónico

Los requisitos de especificación estándar de la industria para el vidrio templado y semi-templado se establecen en la norma ASTM C1048 *“Especificación estándar para el vidrio plano tratado térmicamente- Vidrio con y sin recubrimiento semi-templado y templado”*.

- El vidrio semi-templado se define como el que tiene una compresión superficial de 3,500 a 7,500 psi (24 a 52 Mpa); no se especifica ningún requisito de compresión en los bordes.
- El vidrio templado se define como el que tiene una compresión superficial mínima de 10,000 psi (69 Mpa), una compresión en los bordes no inferior a 9,700 psi (67 Mpa), o cumple la norma ANSI Z97.1 o la norma CPSC 16CFR1201.

Tome en cuenta que la compresión de la superficie del vidrio semi-templado debe verificarse para que cumpla con los requisitos de la norma ASTM C1279 *“Método de prueba estándar para la medición fotoelástica no destructiva de las tensiones en los bordes y la superficie del vidrio recocido, semi-templado y totalmente templado”*. Esto se debe a que no hay una fuerte correlación entre el patrón de fractura y la compresión de la superficie en el rango de niveles de compresión del vidrio templado.

Debido a la compresión en el vidrio, el vidrio semi-templado es aproximadamente dos veces más resistente que el vidrio recocido del mismo espesor. El vidrio templado es aproximadamente de 4 a 5 veces más resistente que el vidrio recocido del mismo espesor. A excepción de este aumento de la resistencia mecánica, todas las demás propiedades del vidrio permanecen inalteradas, incluyendo la deflexión del vidrio. Para obtener más información sobre la deflexión del vidrio, consulte el *Documento técnico de Vitro TD-113 Por qué tanto el vidrio recocido como el semi-templado y el templado se deflexionan en la misma medida*.

La diferencia más drástica e importante entre

el vidrio semi-templado y el templado está en las características posteriores a la fractura de los dos productos (es decir, el patrón de fractura). Si el vidrio semi-templado se rompe, los trozos serán relativamente grandes y tenderán a permanecer en el sistema de acristalamiento hasta su retirada. El vidrio templado, en cambio, está diseñado para romperse en incontables trozos pequeños y aproximadamente cúbicos. De hecho, es este patrón de fractura el que califica al vidrio templado como material de acristalamiento de seguridad. Sin embargo, debido al patrón de fractura, es mucho más probable que el vidrio templado evacue el sistema de acristalamiento inmediatamente después de la fractura. Los profesionales responsables del diseño deben tener en cuenta la tendencia del vidrio templado a evacuar la abertura en caso de fractura y las consecuencias deben ser aceptables. Las partes responsables saben que siempre existe la posibilidad de que el vidrio se rompa; por lo tanto, la construcción del vidrio debe diseñarse con una baja probabilidad de fractura, normalmente menos de 8 láminas / 1000 láminas, pero si el vidrio se rompe, el diseño del vidrio debe hacerse de manera que las consecuencias de la fractura sean aceptables.

Patrón típico de fractura del vidrio templado



“Debido al patrón de fractura, es mucho más probable que el vidrio templado evacue el sistema de acristalamiento inmediatamente después de la fractura”.

Vidrio tratado térmicamente para acristalamiento arquitectónico

Patrón típico de fractura del vidrio semi-templado



“Debido al patrón de fractura, es mucho más probable que el vidrio semi-templado permanezca en el sistema de acristalamiento en caso de fractura hasta el momento en que se retire intencionalmente”.

El vidrio semi-templado **no** es un material de acristalamiento de seguridad. Cuando se requiera un acristalamiento de seguridad, ya sea por código o por diseño, debe utilizarse un material de acristalamiento de seguridad certificado, como el vidrio templado o laminado.

¿Qué es la fractura espontánea y qué la provoca?

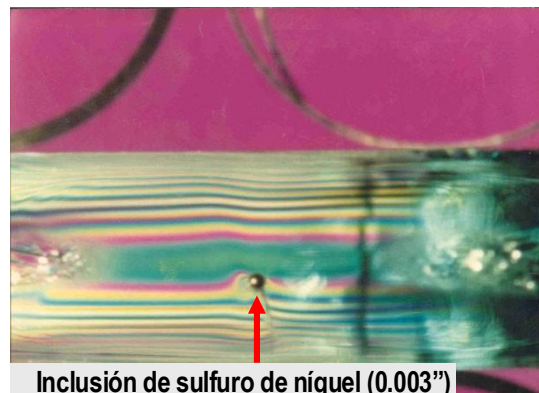
Hay casos, después de la instalación, en que el vidrio templado se rompe sin causa aparente. En estos casos de “fractura espontánea”, la mayoría de las veces se determina que el vidrio se rompió debido a un daño existente en la superficie o en los bordes que comprometía gravemente la capacidad del vidrio para soportar las cargas de viento previstas, o los movimientos normales del edificio; o que el contacto entre el vidrio y el metal combinado con el movimiento bajo la carga del viento inició la fractura. En casos relativamente raros (escasos), la fractura puede ser atribuible a la presencia de inclusiones de sulfuro de níquel en la zona de tensión central del vidrio templado.

Aunque no es intencional, pueden formarse inclusiones de sulfuro de níquel en la producción de vidrio flotado. Vitro y otros fabricantes de vidrio han aplicado procedimientos y controles con el fin de reducir en gran medida

la probabilidad de aparición de inclusiones de sulfuro de níquel. Vitro no incluye específicamente el níquel en ninguna de sus formulaciones de lotes de vidrio primario, y sus plantas de vidrio flotado utilizan separadores magnéticos y no utilizan equipos de manipulación de lotes de vidrio con componentes que contengan níquel.

Sin embargo, no existe ninguna tecnología conocida que elimine totalmente la posibilidad de inclusiones de sulfuro de níquel en el vidrio flotado. Tales inclusiones pueden producirse al azar, suelen ser benignas y casi siempre son muy pequeñas. El tamaño de las piedras de sulfuro de níquel suele oscilar entre

0.003” y 0.015” (0.076 mm y 0.380 mm) de diámetro. Este tamaño impide el uso de métodos prácticos de inspección comunes en la producción de vidrio flotado. La norma ASTM C1036 “Especificación estándar para el vidrio plano”, la especificación básica con la que se fabrica el vidrio flotado en Estados Unidos, permite la presencia de imperfecciones (incluyendo piedras) de entre 0.020” y 0.100” (0.5 mm y 2.5 mm) en el vidrio flotado, dependiendo del tamaño del vidrio y del nivel de calidad.



Dado que las inclusiones de sulfuro de níquel pueden aparecer en la producción de vidrio flotado, pueden estar presentes en el vidrio recocido y semi-templado, así como en el vidrio templado. Sin embargo, por la explicación que

Vidrio tratado térmicamente para acristalamiento arquitectónico

se da a continuación, el vidrio recocido y el vidrio semi-templado casi nunca están sujetos a la fractura espontánea por inclusiones de sulfuro de níquel.

Brevemente, la fractura por inclusiones de sulfuro de níquel se debe a una transformación de fase (llamada cambio de fase α a β) que da lugar a un aumento del tamaño de la inclusión. El crecimiento volumétrico de la inclusión es pequeño, y oscila entre el 2 y el 4% aproximadamente. Este crecimiento de volumen, si la piedra se encuentra en la zona de tensión central, puede causar tensiones que potencialmente provocarían la fractura del vidrio.

Durante la fabricación del vidrio flotado, el vidrio se enfría intencionalmente a un ritmo lento y controlado para producir un vidrio con la menor compresión residual posible en la superficie y en los bordes. Durante esta fase de recocido, las inclusiones tienen tiempo de sufrir el cambio de fase α a β y estabilizarse, sin provocar la fractura del vidrio.

Cuando el vidrio se calienta de nuevo para el semi-templado o el templado, las inclusiones de NiS presentes volverán a la forma α más pequeña y estable a alta temperatura. El ciclo de enfriamiento más lento del proceso de semi-templado permite que las inclusiones sufran el cambio de fase. Sin embargo, el ciclo de enfriamiento rápido necesario para producir vidrio templado detiene el cambio de fase y puede atrapar la piedra antes de que complete su crecimiento volumétrico. Más tarde, debido a la exposición a la temperatura de servicio, el cambio de fase y el crecimiento volumétrico que lo acompaña continúan y pueden conducir a la fractura.

Existe un consenso general de que la fractura espontánea debida a estas inclusiones no es un problema con el vidrio recocido o semi-templado. El fenómeno se limita al vidrio templado.

Comparación del vidrio tratado térmicamente		
	PROS	CONTRAS
Semi-templado	Mayor resistencia a las cargas de viento y nieve	No cumple con los requisitos de acristalamiento de seguridad a menos que esté laminado
	Mayor resistencia a los estreses térmicos	
	Normalmente permanece en la apertura si se rompe	
	No se requiere remojo térmico (<i>heat soak</i>)	
	PROS	CONTRAS
Totalmente templado	Cumple con los requisitos de acristalamiento de seguridad	Evacua la abertura al romperse
	Mayor resistencia a las cargas de viento y nieve	Mayor probabilidad de fractura por inclusiones de NiS
	Mayor resistencia a los estreses térmicos	Mayor costo y riesgo de dañar el producto debido a la inmersión térmica y a los pasos y la manipulación adicionales requeridos

¿Qué es la inmersión térmica (remojo térmico)? ¿Funciona?

El concepto de remojar el vidrio en calor para reducir o eliminar las fracturas espontáneas debidas a las inclusiones de NiS existe desde hace décadas. La inmersión térmica consiste en exponer el vidrio templado a temperaturas elevadas durante cierto tiempo.

La temperatura y el tiempo de exposición no son constantes, sino que varían según la creencia de aquellos a favor de la inmersión térmica. Algunos creen que son más apropiadas las temperaturas más bajas durante más tiempo; otros creen que son más apropiadas las temperaturas más altas durante menos tiempo.

Vidrio tratado térmicamente para acristalamiento arquitectónico

Un proceso típico de inmersión térmica eleva la temperatura del vidrio a 550°F (290°C) durante dos horas. Consulte la norma BS EN 14179-1.

El objetivo obvio del proceso de inmersión térmica es lograr un resultado de “fractura ahora, no después”, basado en la suposición de que cualquier lámina de vidrio con inclusiones se romperá durante el proceso de inmersión térmica. La prueba de inmersión térmica puede realizarse por muestreo o en lotes completos. Nota: Si se opta por la inmersión térmica del vidrio recubierto (con capa low-e, por ejemplo), Vitro recomienda que se sumerja en calor todo el vidrio recubierto templado de la fachada del edificio.

Cabe señalar que existe una cantidad considerable de información pública sobre el tema de las inclusiones de sulfuro de níquel. Existen numerosos sitios web y un largo historial de artículos técnicos de expertos de la industria del vidrio y de la ciencia de los materiales.

Si bien existe un consenso general sobre el concepto y la intención del proceso de inmersión térmica, no hay consenso sobre el resultado. ***La mayoría está de acuerdo en que la inmersión térmica puede eliminar (por destrucción) algunas de las láminas problemáticas, pero no en que la inmersión térmica garantice la eliminación del 100% de las posibles fracturas espontáneas debidas a inclusiones.*** De hecho, el resultado de la inmersión térmica sólo puede expresarse estadísticamente, es decir, la probabilidad prevista de fractura por inclusiones puede reducirse de x láminas/1000 a y láminas /1000. Este resultado predicho estadísticamente se basa en muchas suposiciones, como la incidencia de la aparición de piedras, la compleja estequiometría implicada, la ubicación de las inclusiones dentro del cuerpo del vidrio y la eficacia del procedimiento de prueba. Además, no hay consenso sobre los procedimientos estadísticos utilizados.

Con muchas décadas y millones de pies cuadrados de producción de vidrio semi-templado en servicio, Vitro no tiene conocimiento de ningún caso de fractura espontánea en el vidrio semi-templado; dado que la inmersión térmica no puede garantizar la eliminación de la fractura espontánea en el vidrio templado, se deduce que el riesgo de fractura espontánea es probablemente menor en el vidrio semi-templado que en el vidrio templado sumergido en calor.

También hay consecuencias potenciales no deseadas asociadas a la inmersión térmica.

Entre ellas:

- Daños en los vidrios de prueba adyacentes si se produce una fractura durante la prueba
- Efecto sobre las tensiones inducidas por el vidrio templado que pueden alterar sus características de seguridad contra la fractura
- Inclusiones estables que no habrían causado fractura en el campo comienzan la transformación de fase durante la prueba de inmersión térmica, pero no se rompen y luego el cambio de fase continúa más tarde en el campo y causa la fractura
- Efectos de la manipulación adicional y la temperatura en el vidrio templado de baja emisividad, incluyendo:
 - Rasguños u otros daños en la superficie que provocan pérdidas de rendimiento y costos adicionales
 - Fracturas y/o daños en los bordes que podrían causar fracturas posteriores
 - Posibilidad de que se produzca un cambio en el color reflejado y/o transmitido del recubrimiento de baja emisividad.

Vidrio tratado térmicamente para acristalamiento arquitectónico

Productos de Vitro aprobados para la inmersión térmica	
Todos los vidrios sin recubrimiento	Vidrio Solarban® z50VT
Vidrio reflectante Solarcool®	Vidrio Solarban® z75VT
Vidrio reflectante Vistacool®	Vidrio Solarban® 70VT
Vidrio Sungate® 400VT	Vidrio Solarban® 72VT
Vidrio Solarban® 60VT	Vidrio Solarban® 90VT
<p><i>Nota: Sólo los revestimientos MSVD Templables VT de baja emisividad arriba mencionados están aprobados para la inmersión térmica. Ninguna versión recocida del recubrimiento MSVD de baja emisividad está aprobada para la inmersión térmica.</i></p>	

Quando se especifica un vidrio templado, el responsable de la toma de decisiones debe tomar una decisión informada en cuanto a la necesidad y conveniencia de la inmersión térmica basándose, entre otras, en las siguientes consideraciones:

- El uso de vidrio semi-templado en lugar de templado, siempre que no se requiera un acristalamiento de seguridad
- Si el acristalamiento de seguridad es requerido por código o por el deseo de retener el vidrio en la abertura, se debe considerar el vidrio laminado semi-templado.
- Garantías en cuanto a los resultados esperados de la inmersión térmica, es decir, ¿se ofrecerán seguridades y garantías de que se eliminarán las fracturas debidas a inclusiones de sulfuro de níquel, o se reducirán de un nivel previsto a un nivel inferior?
- ¿Qué efectos tendrá la inmersión térmica en el rendimiento del vidrio templado, es decir, la posible reducción de la resistencia y/o el deterioro de las características de seguridad contra la fractura?

- ¿Qué efectos tendrá la inmersión térmica en el color del vidrio templado recubierto de baja emisividad?

Distorsión y planicidad del vidrio tratado térmicamente

La distorsión de la imagen óptica puede ocurrir en todos los tipos de vidrio por muchas razones diferentes, incluyendo:

- Planicidad no uniforme
 - Distorsión por rodillo (*roller wave*)
 - Distorsión de borde (*kink*)
 - Arco (*bow*)
 - Pandeo (*warp*)
- Presión del acristalamiento
- Carga de viento
- Cambios de temperatura
- Cambios en la presión barométrica
- Cambios de altitud entre el lugar de procesamiento de la unidad de vidrio aislante y el lugar de instalación.

Con el vidrio tratado térmicamente, el proceso mismo de tratamiento térmico modificará la planicidad original del sustrato de vidrio recocido y dará lugar a distorsiones. Esta es una condición inherente a todos los vidrios tratados térmicamente y da lugar a distorsiones ópticas debidas a distorsiones por rodillos, arcos y pandeo.

Debido a que diferentes procesos de tratamiento térmico pueden producir una distorsión óptica aceptable a diferentes niveles de distorsión por rodillo, no existe una norma en la industria para cuantificar la distorsión por rodillo permitida en el vidrio tratado térmicamente. Con frecuencia se especifica una tolerancia de distorsión de rodillo de 0.005"; sin embargo, es más apropiado utilizar, si la hay, una especificación de milidioptías. Incluso con una especificación de planicidad, no hay garantía de que un número específico asegure una óptica aceptable; por lo tanto, una maqueta (*mock-up*)

Vidrio tratado térmicamente para acristalamiento arquitectónico

a tamaño real en condiciones de trabajo para evaluar la estética óptica de un proceso de tratamiento térmico específico es la mejor manera de reducir al mínimo las sorpresas en el sitio de trabajo. Además de la maqueta a tamaño real, siempre que sea posible se deben tomar las siguientes medidas adicionales para minimizar el impacto de la distorsión inherente al vidrio tratado térmicamente:

- Producir todo el vidrio tratado térmicamente para un proyecto determinado en el mismo equipo y con los mismos parámetros de procesamiento.
- Utilizar un vidrio más grueso, ya que es menos propenso a todo tipo de distorsiones.
- Orientar el vidrio tratado térmicamente de forma que la onda del rodillo sea paralela al alféizar / cabecera.

La aparición de distorsiones también puede deberse a patrones de tensión en el vidrio tratado térmicamente. Consulte el *Documento técnico de Vitro, TD-115 Patrones de Tensión en el vidrio tratado térmicamente* para obtener información adicional.

La aparición de distorsiones también puede deberse a patrones de franjas de interferencia en unidades de vidrio aislante con o sin vidrio tratado térmicamente. Consulte el *Documento técnico de Vitro, TD-118 Franjas de interferencia en unidades de vidrio aislante*.

Recomendaciones de Vitro

- **Vitro reafirma su recomendación de siempre de que se especifique y utilice el vidrio semi-templado, excepto cuando el código exija el uso de vidrio templado por motivos de seguridad u otros.** *Nota: En el caso de las aplicaciones de spandrel (entrepiso), consulte el Documento técnico de Vitro TD-145, Vidrio de spandrel - Tipos y recomendaciones, para obtener comentarios adicionales sobre el tratamiento térmico exclusivo para esta aplicación.*
- **Vitro sigue creyendo que la inmersión térmica no es un método probado para eliminar toda posibilidad de fractura del vidrio por las inclusiones de sulfuro de níquel.**
- **Si se toma la decisión de sumergir en calor el vidrio recubierto, Vitro recomienda que todo el vidrio recubierto templado de la fachada del edificio sea sumergido en calor.**
- **Vitro recomienda encarecidamente que se vea una maqueta a tamaño real (mock-up) en las condiciones reales del sitio para evaluar el aspecto del vidrio sumergido en calor.**
- **Todos los vidrios MSVD de baja emisividad que hayan sido sumergidos en calor deben ser procesados en unidades aislantes selladas dentro de los 5 días siguientes al templado.**
- **Los procesadores deben medir periódicamente la compresión de la superficie o realizar pruebas adicionales del tamaño de las partículas del vidrio sumergido en calor para asegurarse de que los atributos del vidrio totalmente templado no se han visto comprometidos.**

Vidrio tratado térmicamente para acristalamiento arquitectónico

TABLA DE HISTORIAL		
CONCEPTO	FECHA	DESCRIPCIÓN
Publicación original	5/27/2004	INSIDE GLASS, Recomendaciones de los Servicios Técnicos, 92-2, 16 Enero 1992 "Use Vitro Hestron Heat Strengthened Glass for Architectural Glazing" es retirado y sustituido por este documento.
Revisión #1	11/4/2011	Se agregaron comentarios sobre la inmersión térmica del vidrio recubierto Vitro MSVD y la distorsión del vidrio tratado térmicamente
Revisión #2	7/23/2014	Se agregó SG600 a la lista de recubrimientos aprobados para la inmersión térmica
Revisión #3	10/04/2016	Se actualizó al logotipo y formato de Vitro
Revisión #4	1/25/2019	Se actualizó logotipo y formato de Vitro
Revisión #5	11/17/2020	Se agregó SB90VT a la lista de recubrimientos aprobados para la inmersión térmica y se eliminaron de la lista los productos descontinuados SG500, SG600 y SunClean. Cambios generales de formato.

Este documento pretende informar y ayudar al lector en la aplicación, uso y mantenimiento de los productos Vitro Vidrio Arquitectónico. El rendimiento y los resultados reales pueden variar según las circunstancias. Vitro no ofrece ninguna garantía en cuanto a los resultados que se obtendrán del uso de toda o parte de la información proporcionada en este documento, y por la presente renuncia a cualquier responsabilidad por lesiones personales, daños a la propiedad, insuficiencia del producto o cualquier otro daño de cualquier tipo o naturaleza que surja del uso por parte del lector de la información contenida en este documento.