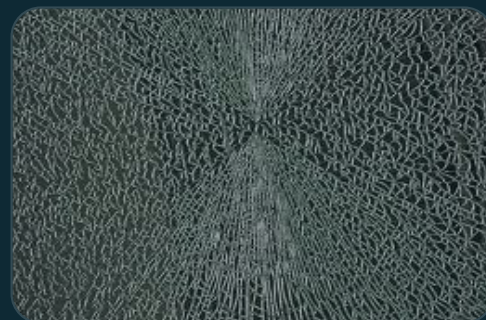




INFORME TÉCNICO PREMIUM - EDICIÓN 2026

ROTURA ESPONTÁNEA DEL VIDRIO TEMPLADO

Mecanismo físico, diagnóstico forense y control del riesgo mediante **Heat Soak Test (HST)**.



HST: reducción estadística del riesgo, no promesa de riesgo cero.

El vidrio mantiene su condición de templado, su comportamiento de seguridad y sus prestaciones normativas.



RESUMEN EJECUTIVO

Seis ideas que deben quedar claras

La rotura espontánea de un vidrio templado es un fenómeno real, raro, documentado y expresamente contemplado por la normalización europea. Cuando el origen se identifica en una inclusión interna crítica, no existe base técnica para convertir automáticamente el evento en un defecto de templado, fabricación o montaje.

01

Fenómeno reconocido

La EN 14179-1 define un **riesgo residual** de rotura espontánea asociado a inclusiones críticas de sulfuro de níquel (NiS).

02

Origen microscópico

El NiS se forma en el vidrio base durante la fabricación del float. El proceso de templado **no crea** la inclusión.

03

No implica no conformidad

Una rotura aislada por NiS, correctamente identificada, **no demuestra por sí sola** un defecto de fabricación o de temple.

04

No es defecto de montaje

Si el origen es interno y no existe daño de canto, impacto o contacto rígido, la causa no se atribuye al instalador.

05

El templado se mantiene

Tras el HST, el vidrio debe seguir cumpliendo fragmentación y resistencia mecánica. La norma mantiene sus prestaciones a flexión y frente a diferenciales térmicos.

06

HST no es garantía 100%

El HST elimina de la instalación muchas piezas con inclusiones críticas, pero **no puede garantizar cero roturas futuras**.

Mensaje técnico-comercial: el HST es un proceso de selección preventiva que reduce de forma muy significativa la probabilidad de rotura por NiS. No es una garantía absoluta ni modifica la esencia del vidrio templado.

01 - MECÁNICA DE TENSIONES

La fortaleza del templado nace de un equilibrio interno

El temple térmico crea compresión permanente en las superficies y tracción equilibrante en el núcleo. Esa arquitectura tensional es la responsable de su mayor resistencia y de su fragmentación de seguridad.

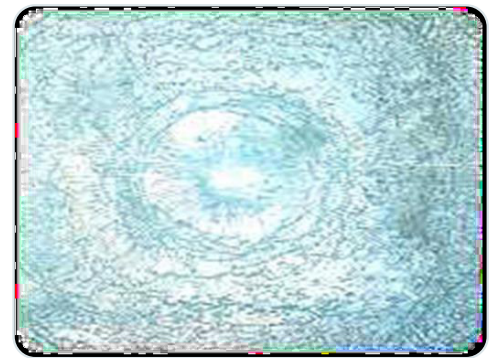


Imagen procedente del informe original: fragmentación característica del vidrio templado.

COMPORTAMIENTO DE SEGURIDAD

Rotura en partículas pequeñas

El templado no evita toda rotura. Su función de seguridad es que, una vez iniciada la fractura, la energía elástica almacenada produce una fragmentación granular que reduce el tamaño de las aristas cortantes frente al vidrio recocido.

La paradoja del templado: la misma tracción central necesaria para equilibrar la compresión superficial puede amplificar localmente el efecto de una inclusión expansiva situada en el núcleo.

Superficie

Compresión residual que dificulta la apertura de microfisuras superficiales.

Núcleo

Tracción residual compensatoria: zona crítica para inclusiones expansivas.

Resultado

Mayor resistencia útil y patrón de fragmentación propio del vidrio de seguridad templado.

02 - SULFURO DE NÍQUEL

Cómo una partícula microscópica puede iniciar una rotura macroscópica



Micrografía del informe original. Escala indicada: 100 μm . Las inclusiones críticas pueden ser del orden de decenas a centenares de micras.

~2,5%

Expansión volumétrica máxima de referencia asociada a la transformación de fase alfa $\rightarrow$ beta en modelos recientes.

1

Formación en el vidrio base

Pequeñas contaminaciones de níquel pueden reaccionar con azufre en el proceso primario de fabricación del vidrio float. La inclusión queda embebida en la matriz vítrea y no es visible mediante inspección convencional.

2

Recalentamiento durante el temple

Al elevar la temperatura del vidrio para templarlo, ciertas composiciones de NiS adoptan una fase estable a alta temperatura y de menor volumen.

3

Enfriamiento rápido

El quench del templado es tan rápido que puede congelar la inclusión en un estado metaestable antes de que complete su transformación hacia la fase estable a temperatura ambiente.

4

Transformación retardada

Con el tiempo, la inclusión puede evolucionar hacia la fase beta, aumentando su volumen. La cinética es dependiente de composición y temperatura, por lo que la rotura puede ser muy diferida.

5

Fractura inestable

Si la inclusión está en la zona central de tracción y supera el umbral crítico de tamaño/posición, la presión local y el campo tensional pueden elevar la intensidad de tensiones hasta iniciar una grieta que se propaga de forma catastrófica.

Vidrio float

Inclusión interna potencial, microscópica e impredecible.



Templado

Se genera el campo de compresión superficial / tracción central.



Servicio

Transformación lenta de una inclusión crítica.



Rotura

Inicio interno sin impacto externo necesario.

Clave causal: el temple no crea el NiS. El temple crea el estado de tensiones que hace que una inclusión crítica, ya presente en el vidrio base, pueda convertirse en un iniciador de fractura.

03 - LECTURA FORENSE

Una rotura espontánea deja señales distintas de un impacto o de un problema de canto



Patrón de fragmentación del informe original. La identificación causal debe localizar el origen real de fractura, no limitarse a observar el aspecto general del paño roto.

FIRMA TÍPICA NIS

"Mariposa" / "figura de ocho"

En roturas atribuidas a NiS se busca un origen interno, normalmente en la zona central del espesor, con dos fragmentos o "alas" alrededor de la inclusión. La confirmación robusta se obtiene recuperando la partícula y analizándola mediante microscopía y, cuando procede, SEM/EDS.

Ausencia de aplastamiento local + origen interno + inclusión identificada constituye un conjunto de evidencias muy distinto al de una rotura por impacto.

MECANISMO	ORIGEN HABITUAL	INDICADORES	LECTURA TÉCNICA
Inclusión NiS	Interior del espesor, en zona de tracción.	Patrón mariposa/figura 8, partícula en el foco, sin cráter de impacto.	Causa interna compatible con rotura espontánea.
Impacto	Superficie en el punto de contacto.	Aplastamiento, huella/cráter, daño local y trazas de contacto.	Requiere evidencia de acción externa.
Daño de canto / montaje	Borde o proximidad del apoyo.	Muesca, desconchado, contacto rígido vidrio-metal, presión puntual o restricción.	No compatible con un origen interno puro.
Solicitación térmica	Frecuentemente iniciada en borde o defecto preexistente.	Gradientes térmicos + origen ligado al perímetro/defecto.	Debe correlacionarse con condiciones de servicio.

Importante: la morfología de fragmentación del vidrio templado es muy compleja. Para atribuir una rotura concreta a NiS o descartar montaje/impacto se recomienda conservar fragmentos del origen y documentar cantos, apoyos, holguras y contacto con herrajes antes de desmontar.

04 - FABRICACIÓN Y TEMPLADO

Una rotura por NiS no equivale automáticamente a un defecto de fabricación

La norma europea no parte de la ficción de “cero inclusiones”. Parte de una realidad industrial: existe un riesgo residual estadístico incluso después de un HST correctamente ejecutado.

El NiS pertenece al vidrio base

La inclusión se origina en el proceso primario de fusión/float. El transformador que corta, mecaniza y temple el vidrio no puede generar retrospectivamente una partícula de NiS en el núcleo del material.

Su escala microscópica hace que la detección pieza a pieza por inspección visual convencional no sea técnicamente viable.

El templado es el estado funcional

El proceso térmico crea las tensiones residuales que dan al vidrio sus prestaciones de seguridad. Si una inclusión crítica está situada en la tracción central, su expansión puede actuar como iniciador.

Eso no significa que el temple sea defectuoso: significa que el fenómeno depende de la interacción entre una inclusión preexistente y el campo tensional propio del templado.

“Riesgo residual” es un concepto normativo, no una excusa comercial.

EN 14179-1 reconoce expresamente que incluso el vidrio templado tratado HST conserva una probabilidad estadística residual de rotura espontánea por inclusiones críticas de NiS.

Lo que sí sería una no conformidad

Incumplimiento de requisitos de producto, fragmentación, resistencia, tolerancias, proceso o trazabilidad aplicables.

Lo que no demuestra una rotura aislada

Por sí sola, una rotura espontánea atribuible a NiS no demuestra que el vidrio estuviera mal templado.

Criterio correcto

Separar **mecanismo causal** de **conformidad del proceso**. El origen de la grieta y la evidencia física son determinantes.

Formulación recomendada: “Cuando la fractura se atribuye técnicamente a una inclusión interna crítica y el producto cumple los requisitos aplicables, el evento debe considerarse un riesgo residual reconocido del vidrio templado y no una prueba automática de defecto de fabricación o templado.”

05 - EXCLUSIÓN DE CAUSAS DE MONTAJE

Una inclusión interna no la crea, ni la ve, ni la controla el montador



Imagen del informe original: rotura por acción puntual/impacto en vidrio no templado, con origen visible y propagación radial.

ORIGEN INTERNO ≠ FALLO DE MONTAJE

Si el punto de inicio está dentro del espesor, se identifica una inclusión y no existen señales de daño de canto, contacto o restricción, el mecanismo causal no procede del montaje.

Qué debe comprobarse antes de imputar la rotura

1

Origen de fractura. Interior o borde; posición respecto al espesor y a los apoyos.

2

Cantos. Muestras, desconchados, golpes, taladros, mecanizados o daño de manipulación.

3

Contactos rígidos. Vidrio-metal, tornillería, calzos mal posicionados o presión puntual.

4

Holguras y restricción. Compatibilidad con tolerancias, movimiento del marco y dilataciones.

5

Evidencia externa. Impactos, acciones accidentales o condiciones térmicas anómalas.

6

Partícula. Recuperación/identificación de inclusión en el foco cuando sea posible.

El instalador no puede detectar NiS

La partícula se encuentra dentro del vidrio y su escala es microscópica. No forma parte de una inspección de montaje ordinaria.

El instalador sí responde del montaje

Daños de canto, apoyos incorrectos, contactos rígidos o restricciones pueden causar otras roturas y deben evaluarse separadamente.

La evidencia decide

La atribución técnica debe apoyarse en el punto de origen y la fractografía, no en la mera circunstancia de que el vidrio estuviera instalado.

La UNE-EN 12488 establece recomendaciones de acristalamiento y reglas de montaje. Su existencia refuerza la necesidad de diferenciar una rotura por condiciones de instalación de una rotura cuyo iniciador está en el interior del vidrio.

06 - PROCESO HST

HST no simula las cargas de obra: acelera la transformación del NiS

El objetivo del Heat Soak Test es provocar, en un horno controlado y antes de la instalación, la rotura de las piezas que contienen inclusiones de NiS con potencial crítico. Es un proceso térmico de "screening", no un ensayo de carga estructural.



Horno HST reproducido del informe original.

1. Calentamiento

Desde ambiente hasta que la última superficie de vidrio alcanza 250 °C. La edición EN 14179-1:2016 limita la velocidad máxima de calentamiento a 3 °C/min.

2. Mantenimiento

La temperatura superficial se mantiene en **260 °C ± 10 °C** durante un mínimo de **2 horas**.

3. Enfriamiento

Descenso controlado de temperatura hasta ambiente, minimizando la rotura por choque térmico.

Actualización normativa importante: la UNE-EN 14179-1:2017 es idéntica a EN 14179-1:2016. Esta edición redujo la temperatura de mantenimiento respecto a la versión 2005/2006. El valor de 290 °C ± 10 °C durante 2 h corresponde al régimen histórico, no al ciclo actual de la Parte 1.

Durante el calentamiento, la superficie del vidrio no debe superar 290 °C y el tiempo por encima de 270 °C debe minimizarse. La calibración del horno, la circulación de aire, la separación entre piezas y el registro térmico forman parte del sistema de proceso.

07 - LA LIMITACIÓN ESENCIAL

El HST reduce el riesgo. No puede garantizar el 100%.

$\leq 1/400 t$

Nivel de riesgo residual estadístico definido por EN 14179-1 para rotura espontánea por inclusiones críticas de NiS en vidrio templado tratado HST.

La propia norma advierte que no es posible seleccionar una cantidad de vidrio HST para un edificio y afirmar que "no ocurrirá ninguna rotura" por NiS.

"Reducción de probabilidad" y "garantía de cero roturas" son conceptos técnicamente distintos.

El HST desplaza al horno una gran parte de las roturas que, sin el proceso, podrían aparecer durante la vida útil. Pero siempre queda un riesgo residual: la distribución de inclusiones es estadística, la cinética de transformación depende de composición/tamaño/posición y la norma no contempla otras causas de rotura.

Vidrio templado

Existe riesgo remoto por inclusiones internas críticas.



HST

Fuerza la transformación y descarta muchas piezas críticas.



Riesgo residual

Muy reducido, pero distinto de cero.

Lo que HST sí hace

Reduce de forma estadística la probabilidad de rotura posterior por NiS y permite retirar piezas que fallan durante el ciclo.

Lo que HST no hace

No "certifica" que una pieza concreta jamás se romperá y no cubre todos los posibles mecanismos de rotura.

Mensaje contractual correcto

HST debe comunicarse como **medida de reducción de riesgo**, nunca como garantía absoluta de ausencia de rotura espontánea.

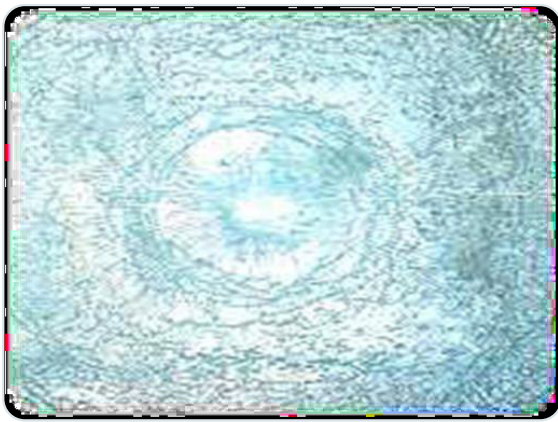
PREVENCIÓN DE ALTO NIVEL. RIESGO CERO, NO.

Precisamente por eso el HST tiene valor: transforma un riesgo imprevisible en un riesgo residual cuantificado y gestionable, sin prometer lo que la ciencia y la norma no pueden garantizar.

08 - COMPORTAMIENTO DEL TEMPLADO

El HST no "destempla" el vidrio: mantiene su comportamiento funcional de seguridad

El Heat Soak Test se realiza después del templado y a temperaturas muy inferiores a las de reblandecimiento/recocido. No convierte el producto en vidrio recocido ni termoendurecido. Sigue siendo vidrio de seguridad templado térmicamente tratado HST.



Fragmentación típica de templado, imagen del informe original.

Mismo principio de seguridad

La compresión superficial y la tracción central siguen gobernando la respuesta del vidrio. Si se produce una rotura, el patrón de fragmentación exigido al vidrio HST sigue siendo el del vidrio de seguridad templado.



Fragmentación: EN 14179-1 exige que, después del HST, el producto cumpla el ensayo de fragmentación.



Resistencia mecánica: tras la fabricación, el vidrio HST debe cumplir el requisito de resistencia mecánica aplicable.



Resistencia a flexión: el alcance de EN 14179-1 indica que el vidrio tratado HST no pierde sus características de resistencia a flexión.



Diferenciales de temperatura: la norma mantiene la resistencia del producto frente a diferencias térmicas dentro de su campo de aplicación.



Clasificación de seguridad: cuando se usa frente a impacto humano accidental, debe clasificarse conforme a EN 12600.

Conclusión: el HST es un tratamiento de selección adicional. No elimina ni degrada la condición de templado cuando el producto se procesa y verifica conforme al sistema normativo aplicable.

NO

Recocido

El HST no busca relajar completamente las tensiones del temple.

NO

Re-templado

No se vuelve a llevar el vidrio al ciclo térmico de templado.

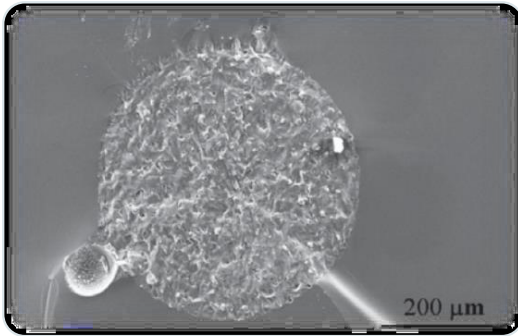
SÍ

Screening térmico

Se acelera la evolución de inclusiones críticas para que fallen antes de instalarse.

09 - MÁS ALLÁ DEL NiS

El NiS es el mecanismo normalizado, pero no es la única inclusión interna documentada



Partícula de silicio reproducida del informe original. La literatura ha documentado casos de rotura asociados a inclusiones de silicio elemental.

Partículas de silicio elemental

Un trabajo publicado en 2007 examinó mediante microscopía electrónica seis muestras de vidrio templado roto y describió inclusiones de silicio elemental como posible iniciador. El mecanismo propuesto no es idéntico a la transformación de fase del NiS: se relaciona con tensiones tangenciales alrededor de la partícula generadas por incompatibilidad termo-mecánica.

La evidencia científica disponible es mucho más extensa y consolidada para NiS, y el sistema EN 14179 está específicamente construido alrededor de la gestión del riesgo por inclusiones críticas de NiS.

Consecuencia práctica: incluso un HST conforme no puede convertirse en una garantía universal contra toda rotura espontánea, porque existen otros iniciadores internos y causas externas que quedan fuera del objetivo específico del ensayo.

NiS

Transformación de fase retardada, aumento de volumen, mecanismo ampliamente estudiado y riesgo residual definido por EN 14179-1.

Silicio elemental

Mecanismo documentado en literatura técnica mediante análisis SEM y modelización por elementos finitos.

Otras causas

Impactos, daño de canto, contactos, sobrecargas, incompatibilidades térmicas o defectos localizados requieren diagnóstico separado.

Un informe técnico sólido no promete imposibles: identifica mecanismos, separa causas y cuantifica el riesgo residual.

10 - MARCO NORMATIVO VERIFICADO

Normas clave y conclusión final

Mapa normativo

DOCUMENTO	FUNCIÓN EN ESTE INFORME
UNE-EN 12150-1:2016+A1:2020	Define y describe el vidrio de seguridad de silicato sodocálcico templado térmicamente.
UNE-EN 14179-1:2017 idéntica a EN 14179-1:2016	Define el vidrio templado tratado HST, el ciclo térmico, la fragmentación, características físicas/mecánicas y el riesgo residual por NiS.
UNE-EN 14179-2:2006	Evaluación de la conformidad / norma de producto para vidrio templado tratado Heat Soak.
UNE-EN 12488:2017	Recomendaciones de acristalamiento y reglas de montaje para vidrio en edificación.
EN 12600	Clasificación y ensayo de impacto pendular cuando el vidrio se usa como protección frente a impacto humano accidental.

Estado normativo consultado a 13/08/2026. UNE mantiene vigentes las ediciones españolas indicadas. EN 14179-1:2016 se encuentra en proceso de revisión en CEN; hasta publicación/sustitución, la edición vigente debe verificarse para cada proyecto, pliego y país.

Conclusión de ingeniería

- ✓ **La rotura espontánea por NiS es un fenómeno reconocido.** Puede ocurrir sin impacto y de forma diferida.
- ✓ **No implica automáticamente defecto de fabricación.** Una inclusión interna crítica es un riesgo residual del vidrio base/templado contemplado por la norma.
- ✓ **No implica defecto de instalación.** Si el origen es interno y se descartan canto, contacto, impacto y restricción, no existe mecanismo causal atribuible al montador.
- ✓ **El vidrio sigue siendo templado.** HST no elimina sus requisitos de fragmentación, resistencia mecánica, flexión ni comportamiento frente a diferenciales térmicos.
- ✓ **HST reduce, no garantiza el 100%.** EN 14179-1 reconoce un riesgo residual estadístico y descarta expresamente la promesa de "cero roturas".

Fuentes técnicas principales

- [1] EN 14179-1:2016 / UNE-EN 14179-1:2017. Glass in building - Heat soaked thermally toughened soda lime silicate safety glass - Part 1: Definition and description.
- [2] UNE-EN 12150-1:2016+A1:2020. Vidrio de silicato sodocálcico de seguridad templado térmicamente - Parte 1.
- [3] UNE-EN 14179-2:2006. Evaluación de la conformidad / Norma de producto.
- [4] UNE-EN 12488:2017. Vidrio para la edificación - Recomendaciones para el acristalamiento - Reglas de montaje.
- [5] Kasper, A. (2019). Spontaneous cracking of thermally toughened safety glass. Part one: Properties of nickel sulphide inclusions. Glass Structures & Engineering 4, 279-313.
- [6] Pisano, G. et al. (2021). How the risk of failure in lifetime of tempered glass depends on the size of NiS inclusions and heat soak test duration. Journal of the American Ceramic Society.
- [7] Bao, Y. et al. (2007). A new mechanism of spontaneous breakage of tempered glass - monolithic silicon particles. Journal of the Chinese Ceramic Society 35(9), 1273-1276.
- [8] Glass and Glazing Federation (2025). Consumer Guide: Spontaneous Breakage - guía sectorial sobre riesgo residual y HST.

Alcance: documento técnico-comercial general. La atribución de causa y responsabilidad en una rotura concreta requiere inspección del origen de fractura, conservación de fragmentos, revisión de cantos/apoyos y, cuando proceda, análisis microscópico de la inclusión.