

## RECUBRIMIENTO DE BAJA EMISIVIDAD PARA UN SUSTRATO DE VIDRIO

### RESUMEN – OBJETO Y FINALIDAD DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un sustrato de vidrio provisto con un apilamiento  
5 de películas de revestimiento delgadas formado por una primera capa de un material dieléctrico anti-reflejante, con un índice de refracción de entre 1.65 y 2.65, ubicada por encima del sustrato de vidrio. Al menos una estructura de dos capas formada por una primera capa de un material dieléctrico transparente anti-reflejante con un índice de refracción entre 1.32 y 1.55, ubicada en la posición inferior y, una segunda capa de  
10 una película funcional metálica con propiedades de reflexión en el rango infrarrojo en la posición superior, dicha estructura siendo ubicada por encima de la primera capa de material dieléctrico anti-reflejante. Una segunda capa de un material absorbente de barrera anticorrosión para proteger a la película funcional metálica de la oxidación y corrosión. Una tercera capa de un material anti-reflejante, dicha capa siendo  
15 seleccionada de un óxido de metálico con un índice de refracción de entre 1.32 y 1.55, un óxido de metálico con un índice de refracción de entre 1.65 y 1.95 ó un óxido de zinc dopado con Aluminio (AZO); y, una cuarta capa de protección de un material anti-reflejante, para incrementar la transmisión de luz visible y resistencia al rayado del sustrato, exhibiendo una alta transmisión de luz visible (>60%), una transmisión solar  
20 menor a 60%, una resistencia menor a  $10 \Omega$  por cuadrado ( $0.001 \Omega/\text{cm}$ ) y una emisividad menor que 0.10.

**Sector:**

## **RECUBRIMIENTO DE BAJA EMISIVIDAD PARA UN SUSTRATO DE VIDRIO**

### **CAMPO DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a un vidrio provisto de un recubrimiento bajo  
5 emisivo y de control solar, con propiedades de conductividad eléctrica y estabilidad  
térmica, para su aplicación en sistemas de ventanas dobles o triples las cuales pueden  
ser recocidas, semi-templadas y templadas, y dirigidas al mercado arquitectónico; o  
bien, para sistemas de envidriado laminados con vistas en aplicaciones residenciales,  
arquitectónicas y automotrices.

10

### **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

En la actualidad, las tendencias arquitectónicas dirigidas hacia la utilización de  
sistemas de envidriado en fachadas y edificios han propiciado el desarrollo de  
ventanas con mejores propiedades de aislamiento térmico, que contribuyen a  
15 disminuir el consumo de energía eléctrica empleada en sistemas de enfriamiento y  
calefacción residencial, comercial y automotriz.

Los vidrios con propiedades de baja emisividad poseen la capacidad de proveer las  
características de control solar deseadas por el consumidor. Estos materiales cuentan  
20 con un revestimiento de varias capas de espesor nanométrico, depositado sobre una  
de sus caras. Su función es compensar las pérdidas y/o ganancias energéticas por  
conducción térmica en sistemas de envidriado. El principio de operación varía según  
el clima de la región geográfica donde sea instalado. Para climas fríos, los vidrios  
permiten el paso de la mayor cantidad de luz visible y de energía solar directa (calor

de onda corta), mientras mantiene el calor de onda larga, radiado por el sistema de calefacción, en el interior del espacio acristalado. Por el contrario, en regiones cálidas, el vidrio permite el paso de luz visible mientras bloquea de forma selectiva el paso de la energía solar, y refleja hacia el exterior el calor de onda larga radiado por las aceras, calles, pavimento, etcétera.

Estructuralmente, un vidrio de baja emisividad consiste en un sustrato vítreo sobre el cual se deposita una o más películas metálicas dispuestas entre sendas capas dieléctricas. De acuerdo con lo descrito por Hoffman *et al.*, en la Patente Norteamericana No. 7,670,641; la capa metálica proporciona alta reflectividad de radiación infrarroja y baja absorción en el intervalo visible. Suelen utilizarse metales nobles como: Al, Ag, Au, Cu y Pt, sin embargo, se prefiere la plata debido a que aporta un aspecto estético neutro al recubrimiento. Por otra parte, las capas de materiales dieléctricos contribuyen a reducir la reflexión de luz visible, consiguiendo alta transparencia y además ayudan a controlar otras propiedades del recubrimiento tales como: el color, conductividad eléctrica, estabilidad térmica y sirven como barrera de protección para evitar la oxidación del metal. Los compuestos dieléctricos transparentes más empleados incluyen óxidos metálicos con índice de refracción  $>2.0$ , tales como: óxidos de titanio, zirconio, zinc, estaño y niobio, así como nitruros de silicio, cromo, zirconio y titanio. La elección de los materiales y el arreglo de la multicapa, se realiza tomando en cuenta la aplicación y necesidades del consumidor final, manteniendo un balance entre la transmisión de luz visible, el factor solar, la coloración y la reflexión infrarroja deseada.

La estructura básica de un recubrimiento bajo emisor, responde a la configuración: vidrio/MeOx/Ag/barrera/MeOx; (MeOx=Óxido metálico). Sin embargo, algunas aplicaciones requieren que el vidrio recubierto presente un comportamiento espectral más selectivo y que además pueda ser sometido a tratamientos de templado y/o termoformado. Para lograr esas propiedades se recurre al desarrollo de recubrimientos más complejos, tanto en número de capas como en componentes utilizados.

Otra posibilidad es la de emplear materiales dieléctricos que enriquezcan el desempeño óptico y que aporten características de conductividad eléctrica al recubrimiento, algunos de estos materiales son: óxido de indio dopado con estaño (ITO), óxido de estaño dopado con flúor (FTO), y más recientemente el óxido de zinc dopado con aluminio (AZO). Este último ha despertado el interés en su investigación debido a que es un material con un carácter no tóxico, de alta transmitancia de energía visible y baja resistividad; además cuenta con una brecha de energía que puede ser controlada mediante el nivel de dopaje con Aluminio.

De acuerdo con H. Zhou, *et al.*; A. Stashans, *et al.*; y V. Musat, *et al.*, si durante la preparación de películas delgadas de AZO, éstas se orientan de forma perpendicular a la superficie del sustrato, con una estructura policristalina tipo wurtzita, el material presentará propiedades de transparencia comparables con el ITO; con una resistividad menor que  $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  y un 90% de transmitancia en la región visible. Como ventajas adicionales, cuenta con buena estabilidad térmica y su procesamiento es de bajo coste, en contraste con la fabricación del ITO.

A medida que el interés por los productos bajo emisivos siga en aumento, es necesario encontrar solución a los problemas que más importan a los fabricantes, entre ellos se encuentra el disminuir la susceptibilidad de la película metálica a la corrosión, así como incrementar la durabilidad y estabilidad química del recubrimiento. Mientras

5 que la inclusión de capas barrera minimiza el daño por corrosión, la deposición de capas de protección disminuye el desgaste físico del recubrimiento, aun cuando el producto sea sometido a un ambiente potencialmente abrasivo durante el proceso de fabricación o instalación. Como barrera anti-corrosión se utiliza una aleación de Ni-Cr (80:20), este material tiene la capacidad de captar el vapor de agua, el oxígeno,

10 nitrógeno u otros compuestos que puedan reaccionar con la película metálica. Como capas de protección se emplean compuestos como:  $ZrO_2$ ,  $ZrSiO_2$ ,  $SnO_2$  o  $TiO_2$ , que además de incrementar la transmisión de luz visible y aportar una apariencia antirreflejante, le imparten una excelente resistencia al rayado y abrasión a todo el recubrimiento.

15

Hoy en día se conoce una gran cantidad de productos bajos emisivos en el mercado, de modo que es bien sabido que sus propiedades ópticas dependen en gran medida del proceso empleado para su obtención. En la actualidad, la industria del vidrio ha incrementado la investigación sobre materiales y técnicas de deposición que ofrezcan

20 productos con mejores características. El proceso de erosión iónica en cámara de vacío, sputtering, es uno de los métodos más utilizados para la preparación de recubrimientos con baja emisividad. La técnica consiste en bombardear un cátodo del material a depositar con partículas de un gas parcialmente ionizado, las cuales arrancan los átomos de la superficie y los proyectan sobre el sustrato. La versatilidad

del método, permite la obtención de recubrimientos multicapas de composición uniforme y homogénea, con elevada estabilidad mecánica, durabilidad, y con mejores propiedades ópticas, térmicas y de desempeño solar, que las alcanzadas con otros métodos de producción.

5

En la Patente Norteamericana No. 5935702, Macquart, *et al.*, hacen referencia a un sustrato de vidrio transparente, provisto con un apilamiento de capas delgadas, el cual incluye al menos una capa metálica con características de baja emisividad en la región infrarroja, además contiene dos capas de material dieléctrico situadas por encima y  
10 debajo de la capa metálica, adicionalmente se coloca una capa de protección en la interfase formada entre la capa funcional y la capa superior de dieléctrico, con el fin de prevenir la modificación de las propiedades del recubrimiento, cuando el sustrato sea sometido a un tratamiento térmico de templado o doblado. Finalmente, también se incluye un segundo material dieléctrico el cual funciona como una barrera que  
15 bloquea la difusión de oxígeno entre las capas. Los materiales que se utilizan son compuestos de silicio tales como: óxidos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiO}_x\text{C}_y$ ,  $\text{SiO}_n\text{N}_y$ ), nitruros ( $\text{Si}_3\text{N}_4$  o  $\text{AlN}$ ) y/o carburos ( $\text{SiC}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{CrC}$ ,  $\text{TaC}$ ), con un espesor de al menos 10 nanómetros y preferiblemente de al menos 20 nanómetros.

20 La Patente Norteamericana No. 6060178, de Krisko, se refiere a un artículo de vidrio templable, resistente al tratamiento térmico, que comprende un sustrato de vidrio y un conjunto de películas transparentes depositadas sobre sí. El recubrimiento está conformado, desde el sustrato de vidrio hacia el exterior, por una primera capa barrera antidifusora, una película metálica reflectante infrarroja, una barrera de

niobio metálico, con un espesor hasta de 25 Å, preferiblemente en el intervalo de 7 a 20 Å aproximadamente. Después una película de un óxido o nitruro metálico, se deposita sobre el niobio, haciendo que una parte de este reaccione y se forme una interfase de óxido o nitruro de niobio que incrementa la transmisión de luz visible en el recubrimiento.

Le Masson, *et al.*, en la patente Norteamericana No. 6503636, hace referencia a un recubrimiento de baja emisividad para sustratos transparentes, que comprende al menos una capa funcional de plata depositada entre dos capas antirreflejantes de óxido de zinc y una capa adicional de nitruro de aluminio, que presenta bajos esfuerzos internos que ayudan a compensar las tensiones de compresión existentes en la capa de ZnO.

La patente norteamericana No.6833194, de O'Shaughnessy, hace referencia a un artículo recubierto con propiedades reflectantes en el infrarrojo, que comprende: un sustrato vítreo; una capa dieléctrica de estanato de zinc, con un contenido de zinc en un porcentaje en peso  $\geq 10\%$  y  $\leq 90\%$ , y estaño en un rango  $\leq 90\%$  y  $\geq 10\%$  p/p; una película con propiedades de conductividad eléctrica, depositada sobre la capa de estanato de zinc, que puede ser de: óxido de zinc, óxido de estaño; una segunda película de estanato de zinc, con una composición que difiere al menos un 5%p/p de la primera; una capa reflectante de infrarrojo depositada sobre la capa dieléctrica; una barrera metálica; una segunda capa dieléctrica, finalmente, una capa protectora formada por al menos dos películas que contienen alguno de los metales de transición

de los grupos 4, 5, 6, ó 10, por ejemplo: óxidos y/o oxi-nitruros de silicio, esta última capa proporciona durabilidad a todo el recubrimiento.

En la patente norteamericana No. 6838159, Eby, *et al.*, hacen referencia a un  
5 revestimiento para un sustrato transparente, el cual exhibe un color neutro en una amplia gama de ángulos de incidencia de la luz. El recubrimiento depositado sobre el sustrato tiene un espesor de no más de 275 Å aproximadamente, y puede incluir dos capas de metal reflectante, una capa intermedia de un óxido metálico anti-reflejante y una capa exterior de óxido metálico anti-reflejante, sobre la segunda capa metálica  
10 funcional. Sí se desea, el revestimiento de la invención puede incluir un recubrimiento resistente a la abrasión en su capa más externa. Este recubrimiento está formado por un óxido metálico resistente a la abrasión, tal como óxido de zinc, aplicado en un espesor tal que no afecta las propiedades ópticas del sustrato recubierto de manera significativa.

15

La patente norteamericana No. 7339728, publicada por Harting, trata sobre un recubrimiento de baja emisividad que tiene alta transmisión visible y bajo coeficiente de ganancia de calor solar. El revestimiento incluye tres capas funcionales para la reflexión infrarroja, las cuales están compuestas por plata metálica, separadas entre sí  
20 por una capa de material dieléctrico con un espesor entre 56 y 65 nm.

En otra contribución, O'Shaughnessy en la patente norteamericana No. 7413768, hace referencia a un método para fabricar un artículo recubierto reflectante de infrarrojo. El cual está formado por un sustrato vítreo transparente, una primera capa dieléctrica

de estannato de zinc y una película de alta conductividad eléctrica depositada sobre ella. La película conductora puede ser de óxido de estaño u óxido de zinc. Una segunda película de estannato de zinc, una capa reflectante de infrarrojos, una capa barrera sobre la capa funcional, una segunda capa dieléctrica y una capa protectora formada por al menos dos películas proporcionan durabilidad al producto recubierto.

La patente norteamericana No. 8440329, de Fleury *et al.*, hace referencia a un sustrato transparente, especialmente de vidrio, sobre el cual se depositó una pluralidad de capas funcionales, que incluye al menos tres capas funcionales de plata. El recubrimiento tiene una resistividad  $R < 1.5 \Omega/\text{sq}$ , mientras que el sustrato recubierto tiene una selectividad  $\geq 2$ . La selectividad comprende la relación entre la transmisión de luz ( $T_L$ ) y un factor solar (SF), definido como la suma de la transmisión directa de energía del sustrato ( $T_E$ ) y la energía absorbida, y retransmitida, por el vidrio hacia el interior del edificio.

15

Por otra parte, en la patente norteamericana No. 8043707, Schicht *et al.* describen un sistema de multi-capas, para sustratos transparentes, con propiedades de baja emisividad y resistente al tratamiento térmico. Dicho arreglo comprende, a partir del sustrato, al menos un recubrimiento antireflejante que consiste en varias capas de ZnO, adyacentes a la capa funcional de plata, una capa de bloqueo, esencialmente metálica, situada en la parte superior de plata, una capa anti-reflejante formada por varias capas de ZnO o un óxido mixto con composición  $\text{ZnMeO}_x$  (Me= metal de transición, por ejemplo: ZnO:Al) y una capa de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  o  $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ . Entre estas dos capas, se coloca una capa de un óxido metálico u óxido mixto, con una red cristalina cúbica y

20

con un espesor de 0.5 a 5 nm, que mejora las propiedades mecánicas y químicas de todo el sistema de multicapas.

Como se puede observar, existen varios desarrollos enfocados hacia la obtención de vidrios con las características de baja emisividad, cuyo principal objetivo es el de mejorar las propiedades de aislamiento térmico y reducir las pérdidas de calor desde el interior. Generalmente se instalan formando parte de unidades dobles herméticas o en vidrios laminados automotrices, mejorando en un 35% su capacidad de aislamiento térmico. Además, algunas aplicaciones requieren que el producto pueda ser templado, endurecido, curvado y laminado.

Con base en lo antes expuesto, la presente invención se relaciona con el desarrollo de un vidrio bajo emisivo, compuesto de un sustrato vítreo sobre el cual se deposita un recubrimiento de multicapas con propiedades de baja emisividad, resistente al tratamiento térmico y con baja resistencia eléctrica que facilita el calentamiento de su superficie mediante el paso de una corriente eléctrica, para su uso arquitectónico y/o automotriz. El recubrimiento está formado por al menos una película de plata, depositada entre diferentes capas de óxidos metálicos transparentes. El arreglo y composición del recubrimiento, dará como resultado un producto con características de alta transmisión de luz visible ( $>60\%$ ), transmisión solar menor a 60%, resistencia menor a  $10 \Omega/\text{sq}$  y una emisividad menor que 0.10. Adicionalmente, los productos obtenidos bloquean la migración del  $\text{Na}^+$  proveniente del sustrato y previenen el

ataque del oxígeno atmosférico durante el calentamiento, sin comprometer sus propiedades ópticas y de conductividad, después de ser tratadas térmicamente.

- Las propiedades físicas reportadas para estos materiales, corresponden a variables
- 5 que han sido calculadas con base en estándares internacionalmente aceptados, tal es el caso de la transmisión de luz, la cual se evalúa utilizando el iluminante “D65” y Observador estándar de 2°, conocido también como de 1931 [Publicación C.I.E. 15.2, ASTM E-308]]. El rango de longitud de onda empleado para estos fines comprende desde 380 hasta 780 nm, integrando los valores en forma numérica con intervalos de
- 10 10 nm. Por otra parte, la transmisión de energía solar representa al calor que para a través del vidrio en forma directa, para su evaluación se toma la región situada entre 300 y 2500 nm, con intervalos de 5, 10, 50 nm, la forma numérica de cálculo usa como estándar reconocido el ISO 9050 v2003, Tabla 2.
- 15 El cálculo de la transmisión de radiación ultravioleta (UV), involucra solamente la participación de la radiación UV solar, por lo que se evalúa en el rango de 300 nm a 380 nm en intervalos de 5 nm, la forma numérica de cálculo usa como estándar reconocido el ISO9050 v2003, Tabla 3.
- 20 El cálculo de la transmisión de radiación infrarroja (IR), involucra solamente la región del infrarrojo cercano, por lo que se evalúa en el rango de 780 a 2500 nm en intervalos de 20 y 50 nm, la forma numérica de cálculo usa como estándar reconocido el ISO9050 v2003, Tabla 2.

La cantidad de calor solar que es transmitida a través del vidrio, también puede ser calculada por la contribución de energía térmica con la que participa en cada una de las regiones donde tiene influencia el espectro solar, que es desde la región del ultravioleta (280 nm), hasta la región del Infrarrojo cercano (2500 nm), que es de 3 % para UV, 44 % para el visible y en el orden de 53 % para IR, sin embargo, los valores de transmisión de energía solar directa, en la presente invención, se calculan en base a una integración numérica tomando en cuenta todo el rango del espectro solar de 300 a 2500 nm, con intervalos de 50 nm y empleando los valores de radiación solar reportados por el estándar ISO 9050 v2003, Tabla3.

10

Las variables de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  Iluminante "D65" del sistema de color CIELAB 1976 son calculadas a partir de los valores Tristimulus (X, Y, Z) que han sido adoptados por la Comisión Internacional de Iluminación (C.I.E.), como un resultado directo de experimentos involucrando muchos observadores (ASTM E 308 y *Colorimetry, publication* CIE No 15.2). La determinación del color, se sitúa en el rango visible, de los 380 a 780 nm,

15

### OBJETIVOS DE LA INVENCION

Proveer un producto vítreo con características de baja emisividad, que comprende un sustrato transparente (vidrio), recubierto sobre una de sus caras con una heteroestructura de multicapas de baja emisividad, que mejora su conductividad eléctrica y estabilidad térmica.

20

Dependiendo de la naturaleza de los materiales, los vidrios recubiertos pueden presentar transmisión de luz visible  $>60\%$ , transmisión solar  $<60\%$ , resistencia eléctrica  $<10 \Omega/\text{sq}$  y emisividad  $<0.10$ . Los productos obtenidos son resistentes a la migración de  $\text{Na}^+$  proveniente del sustrato y al ataque del oxígeno atmosférico durante el calentamiento, además pueden ser tratados térmicamente manteniendo e incluso mejorando sus propiedades ópticas y de conductividad eléctrica, comparados con los productos sin tratar.

Estos y otros objetivos y ventajas, de la presente invención, serán evidentes a los expertos en el ramo, de la siguiente descripción detallada de la misma.

#### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS.**

La Figura 1 muestra el diagrama esquemático de un recubrimiento que incluye una estructura formada por primera capa de un material dieléctrico transparente anti-reflejante y, una segunda capa de una película funcional metálica con propiedades de reflexión en el rango infrarrojo, de acuerdo a una modalidad de la presente invención;

La Figura 2 muestra el diagrama esquemático de un recubrimiento que incluye una estructura formada por una primera capa de un material dieléctrico transparente anti-reflejante y, una segunda capa de una película funcional metálica con propiedades de reflexión en el rango infrarrojo, de acuerdo a una segunda modalidad de la presente invención;

La Figura 3 muestra el diagrama esquemático de un recubrimiento que incluye una estructura formada por una primera capa de un material dieléctrico transparente anti-reflejante y, una segunda capa de una película funcional metálica con propiedades de reflexión en el rango infrarrojo, de acuerdo a una tercera modalidad

5 de la presente invención;

La Figura 4 muestra el diagrama esquemático de un recubrimiento con la superposición de dos estructuras formadas por una primera capa de un material dieléctrico transparente anti-reflejante y, una segunda capa de una película funcional

10 metálica con propiedades de reflexión en el rango infrarrojo, de acuerdo a una cuarta modalidad de la presente invención;

La La Figura 5 muestra el diagrama esquemático de un recubrimiento con la superposición de dos estructuras formadas por una primera capa de un material

15 dieléctrico transparente anti-reflejante y, una segunda capa de una película funcional metálica con propiedades de reflexión en el rango infrarrojo, de acuerdo a una quinta modalidad de la presente invención;

La Figura 6 muestra el diagrama esquemático de un recubrimiento con la

20 superposición de dos estructuras formadas por una primera capa de un material dieléctrico transparente anti-reflejante y, una segunda capa de una película funcional metálica con propiedades de reflexión en el rango infrarrojo, de acuerdo a una sexta modalidad de la presente invención;

La Figura 7 muestra el diagrama esquemático de un recubrimiento con la superposición de tres estructuras formadas por una primera capa de un material dieléctrico transparente anti-reflejante y, una segunda capa de una película funcional metálica con propiedades de reflexión en el rango infrarrojo, de acuerdo a una  
5 séptima modalidad de la presente invención;

La Figura 8 muestra el diagrama esquemático de un recubrimiento con la superposición de tres estructuras formadas por una primera capa de un material dieléctrico transparente anti-reflejante y, una segunda capa de una película funcional  
10 metálica con propiedades de reflexión en el rango infrarrojo, de acuerdo a una octava modalidad de la presente invención;

La Figura 9 muestra el diagrama esquemático de un recubrimiento con la superposición de tres estructuras formadas por una primera capa de un material  
15 dieléctrico transparente anti-reflejante y, una segunda capa de una película funcional metálica con propiedades de reflexión en el rango infrarrojo, de acuerdo a una novena modalidad de la presente invención;

La Figura 10 muestra los valores de Transmisión de Luz de acuerdo a los diversos  
20 ejemplos de la presente invención; y,

La Figura 11 muestra los valores de Resistividad de acuerdo a los diversos ejemplos de la presente invención.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

### PRIMERA MODALIDAD (Ejemplo 1)

De acuerdo a una primera modalidad de la invención, un recubrimiento de baja emisividad depositado sobre el vidrio, comprende la siguiente estructura de capas y es ilustrado en la Figura 1.

Sobre un sustrato de vidrio **(10)** se aplica una primera capa de material dieléctrico anti-reflejante **(12)**, con un índice de refracción entre 1.65 y 1.95. La primera capa puede ser de nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) con un espesor entre 10 y 40 nm, pero preferentemente de 10 a 25 nm. Este compuesto, favorece la adherencia del recubrimiento al sustrato y bloquea la migración del sodio proveniente del vidrio.

La segunda capa del recubrimiento consiste en un material dieléctrico anti-reflejante de índice de refracción entre 1.32 y 1.55 **(18)**. Se puede utilizar materiales dieléctricos transparentes que incluyen óxidos metálicos con índice de refracción  $>2.0$ , sin embargo, en la presenta invención se utiliza óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ), el cual es depositado sobre el  $\text{Si}_3\text{N}_4$  con un espesor entre 8 y 15 nm, y preferentemente entre 8 y 10 nm. Esta capa actúa como plantilla para el crecimiento adecuado de un material de alta reflectividad de energía infrarroja (IR), además de que funciona como capa antireflejante.

La tercera capa corresponde a un material que proporciona alta reflectividad en la región del infrarrojo y baja absorción en el intervalo visible **(20)**. Esta capa se aplica sobre el revestimiento dieléctrico anti-reflejante **(18)**, con un espesor entre 5 y 15 nm, preferentemente de 8 a 12 nm. Típicamente se utilizan metales nobles como:

Al, Ag, Au, Cu y Pt, sin embargo, se prefiere la plata debido a que aporta un aspecto estético neutro al recubrimiento.

La cuarta capa consiste en un material absorbente que también actúa como barrera anticorrosión **(22)**. En la presente invención se utiliza una aleación de Ni-Cr (80:20 %p/p), debido a que tiene la capacidad de captar el vapor de agua, oxígeno, nitrógeno u otros compuestos capaces de reaccionar y degradar la capa de plata metálica. Su función principal es proteger a la plata de la oxidación y corrosión, durante la deposición de las capas superiores y/o proceso de templado del vidrio. En algunas modalidades de la presente invención se prefiere que la capa barrera se encuentre parcialmente oxidada (NiCrOx), para incrementar la transmisión visible en el recubrimiento. El espesor de la capa barrera (22) está entre 0.5 y 5 nm, preferentemente entre 0.5 y 2 nm.

La quinta capa del recubrimiento consta de un material dieléctrico antirreflejante **(24)** de índice de refracción entre 1.32 y 1.55, como el ZnO. El espesor de esta capa antirreflejante **(24)** está entre 8 y 15 nm, de preferencia entre 10 y 12 nm. En algunos ejemplos de la presente invención, el óxido de zinc cumple con una doble función en el recubrimiento. Si se aplica antes de la capa de plata, el ZnO actúa como agente nucleante para lograr el crecimiento adecuado de la misma, siempre y cuando se obtengan películas de ZnO tipo wurtzita, con una textura orientada hacia el eje-c. Por otra parte, si se deposita después de la capa reflejante, el ZnO actúa como una capa bloqueante y no absorbente, que además ayuda a mantener la conductividad eléctrica de la Ag, debido a su naturaleza electrónica.

Finalmente, en esta modalidad se coloca un material dieléctrico como capa de protección **(26)**. Esta capa aporta estabilidad mecánica, térmica, durabilidad química y resistencia al rayado a todo el recubrimiento. Se pueden utilizar materiales tales como:  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{ZrSiO}_2$ , etc. En la presente invención se utiliza  $\text{Si}_3\text{N}_4$  como capa de protección **(26)**, con un espesor entre 10 y 50 nm, preferentemente entre 20 y 45 nm.

#### SEGUNDA MODALIDAD (Ejemplo 2)

En una segunda modalidad de la invención, se propone un recubrimiento de baja emisividad compuesto por un arreglo de capas tal como se muestra en la figura 2.

10

Sobre un sustrato de vidrio **(10)** se deposita una primera capa dieléctrica compuesta por una pre-capa con un índice de refracción entre 1.65 y 1.95 **(14)**, sobre la cual se deposita una segunda sub-capa de un índice de refracción entre 2.1 y 2.5 **(16)**. En esta modalidad, la pre-capa está formada por nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), con un espesor entre 10 y 40 nm **(14)**, preferentemente entre 10 y 25 nm, mientras que la sub-capa adicional tiene un espesor de 1 a 10 nm y corresponde a un compuesto antireflejante **(16)** con un índice de refracción mayor a 2, por ejemplo, dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ).

15

La segunda capa consiste en un material dieléctrico anti-reflejante de índice de refracción entre 1.32 y 1.55 **(18)**. Se puede utilizar materiales dieléctricos transparentes que incluyen óxidos metálicos con índice de refracción  $>2.0$ , sin embargo, en la presenta invención se utiliza óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ), el cual es depositado sobre el  $\text{Si}_3\text{N}_4$  con un espesor entre 8 y 15 nm, preferentemente de 8 a 10 nm. Además de incrementar las características anti-reflejantes del recubrimiento, actúa como

20

plantilla para el crecimiento adecuado de un material de alta reflectividad de energía infrarroja (IR).

La tercera capa corresponde a un material que proporciona alta reflectividad en la  
5 región del infrarrojo y baja absorción en el intervalo visible **(20)**. Esta capa se aplica sobre el revestimiento dieléctrico anti-reflejante **(18)**, con un espesor entre 5 y 15 nm, preferentemente de 8 a 10 nm. Típicamente se utilizan metales nobles como: Al, Ag, Au, Cu y Pt, sin embargo, se prefiere la plata debido a que aporta un aspecto estético neutro al recubrimiento.

10

La cuarta capa consiste en un material absorbente que también actúa como barrera anticorrosión **(22)**. En la presente invención se utiliza una aleación de Ni-Cr (80:20 %p/p), debido a que tiene la capacidad de captar el vapor de agua, oxígeno, nitrógeno u otros compuestos capaces de reaccionar y degradar la capa de plata metálica. Su  
15 función principal es proteger a la plata de la oxidación y corrosión, durante la deposición de las capas superiores y/o proceso de templado del vidrio. En algunas modalidades de la presente invención se prefiere que la capa barrera se encuentre parcialmente oxidada (NiCrOx), para incrementar la transmisión visible en el recubrimiento. El espesor de la capa barrera (22) está entre 0.5 y 5 nm, de preferencia  
20 entre 0.5 y 2 nm.

La quinta capa del recubrimiento consta de un material dieléctrico antireflejante **(24)** de índice de refracción entre 1.32 y 1.55, como el ZnO, no obstante, en algunos ejemplos de la presente invención, se puede utilizar SnO<sub>2</sub> (índice de refracción 2.0) en

lugar del ZnO. El espesor de esta capa anti-reflejante **(24)** está entre 8 y 15 nm, preferentemente entre 10 y 12 nm.

Finalmente, en esta modalidad se coloca un material dieléctrico como capa de protección **(26)**. Esta capa aporta estabilidad mecánica, térmica, durabilidad química y resistencia al rayado a todo el recubrimiento. Se pueden utilizar materiales tales como:  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{ZrSiO}_2$ , etc. En la presente invención se utiliza  $\text{Si}_3\text{N}_4$  como capa de protección **(26)**, con un espesor entre 10 y 50 nm, preferentemente entre 20 y 45 nm.

#### 10 TERCERA MODALIDAD (Ejemplo 3)

En una tercera modalidad de la invención, se propone un recubrimiento de baja emisividad que comprende un arreglo de capas tal como se muestra en la figura 3.

Sobre un sustrato de vidrio **(10)** se deposita una primera capa dieléctrica compuesta por una pre-capa con un índice de refracción entre 1.65 y 1.95 **(14)**, sobre la cual se deposita una segunda sub-capa de un índice de refracción entre 2.1 y 2.5 **(16)**. En esta modalidad, la pre-capa está formada por nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), con un espesor entre 10 y 40 nm **(14)**, preferentemente entre 10 y 25 nm, mientras que la sub-capa adicional tiene un espesor de 1 a 10 nm, y corresponde a un compuesto antireflejante **(16)** con un índice de refracción mayor, por ejemplo, dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ).

La segunda capa del recubrimiento se compone de un óxido transparente conductor tal como óxido de zinc dopado con Aluminio (AZO) **(28)**, con un espesor entre 8 y 20 nm, de preferencia entre 8 y 10 nm. La inclusión de esta capa en la heteroestructura

de multicapas incrementa la transmisión ( $T_{\text{luz}}$ ) y reduce la reflexión de luz ( $R_{\text{luz}}$ ), mejora la estabilidad química y resistencia mecánica. Adicionalmente, esta capa **(28)** presenta características de resistencia eléctrica comparables con el ITO ( $3 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ), que favorecen la conductividad eléctrica en la superficie del vidrio recubierto.

5

La tercera capa corresponde a un material que proporciona alta reflectividad en la región del infrarrojo y baja absorción en el intervalo visible **(20)**. Esta capa se aplica sobre el óxido transparente conductor **(28)**, con un espesor entre 5 y 15 nm, de preferencia entre 8 y 10 nm. En todos los ejemplos de la presente invención se  
10 prefiere el uso de plata (Ag) debido a que aporta una tonalidad neutra al recubrimiento.

La cuarta capa consiste en un material absorbente que actúa como una barrera de protección para evitar la oxidación y corrosión de la plata metálica durante la  
15 deposición de las capas superiores y/o proceso de templado del vidrio **(22)**. Para este fin se utiliza una aleación de Ni-Cr (80:20 %p/p), sin embargo, en algunos ejemplos mostrados se prefiere que la capa barrera se encuentre parcialmente oxidada (NiCrOx), ya que esto incrementa la transmisión de luz visible en el recubrimiento. El espesor de la capa barrera **(22)** está entre 0.5 y 5 nm, preferentemente entre 0.5 y 2  
20 nm.

La quinta capa del recubrimiento corresponde a una segunda película de óxido transparente conductor **(38)**, tal como el AZO. El espesor de esta capa **(38)** está entre 8 y 20 nm, de preferencia entre 8 y 15 nm.

Finalmente, en esta modalidad se coloca un material dieléctrico como capa de protección **(26)**. Esta capa aporta estabilidad mecánica, térmica, durabilidad química y resistencia al rayado a todo el recubrimiento. Se pueden utilizar materiales tales como:  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{ZrSiO}_2$ , etc. En la presente invención se utiliza  $\text{Si}_3\text{N}_4$  como capa de protección **(26)**, con un espesor entre 10 y 40 nm, preferentemente entre 20 y 45 nm.

#### CUARTA MODALIDAD (Ejemplo 4)

En una cuarta modalidad de la invención, se propone un recubrimiento de baja emisividad que contiene dentro de su estructura dos capas funcionales reflejantes del infrarrojo, tal como se muestra en la figura 4.

Sobre un sustrato de vidrio **(10)** se deposita una primera capa dieléctrica **(12)**. Se puede utilizar nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), con un espesor entre 10 y 40 nm, preferentemente entre 10 y 35 nm. La segunda capa está compuesta por un óxido metálico con propiedades antirreflejantes tal como el óxido de zinc **(14)**, con un espesor entre 8 y 20 nm, preferentemente entre 8 y 10 nm. La tercera capa del recubrimiento proporciona las propiedades de alta reflectividad en la región infrarroja del espectro electromagnético **(16)**, características de un recubrimiento de baja emisividad térmica. En todos los ejemplos de la presente invención se utiliza plata metálica como capa funcional, con un espesor entre 5 y 15 nm, de preferencia entre 8 y 10 nm, ya que aporta una tonalidad neutra al recubrimiento. Posteriormente, como cuarta capa se aplica un óxido transparente conductor **(18)**, con un espesor entre 50 y 90 nm, preferentemente entre 70 y 90 nm. En esta capa se prefiere el uso de óxido de zinc dopado con aluminio (AZO) debido a que su inclusión

enriquece las propiedades ópticas, mecánicas y conductoras del vidrio recubierto. La quinta capa corresponde a una segunda película funcional de plata con alta reflectancia en el infrarrojo y un espesor entre 5 y 15 nm, preferentemente entre 10 y 15 nm **(26)**. La sexta capa consiste en un material absorbente que actúa como una

5 barrera de protección **(30)** y evita la oxidación de la plata metálica, durante la deposición de las capas superiores y/o proceso de templado del vidrio. Para este fin se utiliza una aleación de Ni-Cr (80:20 %p/p), sin embargo, en algunos ejemplos se prefiere que la capa barrera se encuentre parcialmente oxidada (NiCrOx), ya que esto incrementa la transmisión de luz visible. El espesor de la capa barrera **(30)** está entre

10 0.5 y 5 nm, preferentemente entre 1 y 3 nm. La séptima capa corresponde a una segunda película de óxido de zinc dopado con aluminio (AZO) **(28)**, con un espesor entre 8 y 30 nm, preferentemente entre 8 y 20 nm que incrementa las propiedades del recubrimiento. Finalmente, en esta modalidad se coloca un material dieléctrico como capa de protección **(22)**. Esta capa aporta estabilidad mecánica, térmica, durabilidad

15 química y resistencia al rayado a todo el recubrimiento. Se pueden utilizar materiales tales como: Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, ZrO<sub>2</sub>, ZrSiO<sub>2</sub>, etc. En la presente invención se utiliza Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> como capa de protección **(22)**, con un espesor entre 10 y 40 nm, sin embargo, se prefiere entre 10 y 25 nm.

## 20 QUINTA MODALIDAD (Ejemplo 5)

En una quinta modalidad de la invención, un recubrimiento bajo emisor incluye dentro de su estructura dos capas funcionales reflejantes del infrarrojo, depositadas entre sendas películas tal como se muestra en la figura 5.

Sobre un sustrato de vidrio **(10)** se deposita una primera capa dieléctrica **(12)**, preferentemente de nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), con un espesor entre 10 y 40 nm, preferentemente entre 10 y 35 nm.

- 5 Como segunda capa se depositan un óxido metálico transparente con propiedades conductoras **(38)** con un espesor entre 8 y 20 nm, de preferencia entre 8 y 10 nm. Específicamente, en la presente invención, se utiliza óxido de zinc dopado con aluminio (AZO) debido a que mejora la transmisión y reflexión de luz, la estabilidad química y resistencia mecánica de los vidrios recubiertos expuestos a condiciones
- 10 medioambientales extremas.

La tercera capa del recubrimiento corresponde a la capa funcional **(16)**, misma que aporta las características de baja emisividad térmica. En todos los ejemplos se utiliza plata metálica, con un espesor entre 5 y 15 nm, preferentemente entre 8 y 10

15 nm.

La cuarta capa consiste en una segunda película de óxido transparente conductor **(18)**, con un espesor entre 50 y 90 nm, preferentemente entre 70 y 90 nm. Preferentemente se utiliza óxido de zinc dopado con aluminio (AZO) debido a que es

20 un material de bajo coste y además enriquece las propiedades de conductividad eléctrica en el vidrio recubierto.

Como quinta capa se deposita una segunda película de plata metálica **(26)**, con un espesor entre 5 y 15 nm, preferentemente entre 10 y 15 nm, con la finalidad de lograr

una menor emisividad térmica en el recubrimiento.

La sexta capa tiene la función de actuar como barrera para evitar la oxidación de la plata. En este caso se utiliza una aleación de Ni-Cr (80:20 %p/p) con un espesor de 0.5  
5 y 5 nm, preferentemente entre 1 y 3 nm **(30)**. No obstante, en algunos ejemplos de la presente invención se prefiere que esta capa se encuentre parcialmente oxidada (NiCrOx) a modo de incrementar la transmisión de luz visible.

La penúltima capa del recubrimiento corresponde a una tercera película de óxido de  
10 zinc dopado con aluminio (AZO) **(28)**, con un espesor entre 8 y 30 nm, preferentemente entre 8 y 20 nm. Finalmente, en esta modalidad se coloca un material dieléctrico como capa de protección **(60)**, para aportar estabilidad mecánica, térmica y durabilidad química a todo el recubrimiento. En la presente invención se utiliza Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> como capa de protección **(22)** con un espesor entre 10 y 40 nm, sin  
15 embargo, se prefiere entre 10 y 25 nm.

#### SEXTA MODALIDAD (Ejemplo 6)

Una sexta modalidad de la invención consta de arreglo de capas con propiedades de baja emisividad que incluye dentro de su estructura dos capas  
20 reflejantes del infrarrojo, depositadas entre sendas películas tal como se muestra en la figura 6.

Sobre un sustrato de vidrio **(10)** se deposita una primera capa dieléctrica **(12)** compuesta por una pre-capa con un índice de refracción entre 1.65 y 1.95 **(11)**, sobre

la cual se deposita una segunda sub-capa de un índice de refracción entre 2.1 y 2.5 **(13)**. En esta modalidad, la pre-capa está formada por nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), con un espesor entre 10 y 40 nm, o preferentemente entre 10 y 15 nm **(11)**, mientras que la sub-capa adicional tiene un espesor de 1 a 10 nm y corresponde a un compuesto antireflejante **(13)** con un índice de refracción mayor, por ejemplo, dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ).

Como segunda capa se depositan un óxido metálico transparente con propiedades conductoras **(38)**, con un espesor entre 8 y 20 nm, o de preferencia entre 8 y 10 nm. Específicamente, en la presente invención, se utiliza óxido de zinc dopado con aluminio (AZO) debido a que mejora la transmisión y reflexión de luz, la estabilidad química y resistencia mecánica de los vidrios recubiertos expuestos a condiciones medioambientales extremas.

La tercera capa del recubrimiento corresponde a la capa funcional **(16)**, misma que aporta las características de baja emisividad térmica. En todos los ejemplos se utiliza plata metálica, con un espesor entre 5 y 15 nm, preferentemente entre 8 y 10 nm.

La cuarta capa consiste en una segunda película de óxido transparente conductor **(18)**, con un espesor entre 50 y 90 nm, preferentemente entre 70 y 90 nm. Preferentemente se utiliza óxido de zinc dopado con aluminio (AZO) debido a que es un material de bajo coste e incrementa la conductividad eléctrica en el vidrio recubierto.

La sexta capa tiene la función de actuar como barrera para evitar la oxidación de la

plata. En este caso se utiliza una aleación de Ni-Cr (80:20 %p/p) con un espesor de 0.5 a 5 nm, o de preferencia entre 0.5 y 2 nm **(30)**. No obstante, en algunos ejemplos de la presente invención se prefiere que esta capa se encuentre parcialmente oxidada (NiCrOx) a modo de incrementar la transmisión de luz visible.

5

La penúltima capa del recubrimiento corresponde a una tercera película de óxido de zinc dopado con aluminio (AZO) **(28)**, con un espesor entre 8 y 30 nm, preferentemente entre 8 y 20 nm. Finalmente, en esta modalidad se coloca un material dieléctrico como capa de protección **(60)**, para aportar estabilidad mecánica, 10 térmica y durabilidad química a todo el recubrimiento. En la presente invención se utiliza Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> como capa de protección **(22)** con un espesor entre 10 y 40 nm, sin embargo, se prefiere entre 10 y 25 nm.

#### SÉPTIMA MODALIDAD (Ejemplo 7)

15 En una séptima modalidad de la invención, se propone un recubrimiento de baja emisividad que contiene dentro de su estructura tres capas funcionales reflejantes del infrarrojo, tal como se muestra en la figura 7.

Sobre un sustrato de vidrio **(10)** se deposita una primera capa dieléctrica **(12)** de 20 nitruro de silicio (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), con un espesor entre 10 y 40 nm, preferentemente entre 30 y 40 nm. La segunda capa está compuesta por un óxido metálico con propiedades antirreflejantes tal como el óxido de zinc **(13)**, con un espesor entre 8 y 20 nm, de preferencia entre 8 y 15 nm. La tercera capa del recubrimiento proporciona las propiedades características de un recubrimiento de baja emisividad como tales como

una elevada reflectividad de radiación infrarroja **(14)**. En todos los ejemplos descritos se utiliza plata metálica como capa funcional, misma que es depositada con un espesor entre 5 y 15 nm, preferentemente entre 10 y 15 nm. Como cuarta capa se aplica un óxido transparente conductor **(16)**, con un espesor entre 50 y 90 nm, preferentemente entre 70 y 80 nm, debido a que enriquece las propiedades ópticas, mecánicas y conductoras del vidrio recubierto. En la presente invención esta capa está compuesta por óxido de zinc dopado con aluminio (AZO).

La quinta capa corresponde a una segunda película funcional de plata con alta reflectancia en el infrarrojo, y con un espesor entre 5 y 15 nm, preferentemente entre 10 y 15 nm **(24)**. La sexta capa consiste en una segunda capa de óxido transparente conductor como el AZO, con un espesor entre 50 y 90 nm, preferentemente entre 70 y 80 nm **(26)**. La séptima capa corresponde a una tercera capa de plata metálica con un espesor entre 5 y 15 nm, preferentemente entre 10 y 15 nm que incrementa la reflexión de radiación infrarroja y disminuye la emisividad del producto final **(34)**.

Como octava capa se deposita un material absorbente que actúa como una barrera de protección, en estos ejemplos se utiliza una aleación de Ni-Cr (80:20 %p/p), con un espesor entre 0.5 y 5 nm, o de preferencia entre 0.5 y 2 nm **(35)**. Este material evita la oxidación de la plata metálica durante la deposición de las capas superiores y/o proceso de templado del vidrio. Para incrementar la transmisión de luz visible, se prefiere que la capa barrera se encuentre parcialmente oxidada (NiCrOx).

La novena capa se compone de una cuarta película de óxido de zinc dopado con aluminio (AZO) **(36)**, con un espesor entre 20 y 40 nm, preferentemente entre 20 y 30 nm, que incrementa las propiedades del recubrimiento. Finalmente, la décima capa consiste en un material dieléctrico que le brinda estabilidad mecánica, térmica, durabilidad química y resistencia al rayado a todo el recubrimiento. Como capa de protección **(22)** se pueden utilizar materiales tales como:  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{ZrSiO}_2$ , etc., no obstante, en la presente invención se utiliza  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , con un espesor entre 10 y 40 nm, sin embargo, se prefiere entre 10 y 25 nm.

#### 10 OCTAVA MODALIDAD (Ejemplo 8)

En una octava modalidad de la invención, se propone un recubrimiento de baja emisividad que contiene dentro de su estructura tres capas funcionales reflejantes del infrarrojo, tal como se muestra en la figura 8.

15 Sobre un sustrato de vidrio **(10)** se deposita una primera capa dieléctrica **(12)** de nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), con un espesor entre 10 y 40 nm, preferentemente entre 30 y 40 nm. Partiendo de la modalidad anterior (séptima), donde la segunda capa consiste en ZnO **(13)**, en la esta modalidad, dicho material es sustituido por un óxido transparente conductor que incrementa las propiedades ópticas, así como la  
20 estabilidad mecánica y conductividad eléctrica del vidrio recubierto. En la presente invención esta capa se compone de una película de óxido de zinc dopado con aluminio (AZO), el cual se deposita con un espesor entre 8 y 20 nm, de preferencia entre 8 y 15 nm **(14)**. El resto del recubrimiento se mantiene con la misma configuración y composición.

## NOVENA MODALIDAD (Ejemplo 9)

La novena modalidad de la invención comprende un recubrimiento de baja emisividad depositado sobre un sustrato de vidrio. El recubrimiento contiene dentro de su estructura tres capas funcionales reflejantes del infrarrojo, tal como se muestra en la figura 9.

Sobre un sustrato de vidrio **(10)** se deposita una primera capa dieléctrica **(12)** la cual se compone de una pre-capa de nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), con un espesor entre 10 y 40 nm, preferentemente entre 30 y 40 nm **(11)**, y una segunda sub-capa de un material dieléctrico antireflejante como  $\text{TiO}_2$ , depositado con un espesor de 1 a 10 nm **(13)**. La segunda capa consta de un material antireflejante ( $\text{ZnO}$ ) o un óxido transparente conductor (AZO) **(15)**, los cuales ayudan a lograr un crecimiento adecuado de la plata, así mismo incrementan las propiedades ópticas del recubrimiento. Esta capa tiene un espesor entre 8 y 20 nm, de preferencia entre 8 y 15 nm

Como tercera capa se incluye una película de plata metálica, con un espesor entre 5 y 15 nm, preferentemente entre 10 y 15 nm, que funciona como filtro óptico y refleja la mayor parte de radiación infrarroja **(14)**. Como cuarta capa se aplica un óxido transparente conductor **(16)**, con un espesor entre 50 y 90 nm, preferentemente entre 70 y 80 nm, debido a que enriquece las propiedades ópticas, mecánicas y conductoras del vidrio recubierto. En la presente invención se utiliza óxido de zinc dopado con aluminio (AZO).

La quinta capa corresponde a una segunda película funcional de plata con alta

reflectancia en el infrarrojo y un espesor de 5 y 15 nm, preferentemente entre 10 y 15 nm **(24)**. La sexta capa consiste en una capa de óxido transparente conductor como el AZO, con un espesor entre 50 y 90 nm, preferentemente entre 70 y 80 nm **(26)**. La séptima capa corresponde a una tercera capa de plata metálica, con un espesor entre 5 y 15 nm, preferentemente entre 10 y 15 nm, que incrementa la reflexión de radiación infrarroja y disminuye la emisividad del producto final **(34)**.

Como octava capa se deposita un material absorbente que actúa como una barrera de protección, en estos ejemplos se utiliza una aleación de Ni-Cr (80:20 %p/p), con un espesor entre 0.5 y 5 nm de preferencia entre 0.5 y 2 nm **(35)**. Este material evita la oxidación de la plata metálica durante la deposición de las capas superiores y/o proceso de templado del vidrio. Para incrementar la transmisión de luz visible, se prefiere que la capa barrera se encuentre parcialmente oxidada (NiCrOx).

La novena capa se compone de una cuarta película de óxido de zinc dopado con aluminio (AZO) **(36)**, con un espesor entre 20 y 40 nm, preferentemente entre 20 y 30 nm, que incrementa las propiedades del recubrimiento. Finalmente, la décima capa consiste en un material dieléctrico que le brinda estabilidad mecánica, térmica, durabilidad química y resistencia al rayado a todo el recubrimiento. Como capa de protección **(22)** se utiliza  $\text{Si}_3\text{N}_4$  con un espesor entre 10 y 40 nm, sin embargo, se prefiere entre 10 y 25 nm.

Teniendo como base los ejemplos antes descritos, la Tabla 1 presenta la configuración, composición y espesores de las capas que componen los recubrimientos mencionados.

**TABLA 1**

| Capa   | Ex 1                           |              | Ex 2                           |              | Ex 3                           |              | Ex 4                           |              | Ex 5                           |              |
|--------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|
|        | Material                       | Espesor (nm) | Material                       | Espesor (nm) | Material                       | Espesor (nm) | Material                       | Espesor (nm) | Material                       | Espesor (nm) |
| VIDRIO |                                |              |                                |              |                                |              |                                |              |                                |              |
| 1      | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 22           | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 22           | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 10           | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 32.5         | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 32           |
| 2      | ZnO                            | 8.5          | TiO <sub>2</sub>               | 10           | TiO <sub>2</sub>               | 10           | ZnO                            | 9            | AZO                            | 8.5          |
| 3      | Ag                             | 10.7         | ZnO                            | 8.5          | AZO                            | 8.5          | Ag                             | 9.6          | Ag                             | 8            |
| 4      | NiCr                           | 1.6          | Ag                             | 10.7         | Ag                             | 8            | AZO                            | 89.5         | AZO                            | 85           |
| 5      | ZnO                            | 11.4         | NiCr                           | 1.6          | NiCr                           | 1            | Ag                             | 13           | Ag                             | 13           |
| 6      | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 43.8         | AZO                            | 11.4         | AZO                            | 11.4         | NiCr                           | 1.1          | NiCrOx                         | 2            |
| 7      |                                |              | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 22           | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 22           | AZO                            | 12.6         | AZO                            | 12.5         |
| 8      |                                |              |                                |              |                                |              | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 22.3         | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 22           |

| Capa   | Ex 6                           |              | Ex 7                           |              | Ex 8                           |              | Ex 9                           |              |
|--------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|
|        | Material                       | Espesor (nm) | Material                       | Espesor (nm) | Material                       | Espesor (nm) | Material                       | Espesor (nm) |
| VIDRIO |                                |              |                                |              |                                |              |                                |              |
| 1      | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 10           | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 36.9         | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 35.9         | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 35.9         |
| 2      | TiO <sub>2</sub>               | 10           | ZnO                            | 13.1         | AZO                            | 13.1         | TiO <sub>2</sub>               | 3            |
| 3      | AZO                            | 8.5          | Ag                             | 11           | Ag                             | 11           | ZnO                            | 13.1         |
| 4      | Ag                             | 8            | AZO                            | 75.8         | AZO                            | 78.4         | Ag                             | 11           |
| 5      | AZO                            | 85           | Ag                             | 11.6         | Ag                             | 11.8         | AZO                            | 78.4         |
| 6      | Ag                             | 13           | AZO                            | 76.2         | AZO                            | 77.7         | Ag                             | 11.8         |
| 7      | NiCrOx                         | 1.6          | Ag                             | 12.6         | Ag                             | 12.8         | AZO                            | 77.7         |
| 8      | AZO                            | 12.5         | NiCr                           | 0.8          | NiCrOx                         | 2            | Ag                             | 12.8         |
| 9      | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 22           | AZO                            | 16.8         | AZO                            | 16.8         | NiCrOx                         | 2            |
| 10     |                                |              | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 27.3         | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 28.5         | AZO                            | 16.8         |
| 11     |                                |              |                                |              |                                |              | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 28.5         |

5 La tabla 2 resume los valores calculados para las principales propiedades ópticas y de color, antes y después someter los productos a un tratamiento térmico a 600° C por 10 minutos.

**TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS DE VIDRIO LOW-E**

| Característica                             | Ejemplo<br>1 | Ejemplo<br>2 | Ejemplo<br>3 | Ejemplo<br>4 | Ejemplo<br>5 |
|--------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <u>T<sub>luz</sub> (%)</u>                 |              |              |              |              |              |
| Antes de tratamiento térmico               | 76.7         | 78           | 78.4         | 70.6         | 71.8         |
| Color Transmitido                          |              |              |              |              |              |
| L*                                         | 91.3         | 93.3         | 93.24        | 90.2         | 90           |
| a*                                         | -1.5         | -2.7         | -1.56        | -2.8         | -2.9         |
| b*                                         | 4            | -2           | 0.58         | 4.9          | 1.5          |
| Después de tratamiento térmico             | 79.3         | 83.7         | 83.43        | 76.8         | 76.3         |
| Color transmitido                          |              |              |              |              |              |
| L*                                         | 91.3         | 93.3         | 93.24        | 90.2         | 90           |
| a*                                         | -1.8         | -3           | -2.74        | -2.4         | -3.5         |
| b*                                         | 3.6          | 0.8          | -0.38        | 2.9          | 0.2          |
| <u>R<sub>luz</sub> (%) - lado película</u> |              |              |              |              |              |
| Antes de tratamiento térmico               | 6.7          | 5.7          | 8            | 9.6          | 8.4          |
| Color reflejado                            |              |              |              |              |              |
| L*                                         | 31.9         | 28.5         | 34.08        | 36.8         | 34.3         |
| a*                                         | -0.2         | 6.2          | 0.35         | -5.4         | -3.5         |
| b*                                         | -19.7        | 5.1          | -6.91        | 11.9         | 11.1         |
| Después de tratamiento térmico             | 8.7          | 5.4          | 7.78         | 9.8          | 8.4          |
| Color reflejado                            |              |              |              |              |              |
| L*                                         | 36.1         | 27.6         | 33.4         | 30.9         | 34.4         |
| a*                                         | -1.7         | 9.6          | 5            | -10.6        | -1.2         |
| b*                                         | -16.4        | 5.5          | -2.38        | 2.6          | 8.6          |
| <u>T<sub>Sol</sub> (%)</u>                 |              |              |              |              |              |
| Antes de tratamiento térmico               | 57.4         | 54.3         | 60.3         | 41.7         | 39.8         |
| Después de tratamiento térmico             | 58.4         | 57.3         | 60.4         | 43.2         | 41.4         |
| <u>R<sub>Sol</sub> (%) - lado película</u> |              |              |              |              |              |
| Antes de tratamiento térmico               | 23.2         | 27.9         | 22.3         | 33.6         | 39.4         |
| Después de tratamiento térmico             | 25.3         | 28.3         | 24.5         | 37.5         | 42.2         |
| <u>T<sub>UV</sub> (%)</u>                  |              |              |              |              |              |
| Antes de tratamiento térmico               | 44           | 52.3         | 55.6         | 15.4         | 25.9         |
| Después de tratamiento térmico             | 49           | 62.8         | 63.9         | 30.8         | 35.4         |
| <u>R<sub>UV</sub> (%) - lado película</u>  |              |              |              |              |              |
| Antes de tratamiento térmico               | 23.7         | 8.1          | 4.9          | 11.9         | 8.1          |

|                                |      |     |   |      |      |
|--------------------------------|------|-----|---|------|------|
| Después de tratamiento térmico | 23.7 | 4.8 | 5 | 14.4 | 10.4 |
|--------------------------------|------|-----|---|------|------|

#### TIR (%)

|                                |      |      |      |      |     |
|--------------------------------|------|------|------|------|-----|
| Antes de tratamiento térmico   | 38.6 | 29.9 | 41.4 | 14.4 | 9.9 |
| Después de tratamiento térmico | 38   | 30.8 | 36.9 | 10.9 | 8.8 |

#### RIR (%) - lado película

|                                |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| Antes de tratamiento térmico   | 41.4 | 53.6 | 39.5 | 66.5 | 76.4 |
| Después de tratamiento térmico | 43.9 | 54.2 | 43.7 | 74.7 | 80.1 |

#### Emisividad [\*]

|                                |       |       |      |      |      |
|--------------------------------|-------|-------|------|------|------|
| Antes de tratamiento térmico   | 0.079 | 0.063 | 0.1  | 0.03 | 0.03 |
| Después de tratamiento térmico | 0.058 | 0.056 | 0.09 | 0.02 | 0.02 |

#### Resistividad (ohm/cm)

|                                |         |         |         |         |         |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Antes de tratamiento térmico   | 0.00077 | 0.00062 | 0.00094 | 0.00033 | 0.00029 |
| Después de tratamiento térmico | 0.00056 | 0.00054 | 0.00085 | 0.00025 | 0.00022 |

\*Szczyrbowsky J, et al. New Low emissivity coating. Thin Solid Films 351 (1-2):254-259. 1999.

| Característica                   | Ejemplo 6 | Ejemplo 7 | Ejemplo 8 | Ejemplo 9 |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <u>T luz (%)</u>                 |           |           |           |           |
| Antes de tratamiento térmico     | 66.3      | 63.2      | 67.83     | 66.5      |
| Color Transmitido                |           |           |           |           |
| L*                               | 87.9      | 86        | 88.18     | 87.9      |
| a*                               | -3.5      | -5.5      | -4.42     | -4.7      |
| b*                               | -1.6      | 2.7       | 3.48      | 3.4       |
| Después de tratamiento térmico   | 71.7      | 68.4      | 72.48     | 71.9      |
| Color transmitido                |           |           |           |           |
| L*                               | 87.9      | 86        | 88.18     | 87.9      |
| a*                               | -4.6      | -4.7      | -4.95     | -6.5      |
| b*                               | -2.1      | 5.4       | 1.24      | 0.8       |
| <u>R luz (%) - lado película</u> |           |           |           |           |
| Antes de tratamiento térmico     | 9.6       | 2.9       | 3.2       | 3.1       |
| Color reflejado                  |           |           |           |           |
| L*                               | 36.7      | 20.4      | 20.19     | 20.7      |
| a*                               | 0.7       | 4.2       | 1.34      | 2.1       |
| b*                               | 16        | -12.5     | -4.03     | -5.1      |

|                                   |         |         |         |          |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|----------|
| Después de tratamiento<br>térmico | 9.8     | 4       | 3.55    | 3.9      |
| Color reflejado                   |         |         |         |          |
| L*                                | 37.2    | 24.1    | 22.2    | 23.3     |
| a*                                | 1.5     | 11.1    | -0.06   | 4        |
| b*                                | 11      | -8.3    | -4.13   | -4.4     |
| <hr/>                             |         |         |         |          |
| Tsol (%)                          |         |         |         |          |
| Antes de tratamiento térmico      | 36.8    | 30.1    | 31      | 29.9     |
| Después de tratamiento<br>térmico | 39.7    | 31.9    | 32.4    | 31.6     |
| <hr/>                             |         |         |         |          |
| RSol (%) - lado película          |         |         |         |          |
| Antes de tratamiento térmico      | 39.2    | 39.7    | 41.3    | 42       |
| Después de tratamiento<br>térmico | 37.9    | 43.3    | 45.5    | 46.7     |
| <hr/>                             |         |         |         |          |
| Tuv (%)                           |         |         |         |          |
| Antes de tratamiento térmico      | 24.2    | 5.6     | 9.5     | 8.5      |
| Después de tratamiento<br>térmico | 33.5    | 13.2    | 13.6    | 15.8     |
| <hr/>                             |         |         |         |          |
| Ruv (%) - lado película           |         |         |         |          |
| Antes de tratamiento térmico      | 7.7     | 23.4    | 25.8    | 26.9     |
| Después de tratamiento<br>térmico | 7.8     | 30.4    | 33.4    | 33.4     |
| <hr/>                             |         |         |         |          |
| TIR (%)                           |         |         |         |          |
| Antes de tratamiento térmico      | 8.9     | 3.5     | 2       | 1.8      |
| Después de tratamiento<br>térmico | 10.8    | 2.8     | 1.4     | 1.2      |
| <hr/>                             |         |         |         |          |
| RIR (%) - lado película           |         |         |         |          |
| Antes de tratamiento térmico      | 74.8    | 80.1    | 82.5    | 83       |
| Después de tratamiento<br>térmico | 69.4    | 82.6    | 86.8    | 87.1     |
| <hr/>                             |         |         |         |          |
| Emisividad [*]                    |         |         |         |          |
| Antes de tratamiento térmico      | 0.04    | 0.024   | 0.015   | 0.02     |
| Después de tratamiento<br>térmico | 0.01    | 0.016   | 0.012   | 0.01     |
| <hr/>                             |         |         |         |          |
| Resistividad (ohm/cm)             |         |         |         |          |
| Antes de tratamiento térmico      | 0.00044 | 0.00024 | 0.00016 | 0.000155 |
| Después de tratamiento<br>térmico | 0.00015 | 0.00017 | 0.00013 | 0.000123 |

\*Szczyrbowsky J, et al. New Low emissivity coating. Thin Solid Films 351 (1-2):254-259. 1999.

Por otra parte, en las figuras 10 y 11 se ilustra el comportamiento de la transmisión de luz y transmisión solar en los diferentes ejemplos, respectivamente. Tal como se observa, ambas características se incrementan hasta un 2% después del tratamiento térmico. Así mismo se observa una reducción en el valor de resistividad del recubrimiento hasta en una unidad, lo que indica una mejora en las propiedades de conductividad eléctrica del recubrimiento. Adicionalmente los valores encontrados revelan que las configuraciones descritas presentan estabilidad química y térmica, evitando la migración del ión sodio a partir del sustrato, la oxidación de la plata durante el tratamiento térmico y la posible interpenetración de las capas por efecto de la difusión atómica y temperatura.

Por todo lo anterior, es factible la aplicación de los productos presentados en sistemas de ventanas dobles o triples (recocidas, semi-templadas y templadas) dirigidas al mercado arquitectónico, así como en sistemas de envidriado laminados planos y/o curvados, con vistas en aplicaciones residenciales, arquitectónicas y automotrices.

La presente invención no se limita a los ejemplos mostrados. Así mismo los recubrimientos descritos fueron depositados sobre vidrio claro, no obstante pueden ser aplicados sobre vidrios de diferente composición química, tonalidad (gris, bronce, verde, azul, etc.) o propiedades físicas, teniendo en cuenta los cambios en las características reportadas, por efecto del sustrato.