

VIDRIOS PLANOS EN ARQUITECTURA

Interacción de la luz solar y el calor con los vidrios y sus tratamientos basados en láminas de seguridad, control solar y térmico.

Prefacio

Este manual se enfoca en el vidrio plano arquitectónico y está diseñado como una guía práctica para instaladores, vendedores y empresas dedicadas a la instalación de láminas de control solar y seguridad en ventanas. Su objetivo es ayudar a prestar un servicio de mayor calidad y atención a las personas usuarias, fortaleciendo el conocimiento técnico y contribuyendo a una profesionalización más completa.

En el entorno de una empresa de instalación, los profesionales encargados de la instalación y quienes participan en las ventas y cotizaciones deben estar familiarizados con los materiales, sus características y los procedimientos de instalación adecuados. Es fundamental atender las necesidades específicas de los clientes finales con claridad y honestidad. La falta de conocimiento puede derivar en errores que conllevan pérdidas materiales, económicas y de reputación, mientras que el dominio de la información sobre los productos genera mayor confianza, mejores ingresos y menores riesgos.

Aunque en algunos casos se requieren cálculos avanzados y las múltiples variables pueden resultar confusas, este manual busca simplificar los conceptos esenciales. De esta manera, la información se puede transmitir de forma clara al cliente final y emplearse como herramienta efectiva de ventas, proporcionando argumentos sólidos.

El propósito central es brindar un servicio de excelencia. Esto implica no solo concretar una venta, sino también entregar a la persona usuaria el producto y el servicio que más se ajusten a sus necesidades.

Módulo 1 – Fundamentos del Vidrio Arquitectónico

1.1 El papel del vidrio en la edificación

El vidrio es un material de origen transparente que permite el paso de la luz solar en diferentes grados, al tiempo que incide en el confort térmico y lumínico de los espacios. En su estado inicial, presenta baja capacidad como aislante térmico y filtro solar, además de representar un riesgo al romperse por sus bordes cortantes. Su uso principal consiste en permitir la visibilidad hacia el exterior y el ingreso de luz visible, a la vez que impide el paso del viento, polvo, agua y humedad al interior. Por su belleza es utilizado ampliamente en arquitectura, permitiendo espacios claros y ambientes iluminados, fachadas lisas, pero, con ese sol que entra están los problemas que eso puede traer.

Los aspectos abordados aquí se relacionan con el mejoramiento de las propiedades del vidrio, tales como la disminución del riesgo asociado a su ruptura (vidrios templados), la capacidad de permanecer íntegro tras una fractura (vidrios laminados), el incremento del aislamiento acústico (paneles dobles, triples y cuádruples), la reducción del intercambio térmico mediante la disminución de emisividad (Low-E), y la regulación de la interacción entre el vidrio y la luz en distintos espectros (infrarrojo, luz visible y ultravioleta), mediante mecanismos como absorción, reflexión o transmisión. Este proceso se denomina control solar y depende de la cantidad y forma en que cada espectro es absorbido, reflejado o transmitido. No se abordan en este texto cuestiones relativas al color, que también pueden ser filtrados, absorbidos o reflejados según la longitud de onda, principalmente con efectos estéticos.



1.2 Tipos de Vidrio

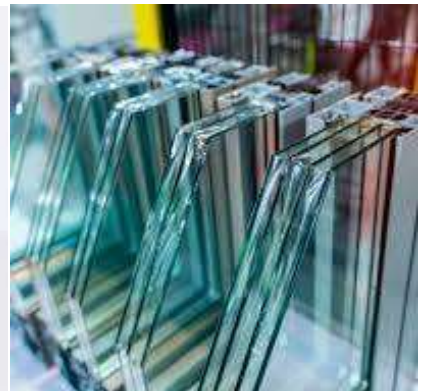
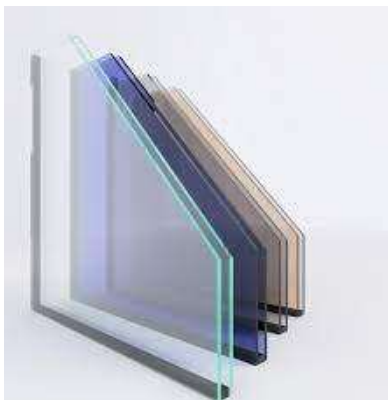
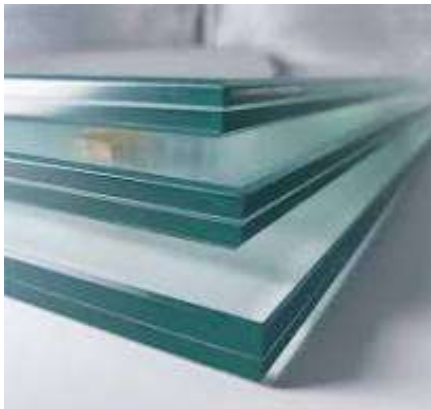
- Vidrio float claro (monolítico): el más común, alta transmisión de luz visible y calor. No es seguro cuando se rompe, tiene baja resistencia térmica, es económico y muy utilizado. Su nombre se debe a que en su fabricación el material fundido a más de 1000 grados Celsius flota sobre estaño fundido, así garantizando un grosor uniforme y superficie lisa, es fabricado con cuarzo, sosa y sulfato, piedra caliza y dolomita.
- Vidrio templado: vidrio tratado térmicamente, más resistente, en su proceso de tratamiento acumula energía, lo que permite que al romperse lo haga de manera diferente al vidrio float siendo más seguro en cuanto a ruptura, pero sus propiedades ópticas son similares a las del vidrio float.
- Vidrios con Control Solar- Poseen tratamiento y pigmentos para absorber y/o reflejar algunos espectros de luz solar estos pueden ser float o templados.
- Vidrio Low-E: con capa de baja emisividad que reduce las pérdidas de calor en invierno y la ganancia solar en verano. Tiene un tratamiento con plata y otros materiales depositados de manera a entregar esas características, pueden ser Hard Coat, cuando se impregna en caliente estos materiales, pero con menor performance, o Soft Coat cuando se impregna estos materiales en el vidrio, con mayor performance, pero con baja resistencia a abrasión.



1.3 Estructura de los paneles de Vidrio

Los vidrios pueden ser ensamblados de distintas formas, ya sea transformándolos en paneles laminados, o uniendo estos paneles en grupos de vidrio dobles, triples o cuádruples. De diferentes formas:

- **Vidrio Simple:** opción básica una sola lámina de vidrio.
- **Vidrio Laminado:** Compuesto por dos o más láminas de vidrio, unidas por una capa intermedia de polímero (PVB). Ofrece seguridad, ya que en caso de rotura los fragmentos quedan adheridos a la capa intermedia evitando su dispersión.
- **Vidrio Doble** (DVH o termopanel) Formado por dos láminas de vidrio separadas por una cámara de aire o gas, ofreciendo mejor aislamiento térmico y acústico que el vidrio simple.
- **Vidrio Triple, y Cuádruple:** Tal como o DVH, tienen más capas de vidrio con cámaras de aire o gas, ofreciendo una mejoría en aislamiento.

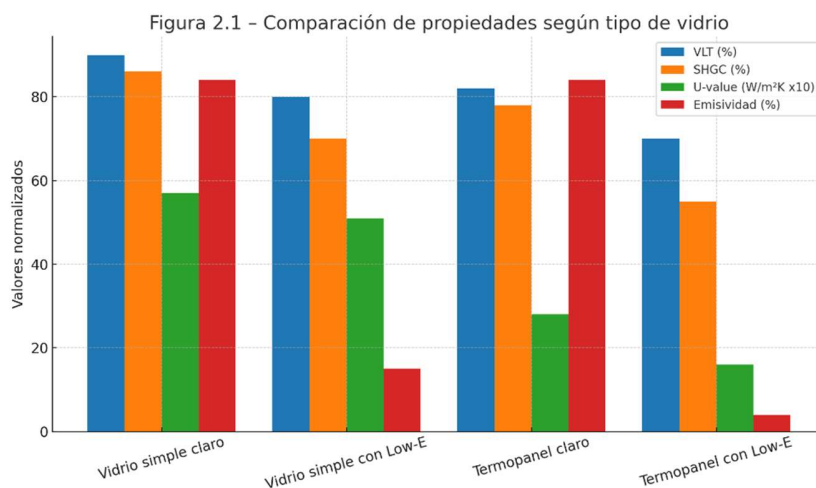


1.4 Comparación de propiedades

Podemos hacer una comparación básica de algunos parámetros importantes a considerar posteriormente en los distintos tipos de vidrios y estructura constructiva. Ellos son:

- **VLT** Porcentaje de luz visible transmitida de 0% a 100%
- **SHGC** Coeficiente de Ganancia solar, que cuantifica cuanto calor del sol entra, y se expresa de 0 a 1, en donde 0 indicaría que no entra ningún calor y 1 indicaría que todo el calor solar entra a través del vidrio.
- **U-Value (W/m²K)** Coeficiente de transmisión térmica, cuanto más bajo, más aislante es el vidrio, se expresa en vatios por metro cuadrado por grado kelvin, eso mide el conjunto vidrio+marco
- **Emisividad** La emisividad en vidrios se refiere a la capacidad de un vidrio para emitir o irradiar energía térmica infrarroja. Un valor de emisividad más bajo indica que el vidrio emite menos calor, lo que resulta en un mejor aislamiento térmico su escala va de 0 a 1.

Tipo de vidrio	VLT (%)	SHGC	U-value (W/m ² K)	Emisividad
Vidrio simple claro	90	0.86	5.7	0.84
Vidrio simple con Low-E	80	0.70	5.1	0.15
Termopanel claro	82	0.78	2.8	0.84
Termopanel con Low-E	70	0.55	1.6	0.04



1.5 Tipos de Sujeción de los Cristales

La forma en que los vidrios se fijan a la estructura resulta tan importante como su composición y tipología. Los sistemas de sujeción y sellado cumplen un rol esencial en la **estabilidad, durabilidad y seguridad** de las superficies vidriadas, ya que permiten absorber las tensiones generadas por cambios de temperatura, presiones de viento y esfuerzos estructurales. Un diseño inadecuado puede derivar en fisuras, desprendimientos o fallas prematuras. En nuestro rubro, dedicado a la **protección solar, seguridad y eficiencia térmica mediante láminas que modifican las propiedades del vidrio**, los sujetadores adquieren una relevancia aún mayor, pues de ellos depende que las películas mantengan su adherencia, su vida útil y su desempeño energético en condiciones reales de uso. Por ello, **identificar correctamente los sistemas de sujeción y comprender cómo interactúan con nuestros materiales es vital para una adecuada elección de soluciones y para realizar las correcciones previas necesarias.**

- **Marcos con burletes de goma**

Los marcos metálicos con juntas de goma son uno de los sistemas más comunes en fachadas. El vidrio queda encajado perimetralmente, mientras los burletes aportan **elasticidad** y permiten cierta movilidad frente a la dilatación térmica. Además, protegen los bordes de contacto directo con la estructura.



- **Marcos con silicona estructural o sellos híbridos**

En este sistema, el vidrio se fija al marco por medio de **silicona de alto desempeño**, que funciona como un adhesivo elástico. Este método es ampliamente utilizado en fachadas **muro cortina**, ya que posibilita superficies continuas de vidrio sin marcos visibles desde el exterior. Su principal virtud es la capacidad de **acompañar movimientos y dilataciones**, manteniendo la hermeticidad.



- **Sujeción directa a la estructura**

Los muros cortina, pueden ser sujetados directamente a la estructura, o en botones, estos tipos de sujeción dificultan la instalación interna de láminas de control solar. Se utiliza silicona estructural para unir las piezas. También hay un sistema en donde las piezas ya vienen unidas con adhesivo estructural al marco que se encaja en la estructura.



- **Vidrios con marcos de madera y acero antiguos y sujetados por masilla.**

El sistema de fijación de vidrios con masilla ha quedado obsoleto, sin embargo, son encontrados comúnmente en construcciones más antiguas. Estos sujetadores rígidos tienden a resecar y quebrarse, dejando bordes del vidrio expuestos, no permite absorber dilataciones lo que aumenta el riesgo de ruptura, y su acabado es tosco e ineficiente. La mayoría de los fabricantes de láminas para vidrio excluye estos de la garantía, pues no garantizan una instalación prolija debido a la suciedad que se desprende, tampoco la vedación adecuada, lo que reduce la vida útil de adhesivo y el deterioro del material.



- **Riesgos del contacto directo con mampostería**

Cuando el vidrio se instala sin perfilería o sellos adecuados, o cuando estos se encuentran dañados, resecos o cuarteados, el cristal puede entrar en contacto directo con la mampostería o con el metal de los marcos. En estas condiciones, al exponerse a las concentraciones de esfuerzo producidas por la **dilatación y contracción térmica**, el vidrio no logra desplazarse con libertad y termina absorbiendo tensiones que no puede disipar. Esto puede derivar en **fisuras, desprendimientos e incluso fallas estructurales**. Por esta razón, siempre que posible verificar que estén **espacios de dilatación** y la integridad de los sellos, para que acompañen los movimientos naturales de la construcción, protegiendo la integridad del vidrio y prolongando su vida útil

Una vez verificados los sistemas de sujeción, es posible entender cómo estos afectan directamente el desempeño de las **láminas aplicadas a los vidrios**:

- **Láminas de seguridad**: requieren bordes bien protegidos con burletes o sellos, para asegurar que, en caso de impacto, el vidrio y la película permanezcan unidos.
- **Láminas de control solar**: dependen de sistemas de sujeción herméticos, que eviten filtraciones de aire y humedad que podrían reducir su efectividad y vida útil.
- **Vidrios con láminas Low-E**: obtienen su máximo rendimiento en fachadas con sellados continuos (silicona o poliuretano), que impiden pérdidas térmicas y optimizan el aislamiento.

1.6 Conclusión

La elección del tipo de vidrio es determinante en el **comportamiento térmico y lumínico** de una edificación. Cada variante —desde el vidrio float simple hasta los termopaneles con tratamientos del tipo Low-E— ofrece ventajas y limitaciones en aspectos como **transmisión de luz, control solar, aislamiento térmico y confort interior**.

Comprender parámetros como **VLT, SHGC, U-Factor y emisividad** permite anticipar con precisión el desempeño del vidrio frente a la radiación solar y a las variaciones de temperatura. De esta manera, el instalador puede ofrecer soluciones más seguras y eficientes, equilibrando **eficiencia energética, iluminación natural y protección de los interiores**.

El tipo de vidrio, sus **características físicas** y los **sistemas de sujeción y marcos** son factores esenciales en nuestro rubro, pues de su correcta selección y aplicación depende tanto la durabilidad como la calidad final del proyecto.

En definitiva, este módulo demuestra que no existe un vidrio universalmente “mejor”, sino que la idoneidad depende siempre del **contexto de uso, la orientación de la fachada, las condiciones climáticas y las necesidades del cliente**.

Como nuestro trabajo normalmente comienza una vez que los vidrios ya han sido seleccionados, la clave estará en **modificar y mejorar sus propiedades con el menor costo posible**, para adaptarlos de la mejor manera a los requerimientos del cliente. Esto se logra mediante **tecnologías adicionales como las láminas de control solar, seguridad y protección térmica**, que serán abordadas en los próximos módulos.

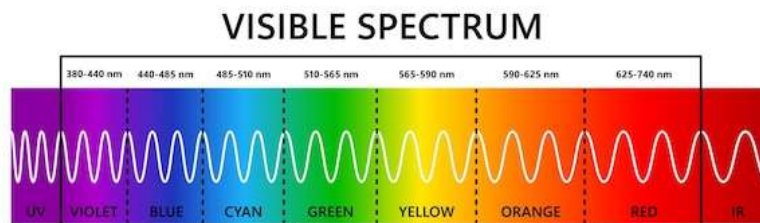
Módulo 2 – Fundamentos de La Luz Solar

Cuando comprendemos que nuestro trabajo consiste en **modificar la manera en que la luz se transmite, se refleja o se absorbe a través del vidrio**, podemos hablar con verdadera convicción sobre lo que hacemos. Y para lograrlo, es indispensable **entender la luz solar y sus efectos**, pues de ese conocimiento surge la capacidad de ofrecer soluciones que respondan de la mejor manera a las **necesidades de nuestros clientes**.

2.1 Espectros de la radiación solar

La Luz Solar se divide en 3 rangos, Ultravioleta, Luz Visible e Infrarrojo

El VLT (Visible Light Transmisión) es el porcentaje de luz visible al ojo humano que un vidrio deja pasar hacia el interior. Este valor es fundamental para equilibrar la iluminación natural y el control solar. La luz visible contiene espectros que van desde los 400 y 700 nanómetros de longitud de onda, y es el rango en que nuestro ojo puede percibir, donde el 400 a 450 nm es el color violeta (rangos menores son llamados ULTRAVIOLETA) y el rojo desde 620 a 700nm (rangos mayores son llamados Infrarrojo).



La energía de estos rangos está dividida en valores aproximados de la siguiente manera:

- Ultravioleta (UV): 280–380 nm, representa ~5% de la energía.
- Visible (VIS): 380–780 nm, representa ~43% de la energía.
- Infrarrojo (IR): 780–2500 nm, representa ~52 % de la energía.

Distribución de la radiación solar en sus principales espectros

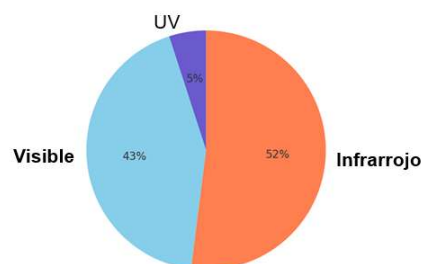


Figura 1.1 – Distribución de la radiación solar en sus principales espectros

Tomemos un vidrio de ejemplo, tratado con láminas o ya de fabrica con estos parámetros: 70% de transparencia, Filtro UV de 99% y Filtro Infrarrojo de 90%. (difícilmente un vidrio de fabrica tendría estos valores) pero como ejemplo.

Energía total transmitida por:

Espectro Ultravioleta: 5% energía quitando 99% de ellos $(0,99 \times 5) = 4,5\%$ de reducción

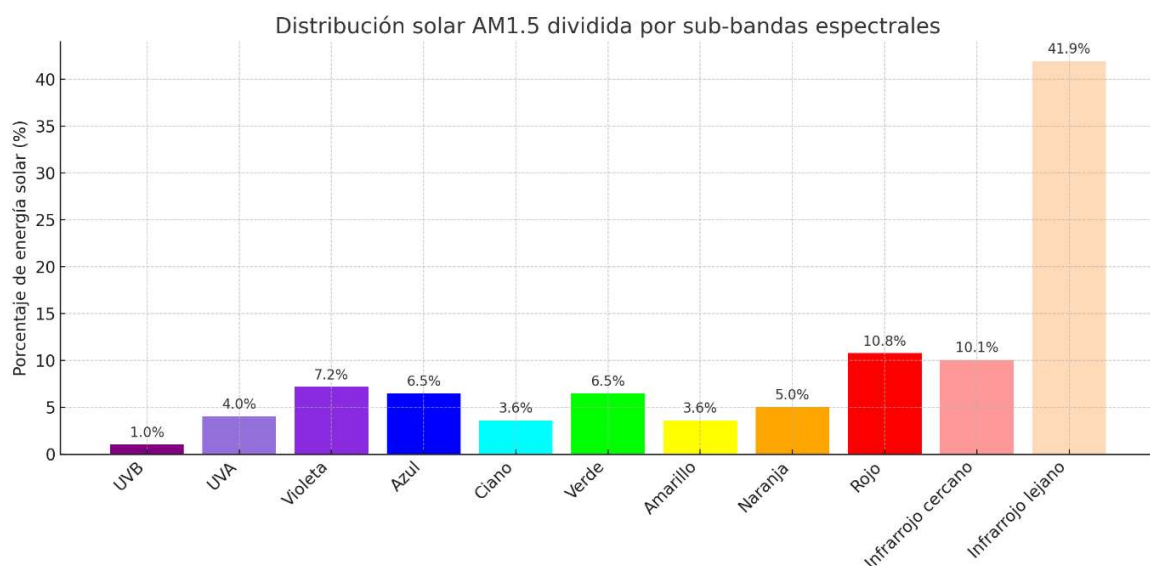
Espectro Visible: 43% energía, quitando 30% de él $(0,30 \times 43) = 12,9\%$ de reducción

Espectro Infrarrojo: 52% energía, quitando 80% de él $(0,8 \times 52) = 41.6\%$ de reducción

Podemos afirmar entonces que esa lámina/vidrio tiene una reducción de **59%** de energía transmitida directamente, esa fórmula es básica y no calcula la refracción ni reflectividad, por lo que es para demostrar en cuanto bloquea la energía, aproximadamente. Los colores también afectan la cantidad de energía transmitida, ya que cuanto más corta la longitud de onda, mayor energía.

Como la luz solar no es Blanca, y tiene más energía en determinados tipos de longitud de espectro, acá podemos ver cuanta energía del total cargan cada color. Lo que dice, por ejemplo, que un cristal azul, que solo deja pasar el espectro azul (azul ideal) en su totalidad, estaría bloqueando 94% de la energía de luz visible, lo que nos dice que también hay diferencias de energía por espectro, y los colores afectan la forma en que la energía se transmite.

Un ejemplo es un cristal azul, con 70% de transparencia, dejaría pasar solamente el 6% de los 43% de la energía de la luz visible, mientras que un cristal negro (back) con 70% de transparencia dejaría pasar el 70% de la energía visible total. Un Vidrio o un Film Azul, rechaza más energía que un Vidrio Ahumado, aunque lo absorbe más. Y la sensación de luminosidad es diferente entre un vidrio ahumado y un vidrio azulado.



- **Cristal azul (70 % de transparencia)**

El azul representa ~9 % de la energía visible. (azul y Ciano)

Aplicando el 70 % de transparencia: $9\% \times 70\% = 6.3\%$

👉 El cristal azul transmite ≈ 6 % de la energía visible

👉 Rechaza ≈ 94 %.

- **Cristal rojo (70 % de transparencia)**

El rojo representa ~10.8 % de la energía visible.

Aplicando el 70 % de transparencia: $10.8\% \times 70\% = 7.6\%$

👉 El cristal rojo transmite ≈ 7.6 % de la energía visible.

👉 Rechaza ≈ 92.4 %.

- **Cristal amarillo (70 % de transparencia)**

El amarillo representa ~3.6 % de la energía visible.

Aplicando el 70 % de transparencia: $3.6\% \times 70\% = 2.5\%$

👉 El cristal amarillo transmite ≈ 2.5 % de la energía visible.

👉 Rechaza ≈ 97.5 %.

- **Cristal negro neutro (70 % de transparencia)**

Deja pasar todos los colores de manera uniforme.

Aplicando el 70 % de transparencia: $100\% \times 70\% = 70\%$

👉 El cristal negro transmite ≈ 70 % de la energía visible.

👉 Rechaza ≈ 30 %.

2.2 Transmisión de calor por espectros

Por la forma en que se venden y se comunican los productos, a menudo se genera la percepción de que solo la luz infrarroja calienta el ambiente. Sin embargo, cada espectro de la radiación solar contribuye en cierta medida al aumento de temperatura de los espacios. Por ejemplo, si un cristal tratado con lámina de control solar nanocerámica o que tenga estos parámetros de fábrica, presentando un total del conjunto de 70% de transparencia, un filtro UV del 99% y un filtro IR del 90%. No puedo afirmar que reduce el 90% del calor, pues es incorrecto.

Debemos Entender que los diferentes tipos de longitud de onda transmiten el calor de forma distinta, y si bien el infrarrojo es el mayor responsable por la transmisión del calor solar, las otras longitudes también tienen un aporte relevante.

La descripción más cercana del % de transmisión de calor de cada espectro de luz es la siguiente:

- El ultravioleta (UV) representa aproximadamente el 5% del calor total
- La luz visible aporta cerca del 25%
- Y el infrarrojo cercano contribuye alrededor del 65% del calor total de la luz solar.

Contribución de cada espectro a la transmisión del calor

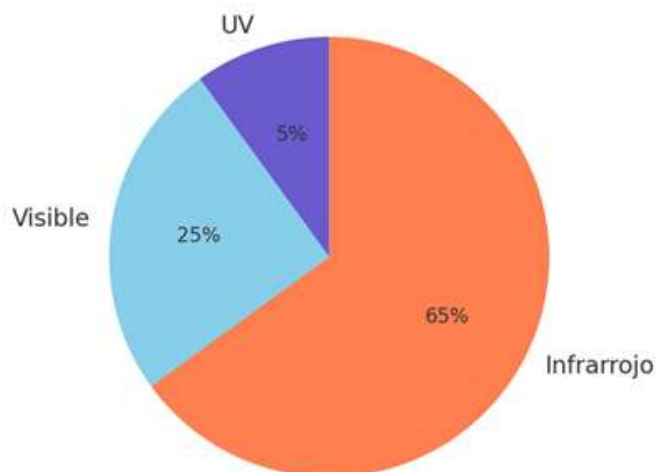


Figura 1.2 – Contribución de cada espectro a la transmisión de calor

Tomaremos un cristal original o con lámina como ejemplo que posea Filtro UV de 99%, Transparencia de 70% y 90% de Filtro IR en su conjunto y así podemos calcular:

UV = 5% del calor – Filtro 99% = reducción de 4,95% del calor (0,99 X 5)

Luz Visible = 25% del calor – Filtro de 30% de luz visible = reducción de 7,5% del calor (0,30 X 25)

Luz Infrarroja = 65% del calor – Filtro de 90% = reducción de 58,5% del calor (0,90 x 65)

Si solo se consideran estos datos, podría concluirse que la reducción total del calor que atraviesa el vidrio hacia el interior por radiación solar es de 70,95%.

Podemos afirmar, en una formula básica, en donde no haya un tono predominante, por ejemplo, que la formula para calcular cuanto calor es filtrado por un cristal tratado o no es:

$$\text{CALOR} = \text{UV}/100 \times 5 + (100\text{-VLT}) /100 \times 25 + \text{IR}/100 \times 65$$

$$\text{CALOR RECHAZADO: } 4,95 + 7,5 + 58,5 = 70,95\%$$

Cuando hablamos del ingreso del calor, estamos hablando exclusivamente del calor transmitido por la luz y su paso por el vidrio, el calor en ese caso, en parte deja de transmitirse al interior por radiación, pero en cierta manera pasa a transmitirse por convección, La capacidad de rechazo de IR, UV y luz visible influye en el control térmico. Cuando la luz visible y el infrarrojo, principales transmisores de calor solar, son absorbidos en lugar de reflejados, ese calor permanece en el vidrio y posteriormente es transferido al ambiente por convección. En ese caso, con los parámetros que tenemos, sin considerar la absorción de los espectros de luz, que si son reflejados (vidrios y láminas espejo) calientan menos el vidrio que cuando son absorbidos (vidrios y láminas IR u oscuros)

Es correcto, entonces, afirmar a nuestro cliente que:

El cristal o el conjunto del ejemplo Filtra 99% de la radiación UV aproximadamente

El cristal o el conjunto Filtra 30% de la luz visible aproximadamente

El cristal o el conjunto Filtra 90% de la radiación IR aproximadamente

El cristal o el conjunto rechaza 70,95% del calor que ingresaría por la radiación,

Si se transmitiera directamente al interior. Sin vidrio.

2.3 Degradación causada por la luz solar

La radiación solar no solo impacta en el confort térmico y lumínico, sino que también causa degradación de materiales interiores. Los daños se distribuyen de la siguiente manera:

- **Radiación ultravioleta (UV):** ~65% del daño. Produce decoloración, fragilidad y degradación química en plásticos, maderas, tapices, papeles y pinturas.
- **Luz visible (VIS):** ~25% del daño. Causa decoloración progresiva en telas, tintes, obras de arte, fotografías y muebles de madera barnizada.
- **Radiación infrarroja (IRR):** ~10% del daño. Su efecto es principalmente el calentamiento de superficies, que genera expansión y contracción, provocando fisuras y deformaciones con el tiempo.

✦ Ejemplos de materiales afectados:

- Muebles de madera barnizada → pérdida de color y microgrietas.
- Tapices y cortinas de tela → pérdida de pigmentos y fragilidad.
- Fotografías y obras de arte → decoloración irreversible.
- Plásticos y policarbonatos → amarillamiento y pérdida de resistencia mecánica.

El daño por radiación solar es acumulativo e irreversible. Por ello, cristales de alta performance o tratados con las láminas de control solar y protección UV son esenciales no solo para el confort energético, sino también para la conservación del patrimonio y los bienes interiores. Si bien no hay como evitar la degradación completa de los materiales, pues también la luz artificial causa daño, esa se reduce de manera importante al controlar los espectros de luz que degradan los materiales.

Para calcular la degradación solar necesitamos 3 factores

TUV - Transmisión UV = Ejemplo, 99% rechazo **TUV= 0,01**

TVIS - Transmisión Visible = Ejemplo VLT= 70% **TVIS= 0,70**

TIR - Transmisión Infrarroja = Ejemplo IR 90% rechazo **TIR = 0,10**

La fórmula para eso es el total 100%, restando lo que pasa de UV, Visible y Infrarrojo versus su porcentual de daño:

$$\text{Reducción en \%} = 100 - (65 \times \text{TUV} + 25 \times \text{TVIS} + 10 \times \text{TIR})$$

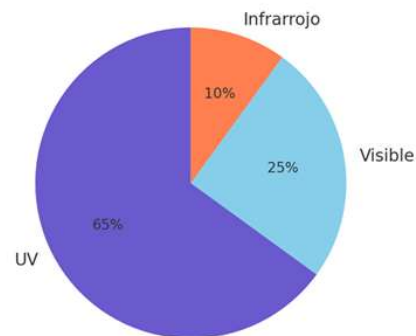
En el ejemplo arriba, tendríamos

$$\text{Reducción} = 100 - (65 \cdot 0.01 + 25 \cdot 0.70 + 0.10 \cdot 0.10)$$

Total = 75% de reducción de degradación por luz.



Contribución de cada espectro en la degradación causada por luz solar



También se podría decir a sus clientes, que el vidrio hipotético anterior entregaría una reducción de 75% en la degradación de los objetos al interior.

2.4 Conclusión.

Los distintos tratamientos y propiedades que se aplican al vidrio —ya sea mediante fabricación especial o con la instalación de láminas— son clave para lograr eficiencia energética, confort térmico y lumínico, y mayor durabilidad de los materiales interiores. Gracias a estas tecnologías, es posible controlar cuánta energía solar se transmite, refleja o absorbe, adaptando el vidrio a las necesidades específicas de cada proyecto.

Al mismo tiempo, es fundamental recordar que el comportamiento del vidrio frente a la radiación solar depende de tres procesos básicos: transmisión, reflexión y absorción. Comprender este equilibrio en los diferentes rangos espectrales (UV, visible e infrarrojo) permite tomar decisiones técnicas más informadas y seguras, transformando al vidrio de un punto vulnerable en la edificación a un elemento activo de control solar y térmico.

Módulo 3 – Láminas de Control Solar y Seguridad: Historia, Fabricación y Tipologías

3.1 Orígenes y evolución

El desarrollo de las láminas arquitectónicas se remonta a los años 1960, cuando la industria automotriz buscaba reducir deslumbramiento y calor en cabinas. Las primeras películas eran tintadas con pigmentos básicos (tecnología glue dyed), en donde el colorante se mezclaba en el adhesivo. Su principal problema era la degradación rápida bajo radiación ultravioleta, lo que generaba decoloración y viraje a tonos púrpura.

En 1969 se introdujeron las primeras láminas de seguridad transparentes, de mayor grosor, fabricadas en poliéster óptico. Estas películas estaban diseñadas para mantener unidos los fragmentos de vidrio tras una rotura, reduciendo lesiones. Su uso inicial se centró en escaparates y oficinas expuestas a vandalismo.

Durante la década de 1970, las láminas de seguridad se expandieron a edificios gubernamentales, embajadas y bancos, particularmente en Europa y Estados Unidos, como respuesta a atentados con explosivos. Paralelamente, fabricantes como CPFilms desarrollaron la tecnología sputtered, en la cual se depositaban capas metálicas en vacío sobre poliéster. Este avance permitió producir láminas arquitectónicas con alto rechazo solar, mayor estabilidad de color y durabilidad superior.

En la década de 1990, la marca Hüper Optik introdujo la tecnología nanocerámica multicapa, utilizando óxidos metálicos estables para rechazar radiación infrarroja sin comprometer la transmisión visible. Estas láminas “selectivas” marcaron un cambio fundamental en la industria: ahora era posible tener un vidrio casi transparente con un desempeño térmico elevado.

A partir de los años 2000, se sumaron desarrollos con nanocarbón y con óxidos especiales como ITO (óxido de indio-estaño), que aportaron propiedades de low-e y control espectral preciso. En paralelo, se consolidaron las láminas híbridas de seguridad + control solar, que combinan resistencia a impactos con eficiencia energética.

3.2 El Poliéster como base

El soporte fundamental de cualquier lámina es el Poliéster PET siglas para tereftalato de etileno, que es un poliéster termoplástico. Que se utiliza desde botellas, a ropas, incluyendo las láminas de seguridad. Se utiliza ya que es resistente y tiene inercia química.



Para nosotros importa 2 en específico, el PET barato que se utiliza en Botellas, por ejemplo, que no es purificado para presentar calidad óptica, y se amarillea y se vuelve quebradizo cuando expuesto mucho tiempo al sol, si comparado con el Poliéster que se utiliza para films profesionales. El BOPET (que llamaremos poliéster) biaxially oriented PET, No debe confundirse con el PET barato usado en botellas, que se degrada rápidamente al sol.



PET de botellas: diseñado para ser barato y contener líquidos. Amarillea y se vuelve quebradizo y amarillento en pocos meses.

Bopet : estirado en dos direcciones, le entrega características únicas, como dirección de termoformado, alta transparencia, baja permeabilidad, resistencia mecánica y estabilidad térmica. Es usado también en aplicaciones aeroespaciales, control solar, fotovoltaicas y eléctricas.

¿Porque es importante esa diferencia? Durabilidad y transparencia óptica. El material que interfiere en la luz, de manera inadecuada altera los parámetros que buscamos para performance, y se altera a si propio pues no es diseñado para esa finalidad.

- Vida útil: 8 a 18 meses en PET común vs 10–15 años en Poliéster Óptico.
- Estabilidad térmica: 70 °C vs 150 °C
- Resistencia a UV: baja vs alta.

3.3 Componentes de una lámina

3.3.1 Componentes de control solar y protección

El Poliéster óptico es la **base o contenedor** donde se integran los distintos componentes que mejoran el desempeño del vidrio. Cada aditivo aporta propiedades específicas, y la combinación de ellos genera una lámina única, tal como una receta de pastel que, dependiendo de la cantidad, calidad, orden y forma en que se adicionan los ingredientes, el resultado final entrega sabores y texturas variadas, eso sucede con el window film, y también, tal como pasa con el pastel, la experiencia del pastelero hace mucha diferencia en el resultado.

- Película base: Poliéster Óptico, en varios espesores.
- Pigmentos: orgánicos (menos estables a UV)
 - ftalocianinas de cobre tonos azules y verdeazulados



- Derivados de Quinacridona: tonos rojos y violetas



- Derivado de azo-compuestos: amarillos y naranjas (los menos estables)



- Pigmentos inorgánicos (más estables a UV)

- Óxido de hierro: tonos marrones, rojos y amarillos



- Óxido de cobalto: tonalidades de azul profundo



- Óxido de níquel: tonos grises y verdosos



- Dióxido de titanio: blanco opacante para empavonados

- Nanocarbón: absorbe radiación infrarroja selectivamente, tiene absorción al rango infrarrojo cercano, lo que lo hace muy efectivo para control solar, y no depende de colorantes adicionales, para tener absorción eficiente, además es químicamente estable.



- Nanocerámicos: óxido de tungsteno (WO_3), óxido de titanio (TiO_2).
- Óxido de indio-estaño (ITO): semiconductor transparente al visible pero reflectivo al infrarrojo. Clave en láminas low-e premium.
- Capa metálica (sputtered): aluminio, titanio, acero inoxidable, plata, oro.
- Filtro UV: benzotriazoles, benzofenonas, oxibenzona, óxido de zinc. Bloquean >99% de rayos UV.

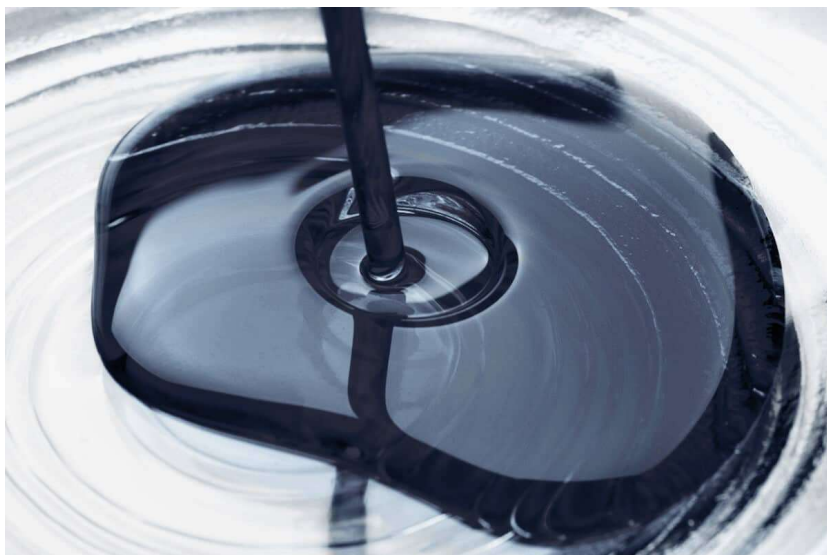
3.3.2 Componentes estructurales y de fabricación

- Adhesivo sensible a presión (PSA): transparente, diseñado para vidrio. Antes de los 70 se usaba adhesivo activado por agua, que debía ser lavado antes de instalar y se activaba con agua, los instaladores más antiguos podrán recordarlo. El PSA no necesita ni calor ni químicos para activarse, basta con presionar la lámina contra el vidrio, por eso en cuanto más gruesa la capa de poliéster, más presión de manera a que escurra el agua y se presione el adhesivo contra el vidrio. Resiste a radiación UV, por lo general tiene benzofenonas en su composición.
El PSA no es un simple “pegamento”: es una **capa tecnológica** que asegura el desempeño de la lámina a lo largo de los años. Por eso, en la comparación entre productos baratos y premium, la calidad del PSA es tan importante como la del Poliéster o los pigmentos
- Liner protector: película tratada con siliconas o antiadherentes para proteger el adhesivo.
- Capa anti-rayas (hard coat): recubrimiento de triacrilato de pentaeritritol, endurecido por radiación UV o calor.

3.4 Métodos de teñido e incorporación de componentes

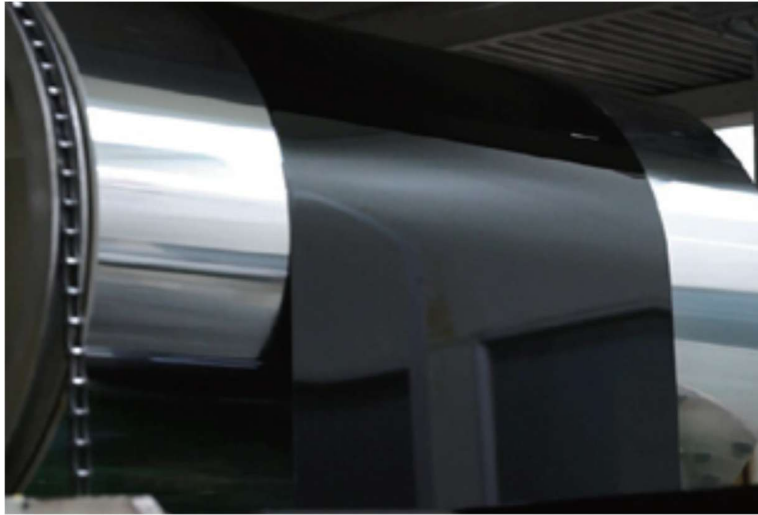
Glue Dyed (PET económico, pigmento en el adhesivo)

El colorante se mezcla en el adhesivo entre capas de PET barato. Muy barato de producir, pero con durabilidad muy baja, generalmente máximo 1 año en láminas con color natural, y 2 con colores metálicos. El pigmento queda expuesto, se agrega en él algunos inhibidores de UV para aumentar la vida útil, pero se degrada con el sol y la humedad, generando decoloración rápida, si sumamos a un film base PET, que permite que la humedad pase al resecarse, la durabilidad puede ser aún menor.



Deep Dyed (pigmento impregnado en Poliéster óptico a baja temperatura)

El pigmento se introduce en el Poliéster en procesos de teñido controlado. Ofrece buena estabilidad UV y mejor resistencia. Desventaja: apariencia menos uniforme, puede producir iridiscencia (efecto tornasolado). Durabilidad típica: 3–7 años.



Chip Dyed (pigmento integrado en Poliéster durante la extrusión)

Los pigmentos se mezclan en el polímero fundido antes de extruirlo en película, es mas barato de fabricar, pues ya se hace el laminado del material con el color, son materiales más económicos, generalmente de uso automotriz. Apariencia es uniforme, pero debido a su forma de fabricación hay baja durabilidad solar (1–3 años), ya que los pigmentos se degradan más rápido.



Procesos de deposición metálica

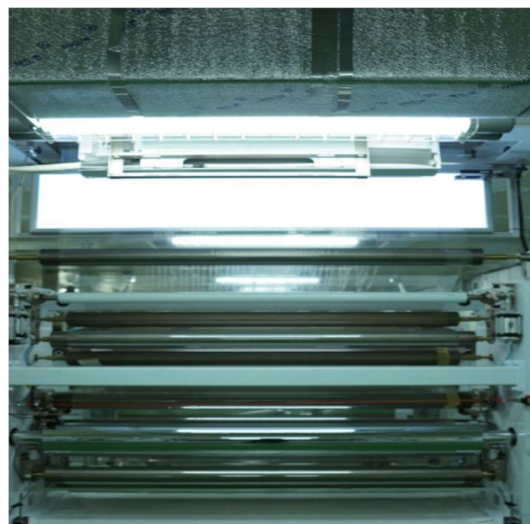
Además de los métodos de teñido con pigmentos, existen técnicas industriales para aplicar capas metálicas, o minerales, ultrafinas sobre el Poliéster. Estas capas controlan la reflexión, absorción y transmisión de la radiación solar. Los principales son:

1. **Evaporative Coating** (recubrimiento por evaporación): un crisol con metal (como aluminio o titanio) se calienta hasta fundirlo. El metal se convierte en gas y forma una nube que se condensa sobre la película. Produce recubrimientos uniformes, pero con menor precisión.
2. **Electron Beam Coating** (recubrimiento por haz de electrones): similar al anterior, pero se usa un haz de electrones de alta energía para fundir el metal directamente. Permite trabajar con metales de alto punto de fusión y genera deposiciones más estables.
3. **Sputtering** (pulverización catódica): un gas inerte cargado eléctricamente (como argón) bombardea el blanco metálico. Las moléculas metálicas liberadas se depositan en el Poliéster en capas atómicas, extremadamente delgadas y precisas. Es el método más avanzado y el más usado en láminas arquitectónicas premium, como las low e.



Nanocerámica y Nanocarbón (Poliéster con nanopartículas)

Nanopartículas de óxidos metálicos o carbono integradas en el Poliéster, similar al proceso de chip dyed. Alta selectividad espectral: dejan pasar luz visible y bloquean infrarrojo. No generan interferencias y tienen durabilidad de 10–15 años.



3.5 Costos y durabilidad

Las láminas económicas usan PET común y pigmentos glue dyed, por lo que su costo inicial es 70% menor pero la vida útil se reduce en 80–90%. Las premium (sputtered, cerámicas) cuestan más, pero mantienen propiedades 10–15 años.

Ejemplo:

Calculando precio de venta a Instalador el costo por metro cuadrado de los diferentes tipos de film.

1 – PET GLUE TINTED – \$ 77.775 / 45,6m² = 1.705 por m²

Durabilidad máxima 8 meses = costo por año \$2.557 por m²

2 – Poliéster óptico Silver Standard - \$220.088/45,6m² = 4.826 por m²

Durabilidad 5 años = costo por año \$ 965 por m²

3 – Nanocarbón CXP = \$ 197.274 / 45,6 m² = 4.326 por m²

Durabilidad mínima 5 años = costo por año \$ 865 por m²

4 – Nanoceramic Ultra IR70 = \$441.518/45.6m² = costo por m² 9.682

Durabilidad mínima 10 años = costo por año \$ 968 por m²

5 – Polarizado PET espejo chino = \$ 100.000/45,6 = costo por m² 2.192

Durabilidad máxima 1 año = costo por año \$2.192

Cuando hablamos que la mano de obra de instalación aproximadamente \$5.000 pesos, si agregáramos el costo de remoción y reinstalación, el valor de costo por m² iría mucho más alto. Por lo que, no es por ninguna razón, ni por costo, ni por durabilidad, ni por rechazo efectivo solar, o por visibilidad, inteligente utilizar materiales baratos.



3.6 Tipos de láminas arquitectónicas

1. Reflectivas metalizadas: alto rechazo solar, efecto espejo.
2. Absorbentes teñidas: estética ahumada, bajo costo, durabilidad limitada.
3. Nanotecnológicas: cerámica, nanocarbón, ITO low-e.
4. Seguridad: espesores de 2, 4, 8 y 12 mil; disponibles en clear o combinadas con control solar.

3.7 Normas y certificaciones

Las láminas están sujetas a pruebas bajo normas internacionales:

- NFRC 100, 200, 304: determinación de U-factor, SHGC y VT.
- ASTM D882-18: resistencia a la tracción de plásticos.
- ASTM D4833: resistencia al punzonamiento.
- NCh135/5 (Chile): ensayo de impacto con esfera de acero.

Ejemplo: láminas de 4 y 8 mil certificadas en IDIEM Chile cumplen con tracción, punzonamiento e impacto, comparables a vidrios laminados.



3.8 Conclusión

Las láminas de control solar y seguridad han evolucionado durante más de 50 años: de simples pigmentos en adhesivo a **estructuras multicapa con nanopartículas y metales**. Las de seguridad transformaron el vidrio en un material más seguro, y las de control solar mejoraron el confort, la eficiencia energética y la estética. Hoy existen láminas híbridas que combinan ambas funciones, ofreciendo soluciones integrales.

Un instalador profesional debe comprender que **no todas las láminas son iguales**. La elección de la tecnología correcta significa entregar al cliente un equilibrio entre confort, ahorro energético, estética y seguridad.

Es importante recordar que el **vidrio plano es un material naturalmente débil**, con **baja aislación térmica y solar**. Los tratamientos que le damos mediante láminas le aportan propiedades que originalmente no posee. Incluir esas características directamente en la fabricación del vidrio eleva mucho su costo, mientras que las **láminas profesionales de control solar y seguridad permiten incorporar estas mejoras a un costo mucho más bajo y con una durabilidad alta**, cuando provienen de fabricantes serios.

Módulo 4 – Mejora de Control Solar en Vidrios.

Las láminas de control arquitectónicas fueron desarrolladas para mejorar la performance de los vidrios ya instalados. Se fabrican a partir de diferentes materiales y capas, su base es el poliéster, y en él se integran interna o externamente adhesivos de alta calidad, recubrimiento anti-rayas, filtros UV, nanopartículas de cerámica y de carbón para rechazo infrarrojo, además de diversos tipos de metales y pigmentos. Cada tipo de lámina posee propiedades específicas que influyen en el control solar y térmico.

3.1 Tipos de láminas de control solar consideradas:

Separamos las láminas arquitectónicas en 4 grupos principales, aún están las tintadas, sin embargo, son de uso principal automotriz, hablaremos principalmente de láminas que entregan mejora significativa de performance al vidrio.

- **Reflectiva (ejemplo Silver 20 AF):** alta capacidad de reflexión solar reduce ganancia solar y mejora privacidad, y cambia la estética del vidrio.
- **Selectivas de Baja emisividad Low-E (ejemplo Llumar LE35):** mejoran el aislamiento térmico, reduciendo pérdidas de calor en invierno y ganancia en verano
- **Nanocarbón (ejemplo CXP35):** Fabricadas con nanopartículas de carbono de alta pureza, ofrecen un tono neutro y elegante, reducen el calor y bloquean el espectro infrarrojo, sin perder demasiada luminosidad ni presentar reflejos intensos como las metalizadas.
- **Nanocerámica (ejemplo AIR70):** alta transmisión de luz visible rechaza IR por absorción, mantiene aspecto claro.

3.2 Comparación de propiedades

Tipo de lámina	VLT (%)	Energía Solar Transmitida (%)	Energía Solar Rechazada (%)	Bloqueo UV (%)	Emisividad
Reflectiva Silver 20 AF	17	10	63	99	0.64
Low-E Llumar 35	28	19	72	99	0.29
Nanocarbón CXP35	31	59	41.2	99	0.84
Nanocerámica AIR70	70	66.2	33.8	99	0.84

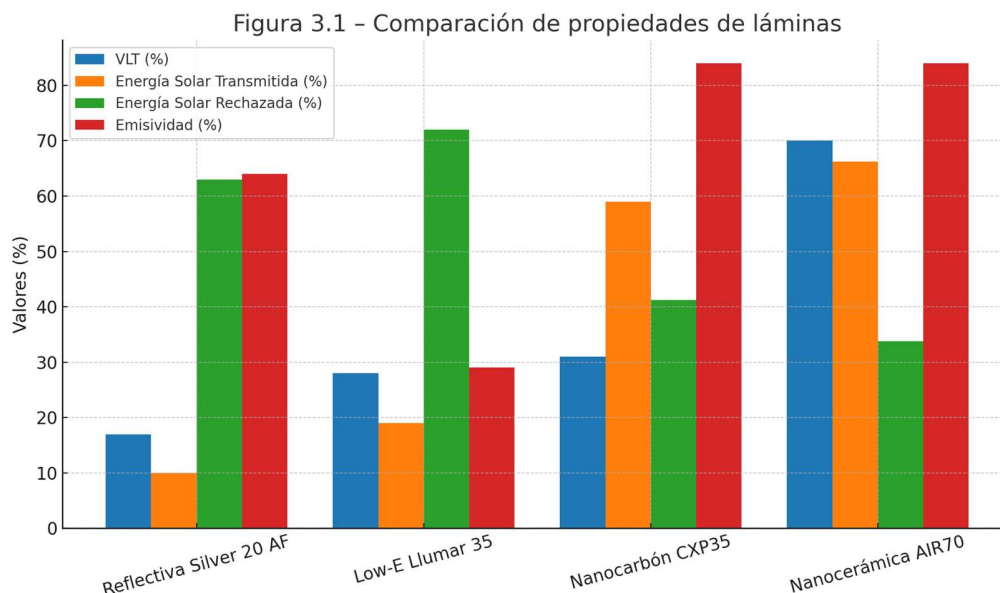


Figura 3.1 – Comparación de propiedades ópticas y térmicas de diferentes láminas

3.5 Resultados específicos sobre vidrio clear 4 mm

A continuación, se muestran comparativas específicas considerando un vidrio base claro de 4 mm. Los resultados incluyen la disminución de la ganancia solar (SHGC), la disminución de pérdidas térmicas por conducción (valor U) y la luz visible efectiva que deja pasar cada lámina (VLT combinado con el vidrio).

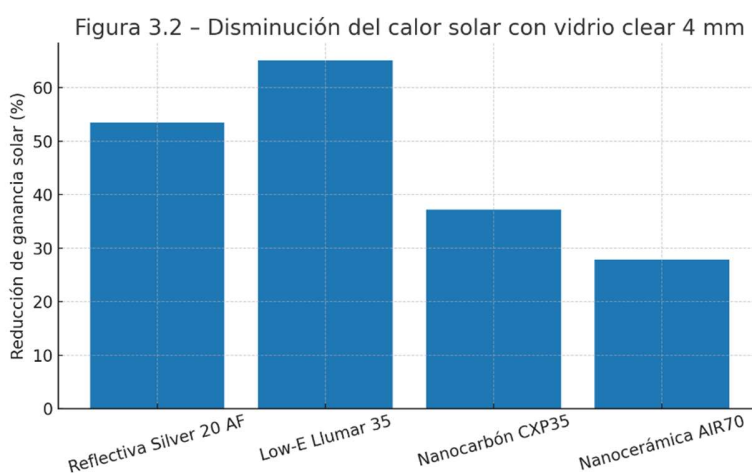


Figura 3.2 – Disminución del calor solar para vidrio clear 4 mm con distintas láminas

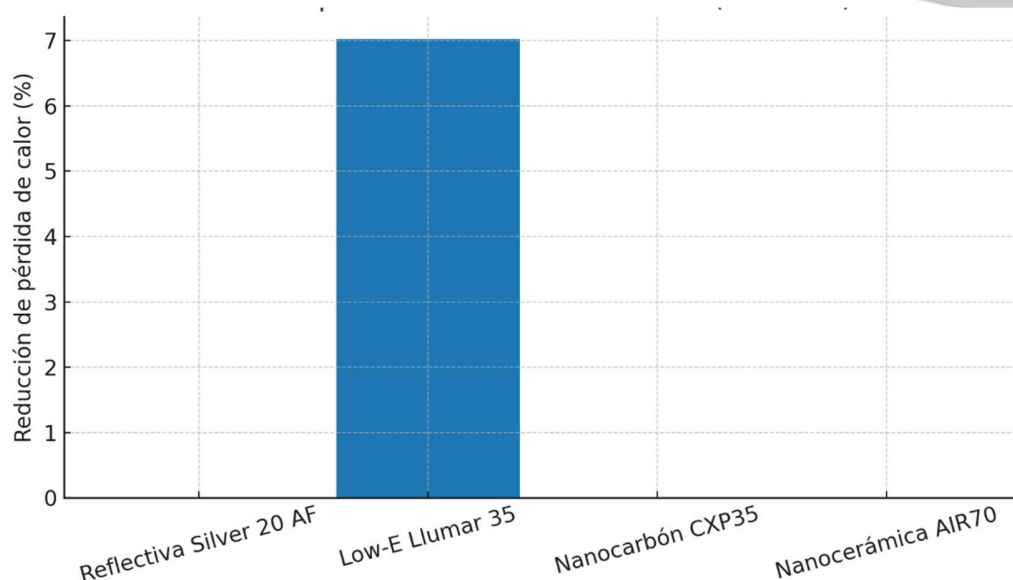


Figura 3.3 – Disminución de la pérdida de calor ambiente (invierno) con vidrio clear 4 mm

3.6 Luz visible efectiva (VLT) con vidrio clear 4 mm

La siguiente tabla muestra la luz visible que realmente atraviesa el sistema vidrio + lámina, aproximando el VLT combinado como el producto del VLT del vidrio (90%) por el VLT de cada lámina.

Lámina	VLT de la lámina (%)	VLT combinado vidrio lámina (%)
Reflectiva Silver 20 AF	17	15.3
Low-E Llumar 35	28	25.2
Nanocarbón CXP35	31	27.9
Nanocerámica AIR70	70	63.0

3.3 Notas técnicas para instaladores

- Las láminas reflectivas tienen alta eficiencia porque reflejan gran parte de la radiación solar y reducen la emisividad.
- Las láminas nanocerámicas y nanocarbón rechazan el infrarrojo por absorción, lo que aumenta la temperatura del vidrio. En estos casos es fundamental asegurar ventilación para evitar que el calor

absorbido se transmita al interior por convección.

- La elección de la lámina adecuada depende del tipo de vidrio, su orientación, el clima local y las necesidades específicas del cliente.

3.4 Conclusión del módulo

Las láminas permiten mejorar de manera significativa las prestaciones de los vidrios existentes, sin necesidad de reemplazarlos. Cada tecnología (reflectiva, Low-E, nanocarbón, nanocerámica) ofrece ventajas particulares en cuanto a control solar, eficiencia energética y estética. El instalador debe comprender estas diferencias para asesorar correctamente al cliente y asegurar un desempeño óptimo.