

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 906 970**

51 Int. Cl.:

**H01L 31/02** (2006.01)

**H01L 31/052** (2014.01)

**H01L 31/0216** (2014.01)

**G02B 5/28** (2006.01)

**C03C 17/34** (2006.01)

**F24S 80/52** (2008.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.08.2013** **PCT/IB2013/058158**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.03.2014** **WO14045144**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.08.2013** **E 13815134 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.11.2021** **EP 2898534**

54 Título: **Filtro interferencial con color de reflexión naranja independiente angular y alta transmitancia solar, adecuado para la integración en el tejado de sistemas de energía solar**

30 Prioridad:

**20.09.2012 WO PCT/IB2012/054998**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**21.04.2022**

73 Titular/es:

**ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE  
LAUSANNE (EPFL) (100.0%)  
EPFL-TTO, EPFL Innovation Park J  
1015 Lausanne, CH**

72 Inventor/es:

**SCHÜLER, ANDREAS;  
JOLY, MARTIN y  
HODY LE CAËR, VIRGINIE**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 906 970 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Filtro interferencial con color de reflexión naranja independiente angular y alta transmitancia solar, adecuado para la integración en el tejado de sistemas de energía solar

### Campo de la invención

- 5 La invención se refiere a un vidriado de color naranja en particular, pero no exclusivamente, adecuado para sistemas solares de tejado tales como módulos fotovoltaicos y tejas, colectores térmicos o híbridos fotovoltaicos-térmicos y sistemas pasivos. El color se obtiene por la deposición en la cara interna del vidriado de un recubrimiento interferencial multicapa. Este recubrimiento está diseñado para reflejar una estrecha banda espectral de la luz visible mientras que es transparente para el resto del espectro solar y garantizando de este modo una pérdida de eficiencia limitada o insignificante de los sistemas mencionados.

### Definiciones

Transmitancia directa

- 15 Si haces paralelos de radiación inciden en una superficie, una interfaz, o una muestra dan como resultado unos haces paralelos transmitidos, la transmitancia se considera como directa. Este es el caso, p. ej., para superficies o interfaces planas.

Transmitancia difusa

- Si haces paralelos de radiación inciden en una superficie, una interfaz o una muestra dan como resultado una distribución angular más o menos amplia de los haces transmitidos, la transmitancia se considera como difusa. Este es el caso, p. ej., para superficies o interfaces rugosas, o para muestras de estructura granular.
- 20 En general, la transmitancia difusa depende del ángulo de incidencia y de la longitud de onda  $\lambda$  de la radiación. Si el ángulo de incidencia no se menciona explícitamente, se asume comúnmente una incidencia normal.

Transmitancia hemisférica total

La transmitancia hemisférica total se obtiene de la suma de la transmitancia directa y la difusa.

$$T_{total} = T_{directa} + T_{difusa}$$

- 25 En general, la transmitancia hemisférica total depende del ángulo de incidencia y de la longitud de onda  $\lambda$  de la radiación. Si el ángulo de incidencia no se menciona explícitamente, se asume comúnmente una incidencia normal.

Transmitancia solar  $T_{sol}$

Dado un espectro calculado o medido de la transmitancia hemisférica total de una muestra  $T(\lambda)$ , la transmitancia solar  $T_{sol}$  se obtiene por integración con el espectro solar  $I_{sol}(\lambda)$ :

30 
$$T_{sol} = \frac{\int T(\lambda) \cdot I_{sol}(\lambda) d\lambda}{\int I_{sol}(\lambda) d\lambda}$$

donde generalmente el espectro solar en la masa de aire 1.5 (AM1.5) se emplea como Intensidad  $I_{sol}(\lambda)$ .

Reflectancia visible  $R_{vis}$

- La reflectancia visible  $R_{vis}$  es una medida del brillo de una superficie tal como aparece al ojo humano bajo ciertas condiciones de iluminación. Una superficie blanca o un espejo perfecto muestra el 100% de reflectancia visible, las superficies coloreadas o grises menos. La determinación de la reflectancia visible  $R_{vis}$  se basa en la función de eficiencia luminosa fotópica  $V(\lambda)$  y depende de la elección del iluminante  $I_L(\lambda)$ :

$$R_{vis} = \frac{\int R(\lambda) \cdot I_L(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda}{\int I_L(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda}$$

donde  $R(\lambda)$  es la reflectancia hemisférica simulada o medida de la muestra.

Ángulo de reflexión

- 40 El ángulo de reflexión  $\theta_r$  es el ángulo formado por un rayo de luz reflejado desde una superficie y una línea perpendicular a la superficie en el punto de reflexión. En este caso  $\theta_i$  y  $\theta_t$  corresponden respectivamente a los ángulos de incidencia y transmisión. (véase la figura 0)

Índice de refracción y coeficiente de extinción

Cuando la luz pasa a través de un medio, una parte de la misma siempre se absorbe. Esto puede tenerse convenientemente en cuenta definiendo un índice de refracción complejo N:

$$N = n - ik \quad [1]$$

donde la parte real n (índice de refracción) indica la velocidad de fase, mientras que la parte imaginaria k (coeficiente de extinción) indica la cantidad de pérdida por absorción cuando la onda electromagnética se propaga a través del material.

Espacio de color CIE 1931 XYZ

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE, Commission Internationale d'Eclairage) describió cómo cuantificar los colores [2]. Todos los colores existentes pueden representarse en un plano y mapearse mediante coordenadas cartesianas, como se muestra en los diagramas de cromaticidad CIE. La cuantificación se basa en las funciones de coincidencia de color CIE 1931,  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$  y  $z(\lambda)$ , que reflejan la sensibilidad al color del ojo humano. Estas funciones dependen en cierta medida del ancho del campo de observación (se usarán las funciones para un ángulo de apertura de 2°).

CIE 1976 ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) espacio de color (o CIELAB)

CIE  $L^*a^*b^*$  es el modelo de color más completo usado convencionalmente para describir todos los colores visibles para el ojo humano. Fue desarrollado para este propósito específico por la Comisión Internacional de Iluminación (Commission Internationale d'Eclairage).

Los tres parámetros del modelo representan la luminosidad del color ( $L^*$ ,  $L^*=0$  da negro y  $L^*=100$  indica blanco), Su posición entre magenta y verde ( $a^*$  valores negativos indican verde mientras que valores positivos indican magenta) y su posición entre amarillo y azul ( $b^*$ , los valores negativos indican azul y los valores positivos indican amarillo).

Estabilidad de color

Las diferencias de color  $\Delta E^*$  entre dos ángulos diferentes se calculan simplemente como la distancia euclidiana entre dos puntos de color cuyas coordenadas de color son respectivamente  $(a_1^*b_1^*L_1^*)$  y  $(a_2^*b_2^*L_2^*)$  En el espacio de color CIE 1976 Lab.

Esta diferencia se calcula como:

$$\Delta E^* = \sqrt{(a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2 + (L_2^* - L_1^*)^2}$$

$\Delta E_{Norm}^*$  se refiere a la diferencia en las coordenadas de color con un ángulo de reflexión fuera de lo normal  $\theta_r$  ( $\theta_r > 10^\circ$ ) con respecto al ángulo de reflexión casi normal ( $\theta_r \leq 10^\circ$ ).

## Estado de la técnica

A medida que evoluciona la necesidad de combustibles alternativos al carbón, aprovechar la energía del sol se ha convertido en un medio sostenible de generar energía. La incorporación de sistemas de energía solar en viviendas y edificios permitiría lograr la independencia energética a largo plazo, mientras se reduce el impacto ambiental. Las tecnologías solares se caracterizan en términos generales como solares pasivas o solares activas, según la forma en que capturan, convierten y distribuyen la energía solar.

Los sistemas solares pasivos se usan para optimizar la cantidad de energía que puede obtenerse directamente del sol, planificando cuidadosa los edificios para recoger el calor del sol, reduciendo de este modo la necesidad de calefacción. Pueden incorporarse características simples en la etapa de diseño tales como grandes ventanas orientadas al sur y materiales de construcción que absorben y liberan lentamente el calor del sol. Otras dos características de diseño que ayudan a proporcionar energía solar pasiva son los espacios solares y los muros trombe. Los espacios solares (similares a un invernadero) se construyen en el lado sur de un edificio. A medida que la luz del sol atraviesa el vidrio o el vidriado, calienta el espacio solar. Una ventilación adecuada permite que el calor circule dentro del edificio.

Un muro trombe es un muro grueso, orientado al sur, pintado de negro y capaz de absorber mucho calor. Un panel de vidrio o plástico vidriado, instalado unas pulgadas delante de la pared, ayuda a mantener el calor. El muro se calienta lentamente durante el día. Luego, a medida que se enfría gradualmente durante la noche, desprende su calor al interior del edificio. Sin embargo, el uso de dicho sistema solar pasivo en casas y edificios es difícil o imposible, ya que no todos los espacios pueden tener una fachada orientada al sur.

Los sistemas solares activos usan equipos eléctricos o mecánicos tales como la energía solar fotovoltaica (PV), paneles híbridos solares térmicos (ST) y solares fotovoltaicos-térmicos (PVT) para convertir la energía solar en calor o electricidad.

- Se usan sistemas solares fotovoltaicos que convierten la energía del sol en energía eléctrica gracias a módulos PV fabricados con diferentes tipos de células solares que convierten hasta el 20% de la energía solar incidente en electricidad. Las células más comunes incluyen materiales tales como el silicio monocristalino, silicio microcristalino (mc-Si), silicio amorfo (a-Si), telururo de cadmio (CdTe) o seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS). Estas células están conectadas eléctricamente, intercaladas por encapsulación entre dos vidrios o láminas de polímero (más comúnmente Tedlar). La primera lámina se usa como parte trasera del panel mientras que la otra constituye la superficie delantera de los módulos. La segunda protege las células de la exposición al medio ambiente y se elige idealmente para permitir una alta transmisión de energía solar incidente.
- Los sistemas solares térmicos (ST) usan el calor recogido a partir de la energía solar para la producción de agua caliente, calefacción doméstica y más recientemente aire acondicionado. Los colectores térmicos están compuestos esencialmente por absorbedores (placas de metal negro o tubos de vacío) que se calientan por la luz solar y transfieren el calor recogido a un fluido en circulación (aire, agua u otro fluido). Los absorbentes se colocan frecuentemente en una caja aislada vidriada para crear un efecto invernadero y, en consecuencia, para maximizar el rendimiento de este sistema de calentamiento de agua caliente.
- Los colectores PVT son sistemas híbridos que combinan la generación de energía fotovoltaica con capacidades de calentamiento térmico en un solo módulo. Básicamente, estos módulos consisten en un laminado PV que funciona como absorbente de un colector térmico. El calor de las células PV se conduce a través del metal y se absorbe por el fluido de trabajo.
- Los paneles y colectores solares se instalan, generalmente, en la superficie del tejado, que generalmente se localiza por encima de la "línea de sombra" de los árboles y las estructuras adyacentes, ofreciendo acceso sin obstáculos a la energía solar disponible y, por lo tanto, una eficiencia máxima. Los dispositivos solares están montados en sistemas de bastidores que caben en un tejado típico, los paneles y los colectores solares a menudo pueden asimilarse a una caja rectangular plano con cubierta transparente que se orienta hacia el sol.
- Dado que la integración arquitectónica de los sistemas de energía solar en los edificios se ha convertido en un problema ampliamente reconocido [3-6], se han realizado muchos esfuerzos para mejorar el aspecto visual de los dispositivos solares y desarrollar nuevos productos integrados en edificios. Hoy en día, están disponibles comercialmente pocos sistemas BIPV (fotovoltaicos integrados en edificios) donde el sistema fotovoltaico se convierte esencialmente en una parte integral de la cubierta del edificio. Por ejemplo, en el mercado pueden encontrarse tejas solares donde las células fotovoltaicas se montan en tejas de techumbre tradicionales de pizarra. También están disponibles nuevos BIPV de techumbre solar, pero también los módulos BIPVT (PV térmicos integrados en edificios), que reemplazan varias tejas de hormigón estándar (en lugar de encajarse sobre tejas de techumbre regulares) y compatible con la mayoría de las formas y tamaños de tejas de tejado usadas en nuevas construcciones residenciales. Los sistemas BIST (térmicos solares integrados en edificios) se han estudiado en menor medida y generalmente se han desarrollado para la integración de fachadas.
- A pesar de estas mejoras, la integración arquitectónica de los sistemas solares en los edificios podría mejorarse aún más. Por supuesto, la mayoría de los módulos y colectores solares todavía usan un vidriado o texturizado estándar. El aspecto oscuro resultante unido a la imposibilidad de ocultar por completo las partes técnicas de los colectores (láminas metálicas absorbentes, tubos...) o módulos (células, contactos...) todavía limita la integración arquitectónica. Hace unos años, una encuesta de opinión mostró que el 85% de los arquitectos están interesados en colectores más atractivos, incluso si una menor eficiencia era el precio a pagar [7].
- Una opción para superar este inconveniente es aplicar una película delgada interferencial coloreada en el lado interior del vidriado del colector. El recubrimiento refleja un color, ocultando de este modo la parte técnica del sistema, pero transmite el espectro complementario (véase la figura 1).
- Preferiblemente, pero no exclusivamente, las pilas de interferencia multicapa de materiales transparentes obtenidas alternando capas de índices de refracción altos y bajos, son ideales para este fin.
- Una multicapa óptica de películas delgadas plano-paralelas en un sustrato puede considerarse como un medio estratificado. La propagación de ondas electromagnéticas en medios estratificados se ha analizado por Born y Wolf [8]. El campo de la óptica de películas delgadas se ha revisado por diversos autores, p. ej., Heavens [9], Holland [10], Anders [11], Knittl [12] y Macleod [13]. Debido a las múltiples reflexiones entre las diferentes interfaces, el problema del comportamiento óptico de una pila de película delgada multicapa no es trivial. Puede tratarse, sin embargo, mediante el método de matrices características, que define una matriz por capa individual. A partir de este producto de matriz, pueden calcularse los espectros de transmisión y reflectancia. Los cálculos extensos generalmente los realiza un ordenador con un software diseñado tal como TFCalc. Las descripciones completas del método pueden encontrarse en las referencias [14-17].
- El documento US2011268941 A1 describe un proceso para fabricar al menos un sustrato, sustratos de vidrio especialmente transparentes, cada uno provisto de una multicapa de película delgada que comprende una alternancia de "n" capas funcionales metálicas, especialmente de capas funcionales a base de plata o de una aleación metálica que contiene plata, y de "(n + 1)" recubrimientos antirreflectantes, siendo n un entero  $\geq 3$ , comprendiendo cada

recubrimiento antirreflectante al menos una capa antirreflectante, de tal manera que cada capa funcional se coloque entre dos recubrimientos antirreflectantes, depositándose dicha multicapa de película delgada mediante una técnica de vacío, siendo dicha multicapa de tal manera que los grosores de al menos dos capas funcionales son diferentes y los grosores de las capas funcionales tienen una simetría dentro de la multicapa con respecto al centro de la multicapa.

- 5 El documento WO2004079278 A1 describe un vidriado diseñado para reflejar una banda espectral estrecha de luz visible mientras que es transparente para el resto del espectro solar. El vidriado es particularmente, pero no exclusivamente, apto para colectores solares.

El documento EP0983972 A2 describe un vidrio de control solar que tiene una transmisión de luz visible aceptable, absorbe luz de longitud de onda infrarroja cercana (NIR) y refleja luz infrarroja de rango medio (IR medio de baja emisividad), se proporciona junto con un color preseleccionado dentro del espectro de luz visible para la luz reflejada. También se describe un método para producir vidrio controlado por energía solar recubierto y mejorado. El vidrio mejorado tiene una capa absorbente de energía solar (NIR) que comprende óxido de estaño que tiene un dopante tal como el antimonio y una capa de control de baja emisividad (baja emisividad) capaz de reflejar la luz infrarroja de rango medio y que comprende óxido de estaño que tiene un dopante de flúor y/o fósforo. Por lo general, no se necesita una capa supresora de color de iridiscencia separada para lograr una apariencia neutra (sin color) para el vidrio recubierto, sin embargo, puede combinarse una capa supresora de iridiscencia u otras capas con el ensamblaje de dos capas. Si se desea, pueden usarse múltiples capas de control solar y/o múltiples capas de baja emisividad. La capa NIR y la capa de baja emisividad pueden ser partes separadas de una sola película de óxido de estaño ya que ambas capas están compuestas de óxido de estaño dopado. También se describe un método para producir el vidrio de control solar recubierto.

El documento EP1176434 A1 describe un sustrato provisto de películas antirreflectantes para la luz incidente en un ángulo oblicuo desde el lado de la cara de la película, que tiene una alta transmitancia y con el que el tono de color de reflexión no tiende a ser azulado, que comprende un sustrato transparente y al menos dos capas de película antirreflectante depositadas en un lado del sustrato transparente.

- 25 El uso de filtros de interferencia en el vidriado de colectores térmicos ha sido el objeto de una solicitud PCT en 2004 [18]. Sin embargo, los diseños multicapa obtenidos tenían dos inconvenientes importantes:

- Como ya se ha mencionado en [18], estas capas tenían una fuerte dependencia angular del color, es decir, un fuerte cambio de color al aumentar el ángulo de reflexión  $\theta_r$ . Como se presenta para los Ejemplos 1, 2, 3 y 4 (véanse las figuras 2, 3, 4, 5 y las Tablas 1, 2, 3, 4 y 5), los diseños de color amarillento a naranja rojizo desarrollados en 2004 se caracterizan por  $\Delta E_{\text{Norm}}^* > 25$  para un ángulo de reflexión  $\theta_r = 60^\circ$ .
- El color desarrollado con mayor estabilidad angular (azul) no era adecuado para los sistemas solares instalados principalmente en tejados de color predominantemente gris o naranja.

La innovación presentada en este caso se relaciona con el recubrimiento interferencial multicapa coloreado que coincide con el color de la mayoría de las tejas usadas en edificios residenciales, promoviendo de este modo la integración arquitectónica de los sistemas solares. Como los filtros grises son fáciles de producir, se ha dado especial atención al desarrollo de recubrimientos coloreados de naranja que son el objeto de la presente invención.

Estos recubrimientos se caracterizan por:

- Un reflejo visible coloreado de naranja amarillento a naranja rojizo lo suficientemente intenso como para enmascarar la parte técnica de los módulos y colectores
- Una buena estabilidad del color con diferentes ángulos de visión
- Una alta transmitancia solar para garantizar una buena eficiencia de los sistemas solares

Esos objetivos se consiguen con el vidriado según la presente innovación que, preferiblemente, pero no exclusivamente, comprende la deposición de pilas de interferencia multicapa de materiales transparentes no absorbentes tales como  $\text{ZnO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ ... Esos recubrimientos pueden depositarse mediante diversas técnicas (p. ej., pulverización catódica con magnetron, evaporación, sol-gel...) en el lado interior del vidriado que consiste, p. ej., en vidrio extrablanco (muy bajo contenido en hierro) o material orgánico tal como Tedlar.

### Descripción general de la invención

Los problemas mencionados en el capítulo anterior se han resuelto con la presente invención que se refiere a una unidad de vidriado solar como se define en la reivindicación 1.

- 50 En el presente texto, la estabilidad de color CIE  $\Delta E_{\text{Norm}}^*$  se refiere a la diferencia en las coordenadas de color en un ángulo de observación fuera de lo normal  $\theta_r$  ( $\theta_r > 10^\circ$ ) con respecto al ángulo de observación casi normal ( $\theta_r \leq 10^\circ$ ).

El comportamiento óptico de las pilas de películas delgadas multicapa se describe mediante fórmulas bien conocidas pero complicadas. Cada capa individual está representada por una matriz de  $2 \times 2$ , la pila multicapa por su producto

matriz. Deben tenerse en cuenta los múltiples reflejos de la parte trasera y delantera del vidrio. Debido a la complejidad de las ecuaciones, las simulaciones numéricas se realizan generalmente con la ayuda de un ordenador. El software que realiza estos cálculos ya está disponible comercialmente. Una herramienta profesional para el diseño de filtros de interferencia es TFCalc, que también incluye las características de refinar un diseño existente e incluso una búsqueda global de diseños óptimos.

Los dos modelos usados para las simulaciones, dependiendo del sistema solar considerado, se presentan en la figura 6. En cuanto a los sistemas ST, PVT y pasivos, el medio de salida usado para las simulaciones es el aire, mientras que para los sistemas PV es un polímero. En ambos casos, el sustrato a recubrir es preferiblemente, pero no exclusivamente, vidrio. El vidriado solar casi no contiene hierro, lo que garantiza una baja absorción en el vidrio a granel. Los índices de refracción típicos muestran una dispersión normal en el intervalo de  $1,51 < n < 1,58$  (a 500 nm:  $n = 1,52$  para BK7,  $n = 1,54$  para AF45). Para las simulaciones se considera un vidrio extrablancos (casi libre de hierro) de 4 mm de espesor.

Para la presente invención, la elección de los materiales constituyentes del recubrimiento debe ser realista y, en consecuencia, los índices de refracción considerados deben estar dentro de un cierto intervalo, dado que en la mayoría de los casos los índices de refracción dependen en gran medida de las condiciones de depósito.

Debido a las restricciones de que no deben producirse absorciones, se prefiere el uso de películas delgadas formadas por materiales transparentes como p. ej. ZnO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgF<sub>2</sub> o CaF<sub>2</sub>. Algunos materiales de película delgada de uso común, tomados en consideración en el contexto de la invención se enumeran en la Tabla 6. Por supuesto, muchos más materiales están disponibles, especialmente si se tienen en cuenta materiales compuestos que permitan alcanzar índices de refracción intermedios (p. ej., óxido de titanio y silicio obtenido mezclando SiO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> [19]).

Adicionalmente, el número máximo de capas individuales que forman la pila multicapa en la presente invención está limitado a un número de 9. De hecho, en contraste con aplicaciones tales como filtros de interferencia láser, las aplicaciones solares suelen emplear grandes superficies a recubrir a bajo precio. El número de capas individuales que forman la pila multicapa está entonces limitado por los costes de producción.

En cuanto a la colorimetría, la Commission Internationale d'Eclairage (CIE) describe los iluminantes estándar (como A, B, C, D65, E). Para la determinación de las coordenadas de color de una superficie iluminada, se usa el iluminante estándar D65, que corresponde a una iluminación diurna teniendo en cuenta la radiación difusa del cielo.

Para la invención, las coordenadas de color de destino (x,y) se localizan en el área representada en la figura 7 en el espacio de color CIE 1931 xy y pueden oscilar entre naranja amarillento y naranja rojizo, donde  $0,4 - 0,33 \cdot x \leq y \leq 1,25 \cdot x$ .

La reflectancia visible o la reflectancia de la luz del día del vidriado viene dada por  $R_{vis}$  que es el porcentaje de luz que incide en el vidriado que se refleja de vuelta. Indica en qué medida el vidriado parece un espejo y, por lo tanto, proporciona información sobre la capacidad del vidriado para enmascarar la parte técnica de los módulos y colectores. Sin embargo, este valor tiene que ser lo suficientemente bajo como para permitir una buena transmitancia solar y por lo tanto se ha limitado al 15% en el contexto de la invención.

En cuanto a la estabilidad del color, se ha demostrado que el espacio de color CIE 1931 xy no es adecuado para comparar diferencias de color (20) y que el uso del espacio de color CIE 1976 Lab es más adecuado. Entonces las diferencias de color  $\Delta E^*$  entre dos ángulos diferentes se calcula simplemente como la distancia euclidiana entre dos puntos de color cuyas coordenadas de color son respectivamente  $(a_1^* b_1^* L_1^*)$  y  $(a_2^* b_2^* L_2^*)$  en el espacio de color CIE 1976 Lab.

Esta diferencia se calcula como:

$$\Delta E^* = \sqrt{(a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2 + (L_2^* - L_1^*)^2} \quad (1)$$

Cambios de luminancia con el ángulo de visión: El valor  $L^*$  aumenta con el ángulo de observación, lo que significa que el color se desvanece. Entonces, con el fin de centrarnos únicamente en el color, la luminancia no se tiene en cuenta para el cálculo de  $\Delta E^*$  y la ecuación (1) se simplifica de la siguiente manera:

$$\Delta E^* = \sqrt{(a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (2)$$

El ojo humano solo es capaz de detectar diferencias de color en un cierto umbral. la mínima

diferencia de color detectable  $\Delta E_{min}^*$  se da para ser de aproximadamente 2,3. Desde un punto de vista práctico, a la mayoría de las personas les resulta difícil discernir un  $\Delta E^*$  de 3 o menos, y un  $\Delta E^*$  de 5 es bastante sutil [21]. Sin embargo, las variaciones de color presentadas en la invención para diferentes ángulos de reflexión  $\theta$ , con respecto a un ángulo normal, señalado  $\Delta E_{Norm}^*$ , pueden considerarse despreciables para ángulos inferiores a 60°. Por supuesto, los  $\Delta E_{Norm}^*$  valores son generalmente inferiores a 10 y pueden ser tan bajos como 5,2 para un ángulo de 60° para los diseños de recubrimiento presentados en este caso.

Para el cálculo de la absorbancia solar de los colectores solares térmicos, se usa convencionalmente el espectro solar en la masa de aire 1.5 (AM1.5). Para el cálculo de la transmitancia solar  $T_{sol}$  de los vidrios de cubierta coloreados, también se adapta el uso del espectro AM1.5. Para la invención, debe alcanzarse una transmitancia solar máxima con el fin de garantizar una buena eficiencia de los sistemas solares. Estos rendimientos se han evaluado calculando las pérdidas de eficiencia en comparación con un vidrio sin recubrimiento extrablancos de 4 mm de espesor. En cuanto a los sistemas pasivos y ST, la información puede accederse directamente mediante la comparación de  $T_{sol}$  tanto de los vidrios de cubierta recubiertos como no recubiertos y la pérdida de eficacia debida a la presencia del recubrimiento  $L_{ST}$  se calcula fácilmente.

Para los módulos PV, el proceso es un poco más complicado. En este caso  $T_{sol}$  debe ponderarse por la relación EQE de eficiencia cuántica externa que se relaciona con la respuesta de una célula solar a las diversas longitudes de onda en el espectro de luz que brilla sobre la célula. Como la EQE depende de la naturaleza de las células PV usadas, las pérdidas de eficiencia se han calculado para el silicio monocristalino, silicio microcristalino, silicio amorfo, las células GIGS y CdTe están diseñadas respectivamente por  $L_{Si}$ ,  $L_{mcSi}$ ,  $L_{aSi}$ ,  $L_{GIGS}$  y  $L_{CdTe}$ .

Las curvas EQE usadas para el cálculo se extraen de las refs. [22, 23] y corresponden a células solares PV disponibles comercialmente, de la siguiente manera:

- SunPower (eficiencia bajo el espectro AM1.5 global de  $24,2 \pm 0,7\%$ ) para células de silicio monocristalino,
- Schott Solar (eficiencia bajo el espectro AM1.5 global de  $17,55 \pm 0,5\%$ ) para células de silicio microcristalino,
- Oerlikon Solar (eficiencia bajo el espectro AM1.5 global de  $10,01 \pm 0,3\%$ ) para células de silicio amorfo,
- NREL (eficiencia bajo el espectro AM1.5 global de  $19,6 \pm 0,6\%$ ) para células GIGS,
- ASP Hangzhou (eficiencia bajo el espectro AM1.5 global de  $12,5 \pm 0,4\%$ ) para células de CdTe.

Los resultados de numerosas simulaciones han demostrado que solo un número limitado de diseños permite obtener una buena estabilidad del color con un ángulo de visión creciente. Todos estos diseños se caracterizan por una forma particular de la curva de reflectancia. La combinación de un pico de reflectancia situado a una longitud de onda de  $\lambda_P$  y un saliente situado a una longitud de onda de  $\lambda_S < \lambda_P$  es la clave de la estabilidad del color (véase la figura 8).

En una incidencia normal, el saliente presente en  $\lambda_S$  (aprox. 580 nm) es responsable del color naranja mientras que la influencia del pico de reflectancia en  $\lambda_P$  en el color del vidriado es insignificante. De hecho,  $\lambda_P$  está situado en la región espectral que es invisible para el ojo humano. Esto se ilustra en la figura 8, donde el área gris, delimitada por la función de eficiencia luminosa fotópica, corresponde a la parte visible del espectro solar para el ojo humano.

Al aumentar el ángulo de observación, la mayoría de las características en el espectro se desplazan a longitudes de onda más pequeñas (véase la figura 9). Entonces el pico en  $\lambda_P$  se desplaza al rango visible, compensando de este modo la pérdida de color naranja inducida por el movimiento del saliente hacia la izquierda del espectro.

Con respecto a esa forma particular de la curva de reflectancia, las coordenadas de color resultantes típicas son estables para ángulos de visión de hasta  $60^\circ$  (véase la figura 10).

Los índices de refracción de los materiales,  $n_L$  y  $n_H$  así como el número y el grosor de las capas individuales que forman la pila multicapa se eligen de manera que los desplazamientos de fase se compensan con el ángulo variable.

Se identifica una familia de diseños preferidos y se caracteriza de la siguiente manera:

- La relación de índices de refracción bajos y altos  $n_P/n_H$  de los materiales elegidos está comprendida entre 0,75 y 0,95.
- El número de capas individuales está comprendido entre 5 y 9
- El grosor de las capas individuales es variable, dependiendo de las coordenadas de color objetivo, la naturaleza del medio de salida, el número de capas individuales y la naturaleza de los materiales elegidos. Por lo general, oscila entre unos pocos nanómetros y 250 nm. En la siguiente sección se proporcionan varios ejemplos.

Diseños de recubrimientos coloreados basados en estos criterios se proporcionan en los Ejemplos A, B, C, D, E y F (véanse las figuras 11 a 22 y las tablas 7 a 13).

## Referencias

[1] H.A. McLeod, Thin Film Optical Filters, American-Elsevier, Nueva York, 1969.

[2] International Commission on Illumination CIE, 1986. Colorimetry. Publicación CIE 15.2., 2ª ed., ISBN 3-900-734-00-3, Viena

[3] A. G. Hestnes, Sol. Energy 67, Publicaciones 4 - 6 (1999) 181.

- [4] C. Roecker, P. Affolter, J. Bonvin, J. - B. Gay, A. N. Müller, Sol. Energy Mater. and Sol. Cells 36 (1995) 381.
- [5] I. B. Hagemann, Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle, Tesis doctoral aceptada en la Universidad Técnica de Aquisgrán, ISBN 3-481-01776-6, Müller, Colonia, 2002.
- [6] J. - L. Scartezzini, G. Courret, Sol. Energy 73 2 (2002) 123.
- 5 [7] W. Weiss, I. Stadler, Facade Integration - a new and promising opportunity for thermal solar collectors, Proceedings of the Industry Workshop of the IEA Solar Heating and Cooling Programme, Tarea 26 en Delft, Países bajos, 2 de abril de 2001.
- [8] M. Born, E. Wolf, Principles of Optics, séptima ed., Cambridge University Press, Cambridge, MA, 1999.
- [9] O.S. Heavens, Optical Properties of Thin Solid Films, Butterworths, Londres, 1955.
- 10 [10] L. Holland, Vacuum Deposition of Thin Films, Chapman & Hall, Londres, 1956.
- [11] H. Anders, Duünne Schichten für die Optik, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1965 (Traducción al inglés Thin films in Optics, Focal Press, 1967).
- [12] Z. Knittl, Optics of Thin Films, Wiley, Londres, 1976.
- [13] H.A. Macleod, Thin-Film Optical Filters, Institute of Physics Publishing, Bristol y Filadelfia, 1986, 2001.
- 15 [14] A. Schüler, C. Roecker, J. Boudaden, P. Oelhafen, J.-L. Scartezzini, Solar Energy 79, 122 (2005)
- [15] A. Schüler, J. Boudaden, P. Oelhafen, E. De Chambrier, C. Roecker, J.-L. Scartezzini, Solar Energy Materials & Solar Cells 89, 219 (2005)
- [16] J. Boudaden, R.S. C. Ho, P. Oelhafen, A. Schüler, C. Roecker, J.-L. Scartezzini, Solar Energy Materials & Solar Cells 84, 225 (2004)
- 20 [17] A. Schüler, C. Roecker, J.-L. Scartezzini, J. Boudaden, I.R Videnovic, R.S. C. Ho, P. Oelhafen, Solar Energy Materials & Solar Cells 84, 241 (2004)
- [18] A. Schüler, PCT, número de publicación internacional WO 3004/079278 A1, 16.09.2004.
- [19] A. Schüler, D. Deepanshu, E. De Chambrier, C. Roecker, G. De Temmerman, P. Oelhafen, J.-L. Scartezzini, Solar Energy Materials & Solar Cells, núm. 90 (2006)
- 25 [20] D.L. MacAdam, J. Opt. Soc. Am., 32 (1942)
- [21] The Journal of Architectural Coatings, Technology Publishing, 02-03 (2006)
- [22] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, Prog. Photovolt: Res. Appl. 18 (2010)
- [23] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, Prog. Photovolt: Res. Appl. 19 (2011)

### Ejemplos de diseños de recubrimiento

#### 30 Ejemplo 1

Aire//vidrio de 4 mm de espesor //88 nm H /224 nm L // aire

Los materiales H y L están incluidos, suponiendo los índices de refracción enumerados en la tabla 1.

#### Ejemplo 2

Aire//vidrio de 4 mm de espesor // 104 nm H / 37 nm L / 103 nm H / 231 nm L//aire

35 Los materiales H y L están incluidos, suponiendo los índices de refracción enumerados en la tabla 1.

#### Ejemplo 3

Aire//vidrio de 4 mm de espesor // 83 nm H / 93 nm L / 83 nm H / 93 nm L / 83 nm H // aire

Los materiales H y L están incluidos, suponiendo los siguientes índices de refracción:  $n_H = 1,65$  y  $n_L = 1,47$ .

#### Ejemplo 4

40 Aire//30 nm H /136 nm L /222 nm H //vidrio de 4 mm de espesor //222 nm H /136 nm L /30 nm H //aire



Los materiales H y L están incluidos, suponiendo los siguientes índices de refracción:  $n_H = 1,8$  y  $n_L = 1,47$ .

Ejemplo A

Aire//vidrio de 4 mm de espesor //88 nm H /89 nm L/90 nm H /89 nm L/119 nm H //polímero

Los materiales H y L están incluidos, suponiendo los siguientes índices de refracción:  $n_H = 2,0$  y  $n_L = 1,65$ .

5 Ejemplo B

Aire//vidrio de 4 mm de espesor //119 nm H /123 nm L/95 nm H /89 nm L/88 nm H /86 nm L /99 nm //polímero

Los materiales H y L están incluidos, suponiendo los siguientes índices de refracción:  $n_H = 2,0$  y  $n_L = 1,65$ .

Ejemplo C

Aire//vidrio 4mm//115 nm H/116 nm L/ 116 nm H /89 nm L/95 nm H/ 96 nm L/82 nm H/87 nm L/103 nm H //polímero

10 Los materiales H y L están incluidos, suponiendo los siguientes índices de refracción:  $n_H = 1,8$  y  $n_L = 1,65$ .

Ejemplo D

Aire //vidrio de 4 mm de espesor // 115 nm H/135 nm L/122 nm H/107 nm L/102 nm H/98 nm L/95 nm H /97 nm L/107 nm H //polímero

Los materiales H y L están incluidos, suponiendo los siguientes índices de refracción:  $n_H = 2,2$  y  $n_L = 1,47$ .

15 Ejemplo E

Aire //vidrio de 4 mm de espesor // 123 nm H/120 nm L/109 nm H/122 nm L/79 nm H/79 nm L/120 nm H //aire

Los materiales H y L están incluidos, suponiendo los siguientes índices de refracción:  $n_H = 2,2$  y  $n_L = 1,47$ .

Ejemplo F

Aire //vidrio de 4 mm de espesor // 123 nm H /88 nm L/115 nm H/97 nm L/73 nm H /74 nm L/114 nm H //aire

20 Los materiales H y L están incluidos, suponiendo los siguientes índices de refracción:  $n_H = 1,8$  y  $n_L = 1,65$ .

### Lista de títulos de figuras

Figura 1:

25 Dibujo esquemático de un vidriado coloreado donde se aplica un recubrimiento interferencial multicapa coloreado en el lado interior. El recubrimiento refleja un color y, ya que no se produce absorción en el recubrimiento, transmite el espectro complementario.

Figura 2:

Dependencia angular de 1931 CIE (x, y) coordenadas de color bajo el iluminante CIE-D65 del diseño coloreado dado en el Ejemplo 1.

Figura 3:

30 Dependencia angular de 1931 CIE (x, y) coordenadas de color bajo el iluminante CIE-D65 del diseño coloreado dado en el Ejemplo 2.

Figura 4:

Dependencia angular de 1931 CIE (x, y) coordenadas de color bajo el iluminante CIE-D65 del diseño coloreado dado en el Ejemplo 3.

35 Figura 5:

Dependencia angular de 1931 CIE (x, y) coordenadas de color bajo el iluminante CIE-D65 del diseño coloreado dado en el Ejemplo 4.

Figura 6:

40 Modelos usados para las simulaciones, dependiendo del sistema solar considerado: (a) medio de salida aire para ST, PVT y sistemas pasivos, (b) medio de salida polímero para sistemas PV. Para ambos modelos, el medio incidente es vidrio casi libre de hierro.

Figura 7:

Diagrama de cromaticidad xy CIE 1931. El área gris define las coordenadas de color (x,y) objetivo en el contexto de la innovación.

Figura 8:

- 5 Curva de reflectancia típica, con un pico de reflectancia y un saliente respectivamente en  $\lambda_p$  y  $\lambda_s$ , necesarios para obtener una buena estabilidad de color del recubrimiento con un ángulo de reflexión creciente  $\theta_r$ . El área gris delimitada por la función de eficiencia luminosa fotópica normalizada C.I.E. 1988, representa la parte del espectro solar que es visible para el ojo humano.

Figura 9:

- 10 Curvas de reflectancia para diferentes ángulos de reflexión. Con ángulo creciente, la mayoría de las características en el espectro se desplazan a longitudes de onda más pequeñas.

Figura 10:

- 15 Variación típica de las coordenadas de color en el espacio de color xy CIE 1931 de los recubrimientos interferenciales multicapa presentados en el contexto de la invención. Se observa una buena estabilidad del color para ángulos de hasta 60°.

Figura 11:

Estabilidad angular de las coordenadas de color (x, y) CIE 1931 bajo el iluminante CIE-D65 del diseño coloreado dado en el Ejemplo A.

Figura 12:

- 20 Curvas de reflectancia del diseño de recubrimiento dado en el Ejemplo A para diversos ángulos de reflexión (de 0° a 60°).

Figura 13:

Estabilidad angular de las coordenadas de color (x, y) CIE 1931 bajo el iluminante CIE-D65 del diseño coloreado dado en el Ejemplo B.

- 25 Figura 14:

Curvas de reflectancia del diseño de recubrimiento dado en el Ejemplo B para diversos ángulos de reflexión (de 0° a 60°).

Figura 15:

- 30 Estabilidad angular de las coordenadas de color (x, y) CIE 1931 bajo el iluminante CIE-D65 del diseño coloreado dado en el Ejemplo C.

Figura 16:

Curvas de reflectancia del diseño de recubrimiento dado en el Ejemplo C para diversos ángulos de reflexión (de 0° a 60°).

Figura 17:

- 35 Estabilidad angular de las coordenadas de color (x, y) CIE 1931 bajo el iluminante CIE-D65 del diseño coloreado dado en el Ejemplo D.

Figura 18:

Curvas de reflectancia del diseño de recubrimiento dado en el Ejemplo D para diversos ángulos de reflexión (de 0° a 60°).

- 40 Figura 19:

Estabilidad angular de las coordenadas de color (x, y) CIE 1931 bajo el iluminante CIE-D65 del diseño coloreado dado en el Ejemplo E.

Figura 20:

Curvas de reflectancia del diseño de recubrimiento dado en el Ejemplo E para diversos ángulos de reflexión (de 0° a 60°).

Figura 21:

5 Estabilidad angular de las coordenadas de color (x, y) CIE 1931 bajo el iluminante CIE-D65 del diseño coloreado dado en el Ejemplo E.

Figura 22:

Curvas de reflectancia del diseño de recubrimiento dado en el ejemplo F para diversos ángulos de reflexión (de 0° a 60°).

## REIVINDICACIONES

1. Unidad de vidrioado solar, adecuada para módulos fotovoltaicos y colectores térmicos solares, que comprende un sustrato delimitado por dos caras principales y un filtro de interferencia multicapa también delimitado por dos caras principales, estando una cara principal de dicho sustrato adaptada para estar en contacto con un medio incidente, estando la otra cara principal en contacto con una de las caras principales de dicho filtro de interferencia, estando la otra cara principal de dicho filtro de interferencia adaptada para estar en contacto con un medio de salida; teniendo dicho medio incidente un índice de refracción  $n_{inc} = 1$ , teniendo dicho sustrato un índice de refracción  $n_{sustrato}$  definido de la siguiente manera:  $1,45 \leq n_{sustrato} \leq 1,6$  a 550 nm, y teniendo dicho medio de salida un índice de refracción  $n_{salida} = 1$  o definido de la siguiente manera  $1,45 \leq n_{salida} \leq 1,6$  a 550 nm; y
- 10 en donde el filtro de interferencia multicapa de dicha unidad incluye una pluralidad de capas alternas apiladas de alto índice de refracción  $n_H$  y bajo índice de refracción  $n_L$  configuradas para producir una estabilidad de color CIE  $\Delta E_{Norm}^*$ , como se observa bajo iluminación diurna CIE D65 en ángulos de reflexión más altos  $\theta_r$  correspondientes a  $\theta_r > 10^\circ$ , que es menos de 15 o  $\Delta E_{Norm}^* \leq (\theta_r / 3^\circ)$  para  $10^\circ < \theta_r \leq 60^\circ$ ;
- 15 en donde dicho filtro de interferencia multicapa comprende una o más capas de óxido metálico con una pequeña absorción expresada por un coeficiente de extinción ( $k$ )  $\leq 0,2$  para longitudes de onda  $\lambda$  con  $450 \text{ nm} \leq \lambda \leq 2500 \text{ nm}$ , y en donde dicho filtro de interferencia multicapa, compuesto por la pluralidad de capas alternas apiladas con los índices de refracción  $n_L$  y  $n_H$ , tiene una relación de los índices de refracción  $n_L/n_H$  de los materiales elegidos entre 0,75 y 0,95;
- 20 caracterizada por que la pluralidad de capas alternas apiladas de índices de refracción altos y bajos del filtro de interferencia multicapa está configurada además para producir un color visible de reflexión de la unidad de vidrioado solar, visible para el ojo humano desde la cara principal del sustrato adaptado para estar en contacto con el medio incidente y bajo iluminación diurna CIE D65 con un ángulo de reflexión casi normal  $\theta_r$  correspondiente a  $\theta_r \leq 10^\circ$ , caracterizada por las coordenadas x,y de color CIE definidas por la siguiente expresión  $0,4 - 0,33 * x \leq y \leq 1,25 * x$  correspondiente a la reflexión del color naranja amarillento a rojo violáceo,
- 25 y por que la pluralidad de capas alternas apiladas de índices de refracción altos y bajos del filtro de interferencia multicapa está configurada además para producir un espectro de reflectancia que comprende (i) un pico de reflectancia espectral ( $\lambda_P$ ) con un ángulo de reflexión de observación casi normal correspondiente a  $\theta_r \leq 10^\circ$  en un intervalo de longitudes de onda  $\geq 700 \text{ nm}$  y  $\leq 1600 \text{ nm}$  y que se desplaza a longitudes de onda inferiores al aumentar el ángulo de observación; y (ii) un saliente o un pico secundario ( $\lambda_S$ ) a una longitud de onda  $\geq 500 \text{ nm}$  y  $\leq 780 \text{ nm}$  y a una longitud de onda más corta que la del pico de reflectancia espectral ( $\lambda_P$ ) y en un intervalo de longitud de onda de dicho color
- 30 visible de reflexión de la unidad de vidrioado solar con un ángulo de reflexión casi normal correspondiente a  $\theta_r \leq 10^\circ$ .
2. Unidad de vidrioado solar según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el filtro de interferencia multicapa comprende pilas de interferencia multicapa de materiales transparentes no absorbentes configurados para proporcionar una transmitancia solar ( $T_{sol}$ ) más grande que al 76% con una incidencia casi normal.
3. Unidad de vidrioado solar según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho filtro de interferencia multicapa tiene un número de capas individuales comprendidas entre 5 y 9.
- 35 4. Unidad de vidrioado solar según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada capa de dicho filtro de interferencia multicapa tiene un espesor que es menor que 250 nm.
5. Unidad de vidrioado solar según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicho filtro de interferencia multicapa tiene 5 subcapas compuestas por un material de bajo índice de refracción (L) con  $1,5 \leq n_L \leq 1,8$  a 550 nm o un material de alto índice de refracción (H) con  $1,8 \leq n_H \leq 2,2$  a 550 nm depositado en el vidrio o el polímero con  $1,45 \leq n_{salida} \leq 1,6$  a 550 nm.
- 40 6. Unidad de vidrioado solar según la reivindicación 3, en donde el diseño general de la unidad es:  
medio incidente // sustrato //  $88 \pm 12 \text{ nm}$  de material de alto índice de refracción (H) /  $89 \pm 12 \text{ nm}$  de material de bajo índice de refracción (L) /  $90 \pm 12 \text{ nm}$  de material de alto índice de refracción (H) /  $89 \pm 12 \text{ nm}$  de material de bajo índice de refracción (L) /  $119 \pm 12 \text{ nm}$  de material de alto índice de refracción (H) // medio de salida polímero.
- 45 7. Unidad de vidrioado solar según la reivindicación 3, en donde el diseño general de la unidad es:  
medio incidente // sustrato //  $119 \pm 12 \text{ nm}$  de material de alto índice de refracción (H) /  $123 \pm 12 \text{ nm}$  de material de bajo índice de refracción (L) /  $95 \pm 12 \text{ nm}$  de material de alto índice de refracción (H) /  $89 \pm 5 \text{ nm}$  de material de bajo índice de refracción (L) /  $88 \pm 12 \text{ nm}$  de material de alto índice de refracción (H) /  $86 \pm 12 \text{ nm}$  de material de bajo índice de refracción (L) /  $99 \pm 12 \text{ nm}$  de material de alto índice de refracción (H) // medio de salida polímero.
- 50 8. Unidad de vidrioado solar según la reivindicación 3, en donde el diseño general de la unidad es:  
medio incidente // sustrato //  $115 \pm 12 \text{ nm}$  de material de alto índice de refracción (H) /  $116 \pm 12 \text{ nm}$  de material de bajo índice de refracción (L) /  $116 \pm 12 \text{ nm}$  de material de alto índice de refracción (H) /  $89 \pm 12 \text{ nm}$  de material de bajo índice de refracción (L) /  $95 \pm 12 \text{ nm}$  de material de alto índice de refracción (H) /  $96 \pm 12 \text{ nm}$  de material de bajo índice

de refracción (L) /  $82 \pm 12$  nm de material de alto índice de refracción (H) /  $87 \pm 12$  nm de material de bajo índice de refracción (L) /  $103 \pm 12$  nm de material de alto índice de refracción (H) // medio de salida polímero.

9. Unidad de vidriado solar según la reivindicación 3, en donde el diseño general de la unidad es:

- 5 medio incidente // sustrato //  $123 \pm 12$  nm de material de alto índice de refracción (H) /  $120 \pm 12$  nm de material de bajo índice de refracción (L) /  $109 \pm 12$  nm de material de alto índice de refracción (H) /  $122 \pm 12$  nm de material de bajo índice de refracción (L) /  $79 \pm 12$  nm de material de alto índice de refracción (H) /  $79 \pm 12$  nm de material de bajo índice de refracción (L) /  $120 \pm 12$  nm de material de alto índice de refracción (H) // medio de salida aire.

10. Unidad de vidriado solar según la reivindicación 3, en donde el diseño general de la unidad es:

- 10 medio incidente // sustrato //  $115 \pm 12$  nm de material de alto índice de refracción (H) /  $135 \pm 12$  nm de material de bajo índice de refracción (L) /  $122 \pm 12$  nm de material de alto índice de refracción (H) /  $107 \pm 12$  nm de material de bajo índice de refracción (L) /  $102 \pm 12$  nm de material de alto índice de refracción (H) /  $98 \pm 12$  nm de material de bajo índice de refracción (L) /  $95 \pm 12$  nm de material de alto índice de refracción (H) /  $97 \pm 12$  nm de material de bajo índice de refracción (L) /  $107 \pm 12$  nm de material de alto índice de refracción (H) // medio de salida aire.

11. Módulo PV que comprende un vidriado solar según cualquier reivindicación anterior.

- 15 12. Colector solar térmico que comprende un vidriado solar según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 10.

13. Tejado que comprende unos módulos PV según la reivindicación anterior 11.

14. Tejado que comprende unos colectores solares térmicos según la reivindicación anterior 12.

- 20 15. Tejado que comprende unos módulos PV y unos colectores solares térmicos según las reivindicaciones anteriores 11 y 12.

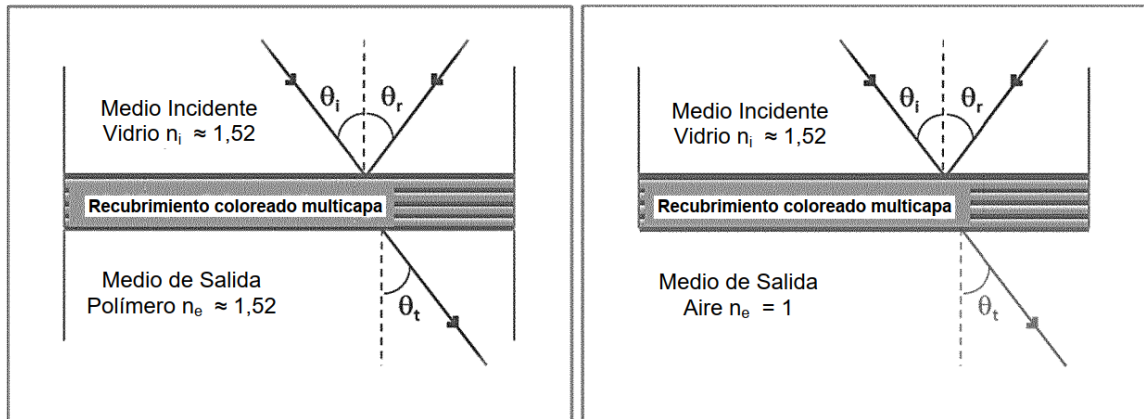


Fig. 0

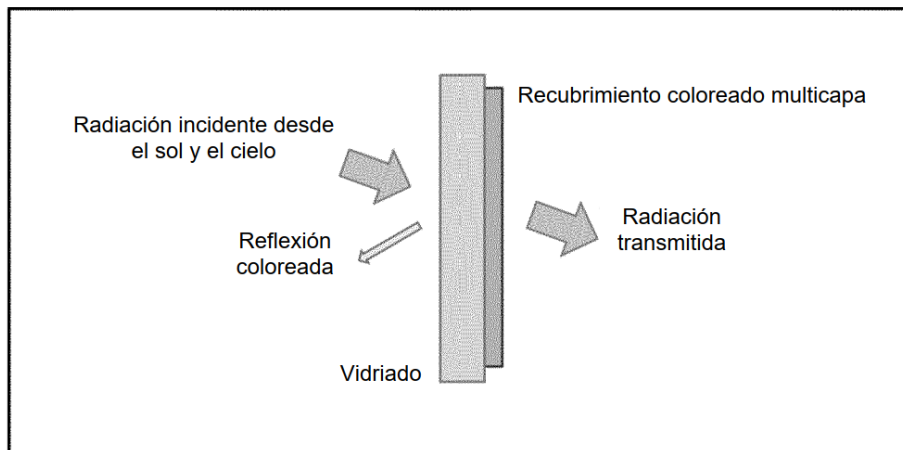


Fig. 1

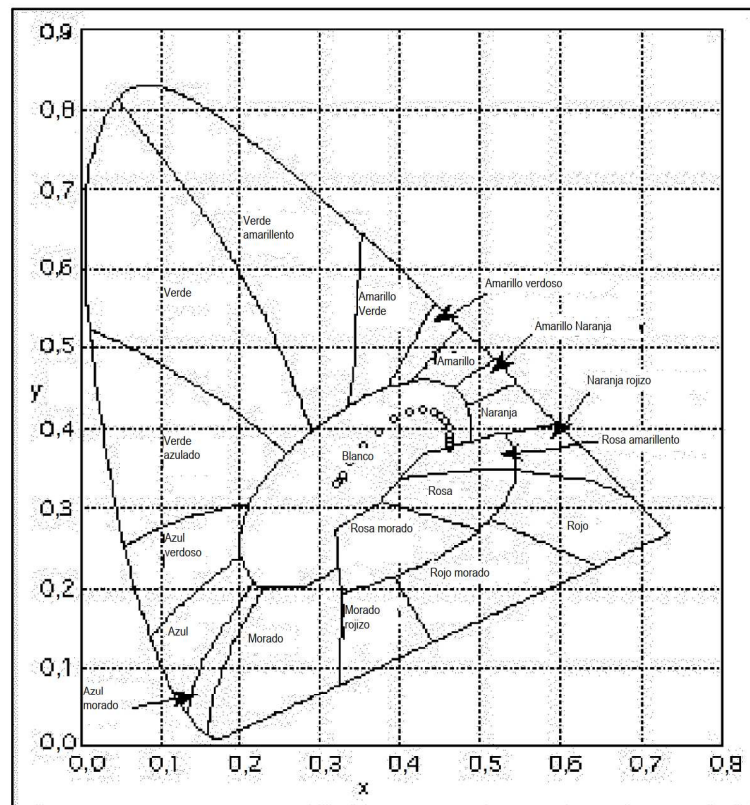


Fig. 2

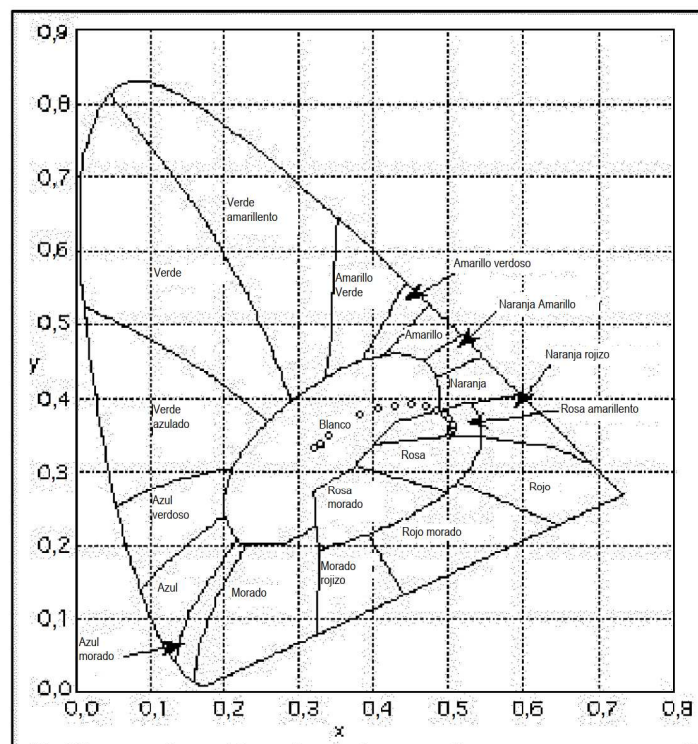


Fig. 3

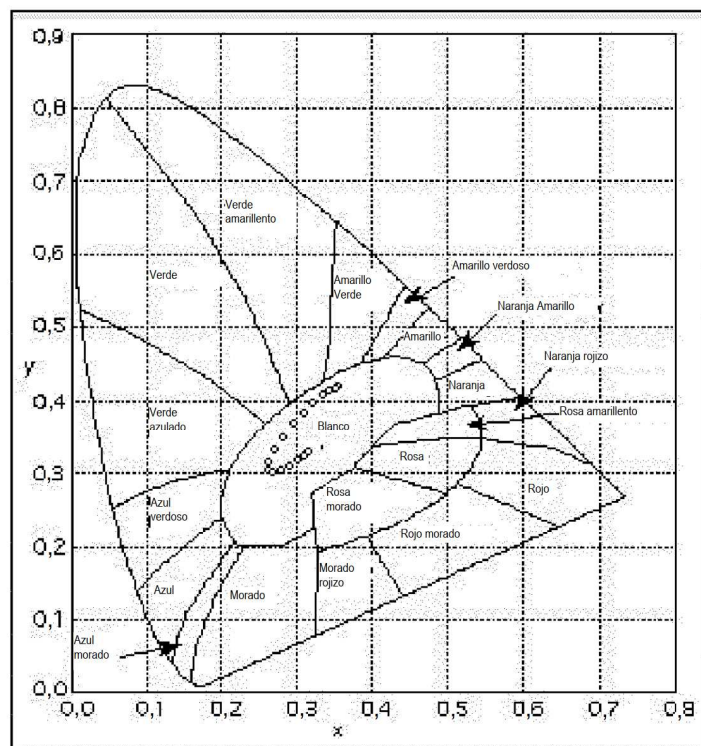


Fig. 4

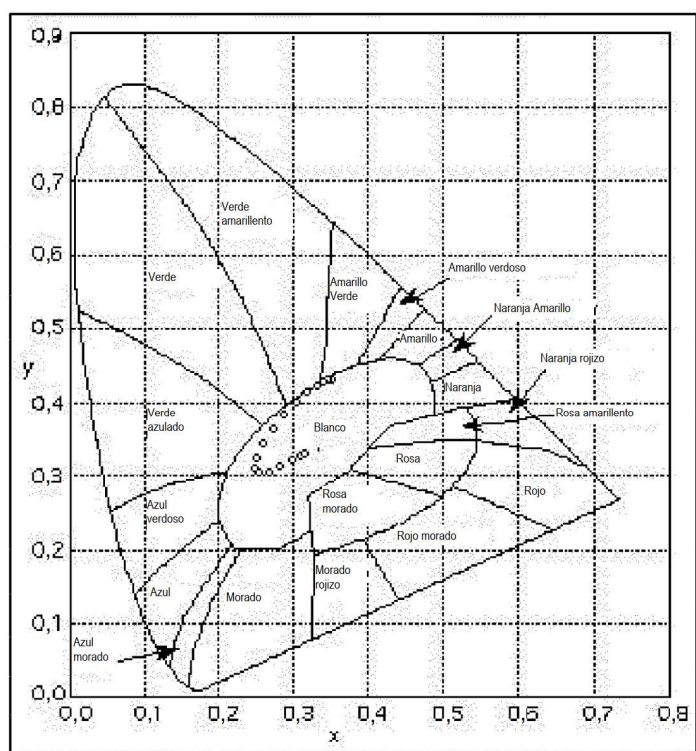


Fig. 5



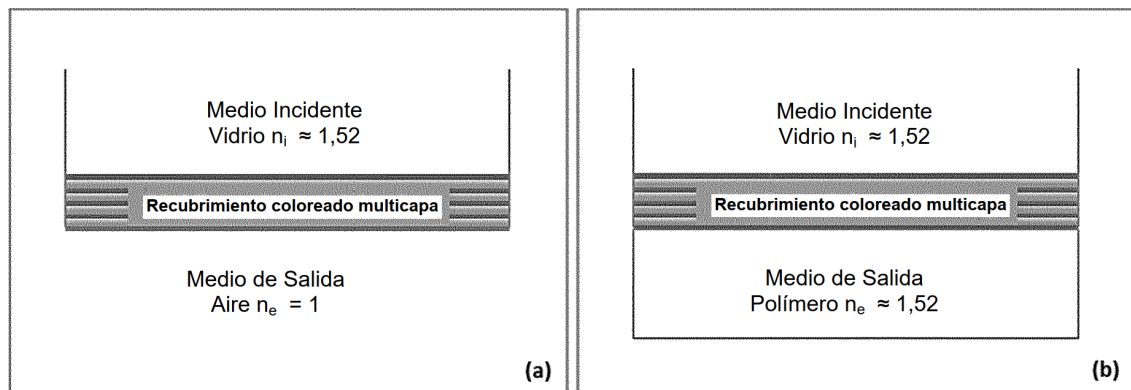


Fig. 6

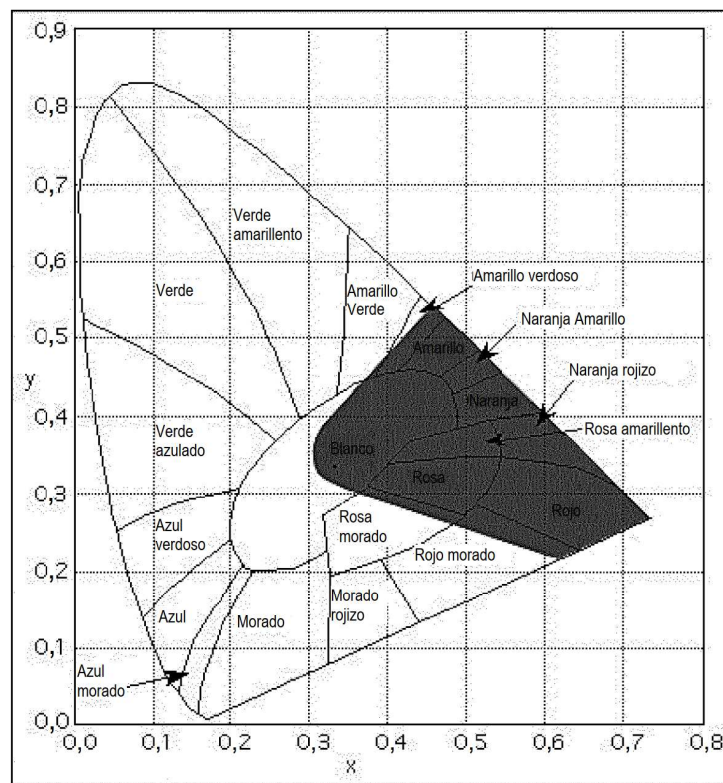


Fig. 7

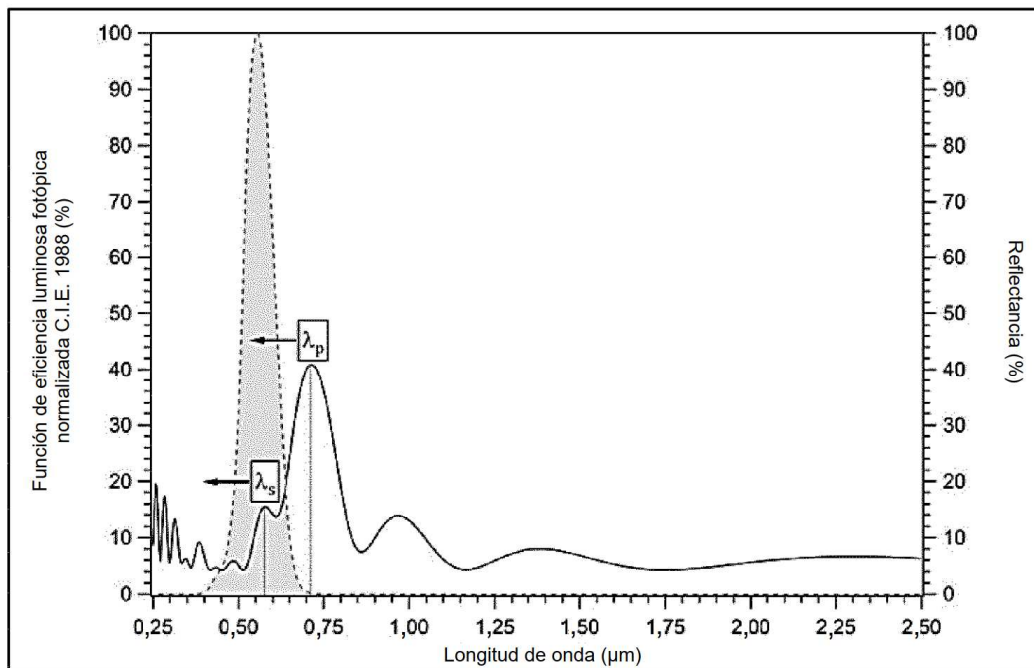


Fig. 8

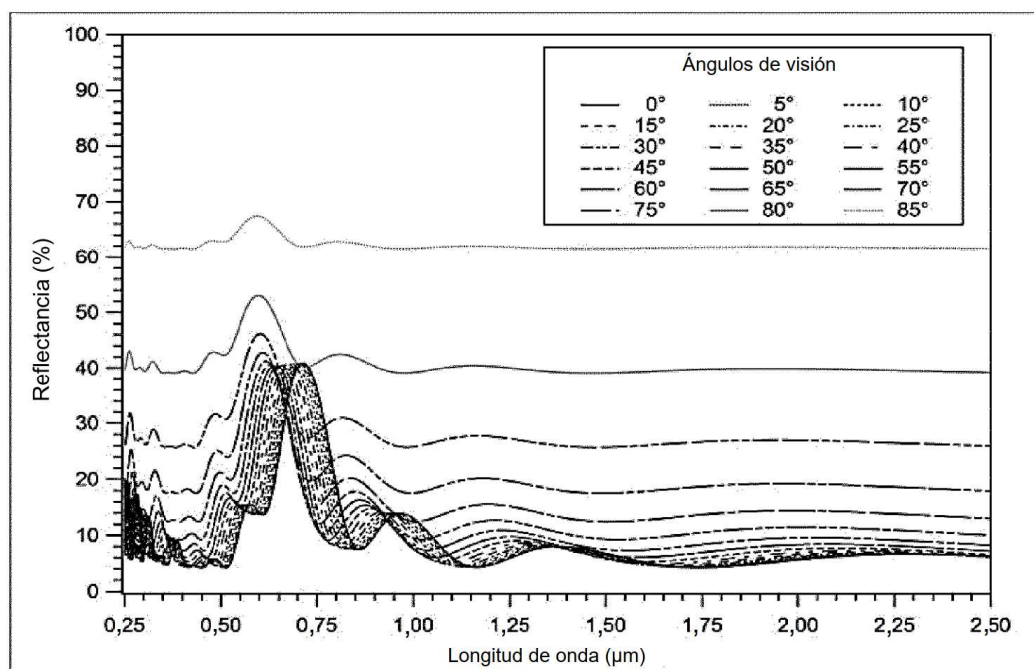


Fig. 9

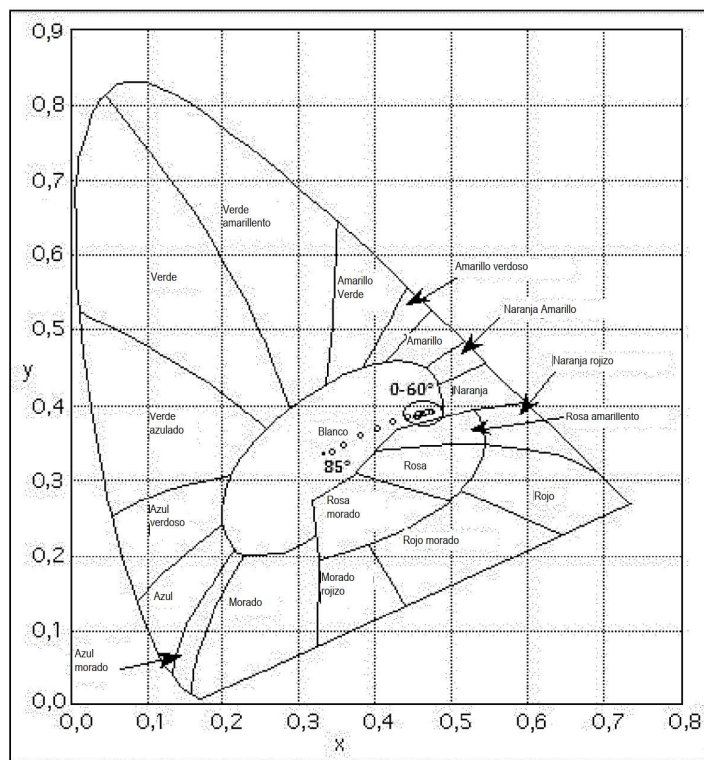


Fig. 10

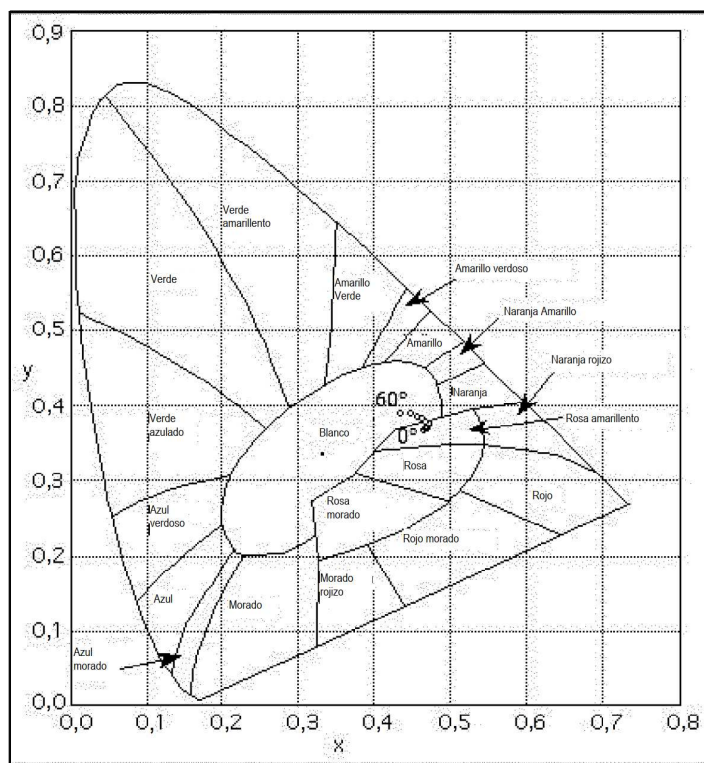


Fig. 11

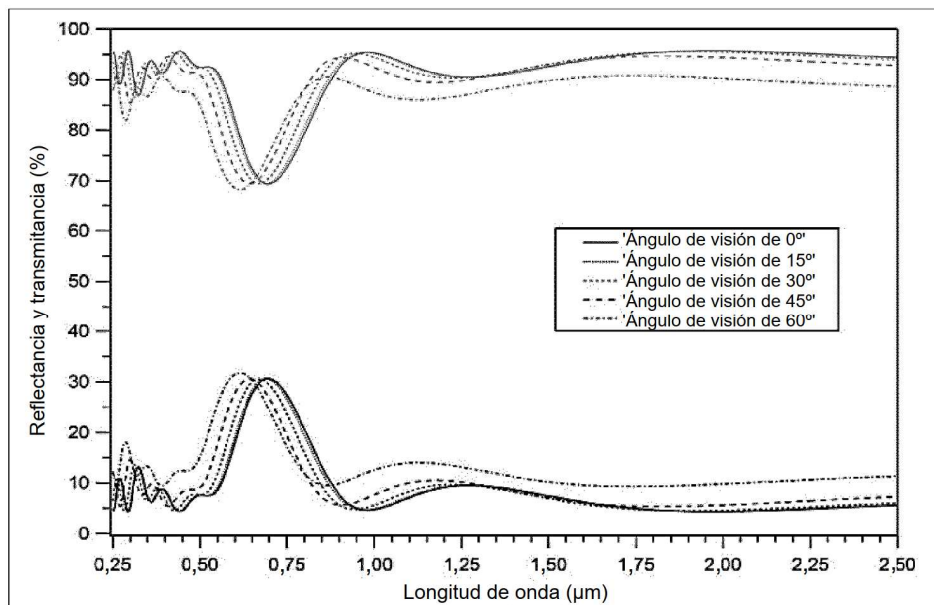


Fig. 12

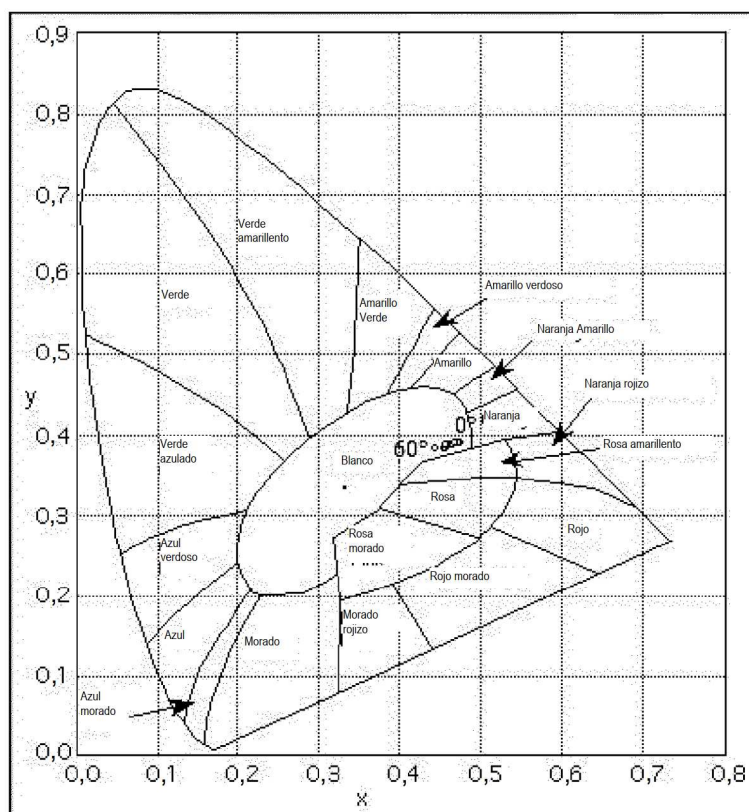


Fig. 13

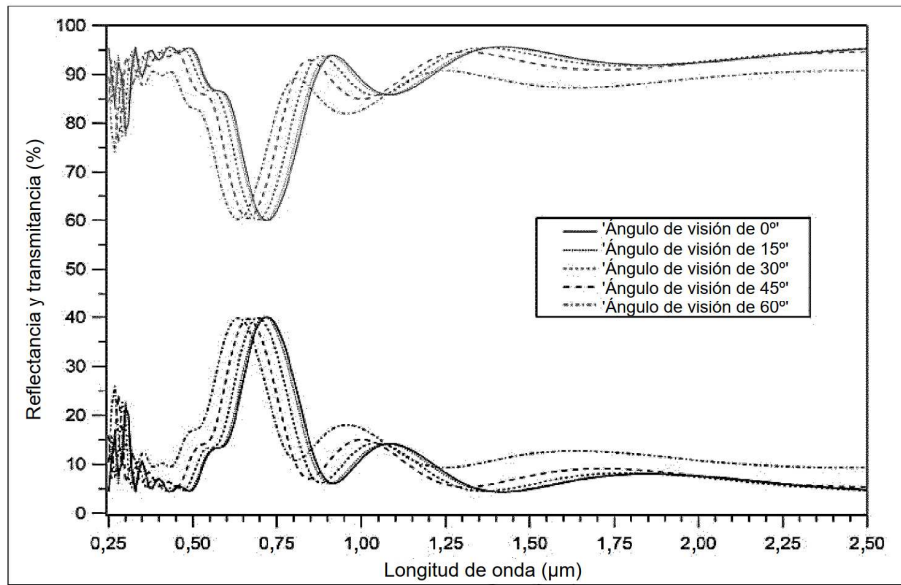


Fig. 14

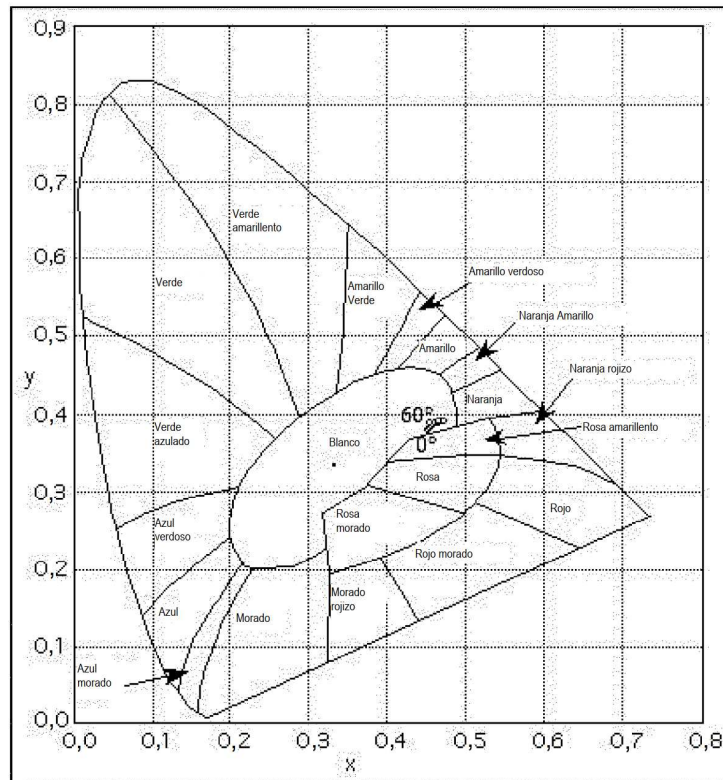


Fig. 15



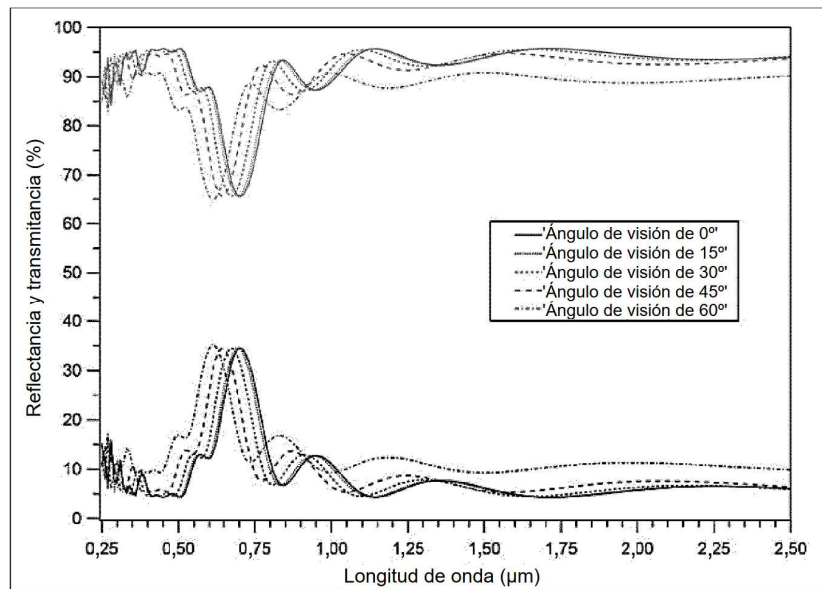


Fig. 16

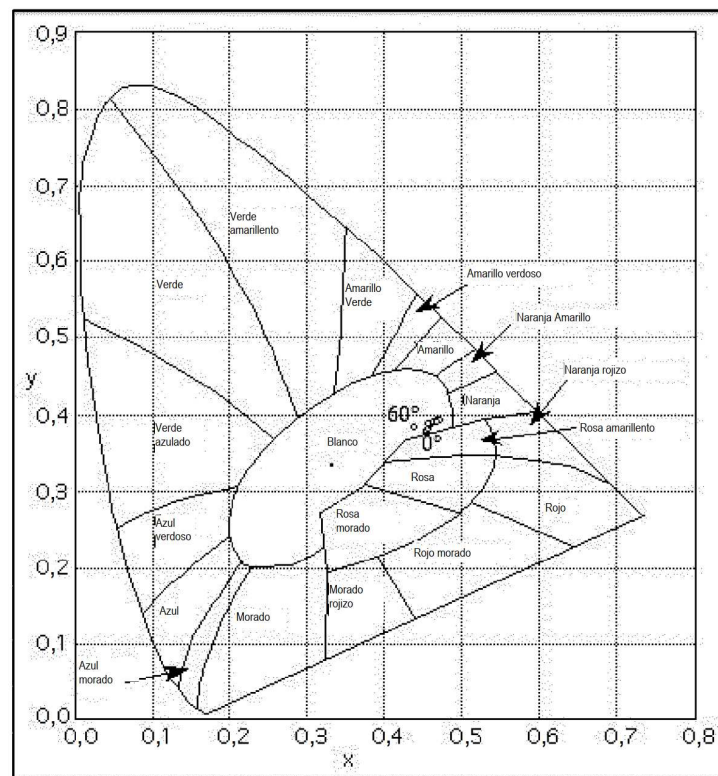


Fig. 17

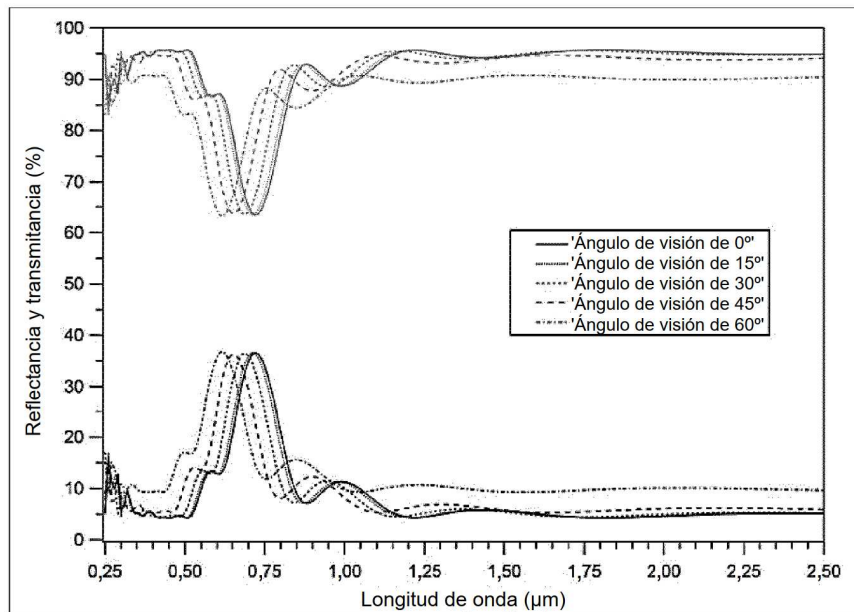


Fig. 18

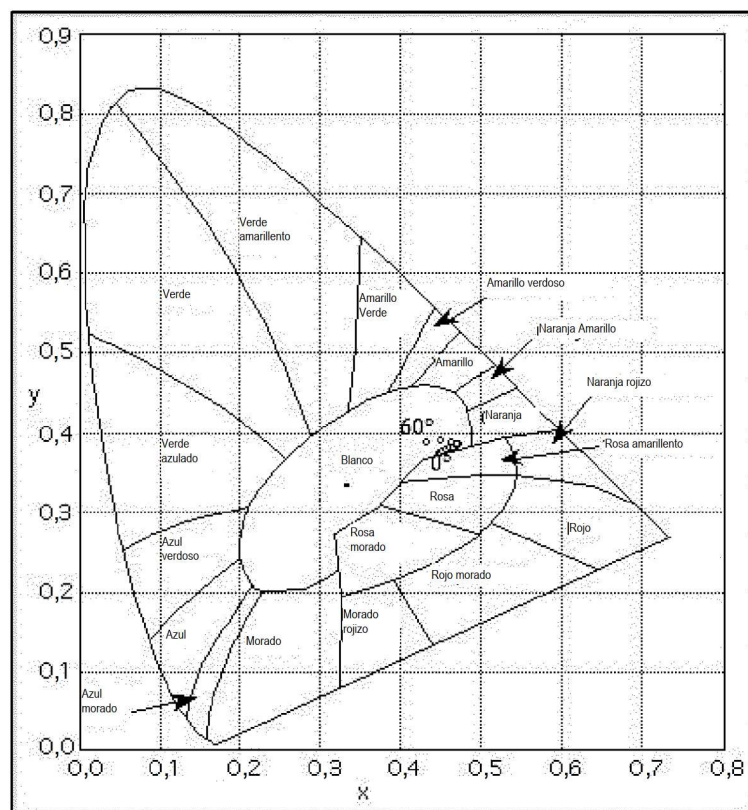


Fig. 19

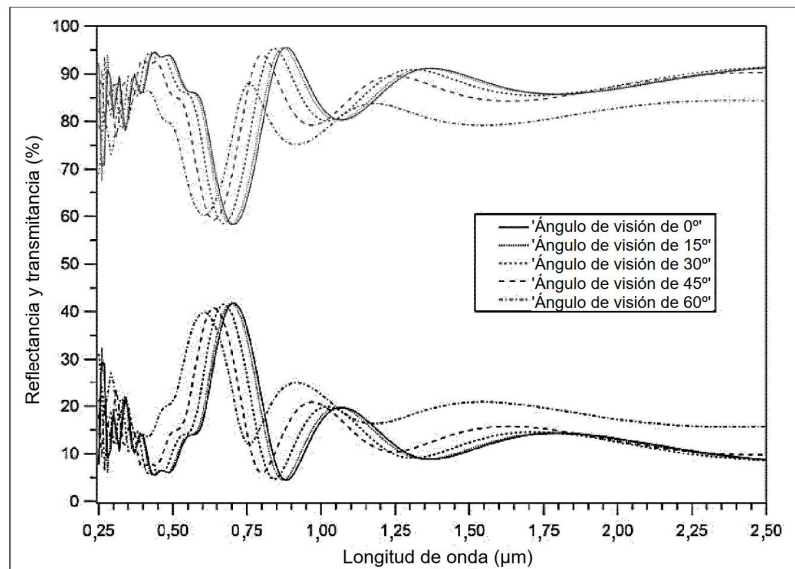


Fig. 20

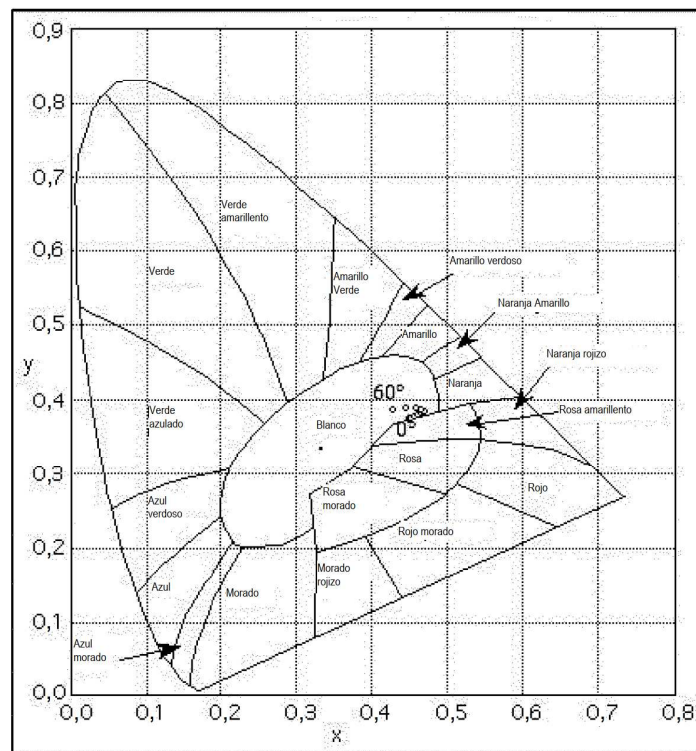


Fig. 21



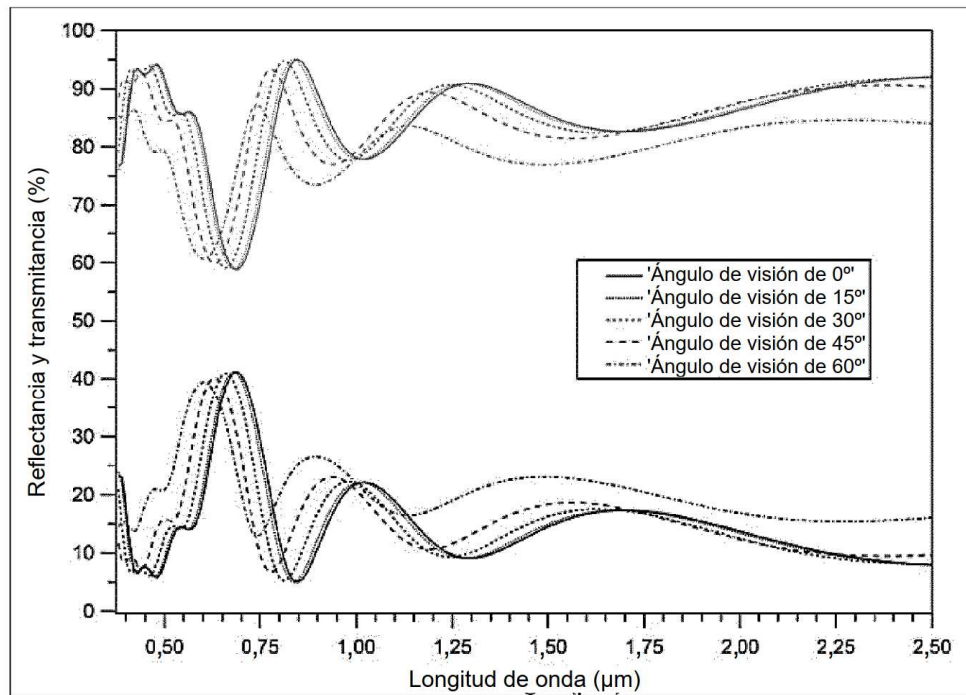


Fig. 22

**Tablas**

Longitud de onda (nm)	$n_H$	$n_L$
300	2,6	1,48
400	2,52	1,47
500	2,42	1,46
600	2,35	1,45
700	2,33	1,45
800	2,3	1,44

Tabla 1: índices de refracción de los materiales usados en los Ejemplos 1 y 2.

$\theta_r$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$\Delta E^*_{\text{Norm}}$
0°	20,64	29,3	45,25	-
15°	18,99	32,11	46,67	3,26
30°	13,09	38,61	50,58	11,99
45°	3,12	40,04	55,66	20,55
60°	-4,8	26,53	60,86	25,59

Tabla 2: dependencia angular de las coordenadas de color del Ejemplo 1.

$\theta_r$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$\Delta E^*_{\text{Norm}}$
0°	35,34	28,76	44,24	-
15°	35,27	31,63	45,88	2,87
30°	32,52	37,84	50,74	9,51
45°	22,94	39,69	57,58	16,53
60°	8,19	30,72	64,01	27,22

Tabla 3: dependencia angular de las coordenadas de color del Ejemplo 2.

$\theta_r$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$\Delta E^*_{\text{Norm}}$
0°	-15,3	27,48	54,65	-
15°	-17,1	24,35	54,6	3,61
30°	-20,1	13,79	53,85	14,51
45°	-18,4	-1,5	51,88	29,15
60°	-10,4	-8,9	53,21	36,71

Tabla 4: dependencia angular de las coordenadas de color del Ejemplo 3.

$\theta_r$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$\Delta E^*_{\text{Norm}}$
0°	-20	31,69	60,27	-
15°	-22,5	28,82	60,14	3,81
30°	-27	17,73	59,09	15,62
45°	-26,3	0,015	56,31	32,3
60°	-16,6	-9,9	55,76	41,73

Tabla 5: dependencia angular de las coordenadas de color del Ejemplo 4.

Material	Índice de refracción
MgF <sub>2</sub>	1,38 a 550 nm, 1,36 a 2000 nm
CaF <sub>2</sub>	1,43 a 550 nm, 1,42 a 2000 nm
SiO <sub>2</sub>	1,45 - 1,55 a 550 nm, dependiendo de la estructura
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,65 - 1,77 a 550 nm, dependiendo de la estructura
MgO	1,74 a 550 nm, 1,71 a 2000 nm
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,81 a 550 nm, 1,79 a 850 nm
HfO <sub>2</sub>	1,92 a 550 nm, 1,88 a 850 nm
ZnO	2,03 a 550 nm, 1,93 a 2000 nm
ZrO <sub>2</sub>	2,21 a 550 nm, 2,17 a 850 nm
TiO <sub>2</sub>	2,2 – 2,7 a 550 nm, dependiendo de la estructura

Tabla 6: Materiales de película delgada usados comúnmente, tomados en consideración en el contexto de la invención y sus índices de refracción respectivos.

$\theta_r$	x	y	a*	b*	L*	$\Delta E_{Norm}^*$
0°	0,432	0,368	16,71	22,39	40,12	-
15°	0,466	0,371	17,23	24,39	41,20	2,06
30°	0,468	0,377	17,37	27,45	44,55	5,10
45°	0,454	0,386	13,41	29,88	49,90	8,18
60°	0,417	0,389	4,67	27,52	56,38	13,08

Tabla 7: Estabilidad del color hasta 60° para el Ejemplo A

## ES 2 906 970 T3

$\theta_r$	x	y	a*	b*	L*	$\Delta E_{Norm}^*$
0°	0,452	0,385	11,02	25,21	40,41	-
15°	0,455	0,388	11,17	26,74	41,36	1,54
30°	0,466	0,392	12,55	30,84	44,35	5,83
45°	0,469	0,393	14,45	34,44	49,69	9,85
60°	0,439	0,386	11,17	30,43	57,12	5,22

Tabla 8: Estabilidad del color hasta 60° para el Ejemplo B

$\theta_r$	x	y	a*	b*	L*	$\Delta E_{Norm}^*$
0°	0,450	0,381	15,63	26,67	38,42	-
15°	0,453	0,385	15,62	27,30	39,43	0,63
30°	0,463	0,391	17,07	31,72	42,63	5,25
45°	0,468	0,392	19,53	36,12	48,29	10,22
60°	0,433	0,386	14,95	32,41	55,83	5,78

Tabla 9: Estabilidad del color hasta 60° para el Ejemplo C

$\theta_r$	x	y	a*	b*	L*	$\Delta E_{Norm}^*$
0°	0,452	0,379	12,01	22,42	36,42	-
15°	0,453	0,384	11,20	24,22	38,05	1,97
30°	0,461	0,393	10,80	28,96	41,55	6,65
45°	0,469	0,394	13,46	33,65	47,76	11,32
60°	0,434	0,387	9,75	29,46	56,31	7,39

Tabla 10: Estabilidad del color hasta 60° para el Ejemplo D

$\theta_r$	x	y	a*	b*	L*	$\Delta E_{Norm}^*$
0°	0,446	0,377	12,02	23,97	43,23	-
15°	0,453	0,380	12,78	26,17	44,38	2,33
30°	0,467	0,386	15,37	31,45	48,19	8,20
45°	0,460	0,391	14,45	34,71	55,01	11,01
60°	0,406	0,386	3,16	27,21	62,91	9,43

Tabla 11: Estabilidad del color hasta 60° para el Ejemplo E

$\theta_r$	x	y	a*	b*	L*	$\Delta E_{Norm}^*$
0°	0,446	0,375	12,83	24,73	45,47	-
15°	0,453	0,379	13,67	26,90	46,52	2,32
30°	0,465	0,385	15,65	31,92	19,91	7,72
45°	0,455	0,390	13,72	33,89	55,70	9,20
60°	0,403	0,382	3,52	25,31	62,50	9,33

Tabla 12: Estabilidad del color hasta 60° para el Ejemplo F

Ejemplo	R <sub>vis</sub> (%)	T <sub>sol</sub> (%)	L <sub>ST</sub> (%)	L <sub>Si</sub> (%)	L <sub>mcSi</sub> (%)	L <sub>aSi</sub> (%)	L <sub>CIGS</sub> (%)	L <sub>CdT</sub> e (%)
A	11,7 9	87,0 4	-	10,9 2	11,1 9	10,0 3	11,7 5	7,62
B	11,8 8	85,0 5	-	13,4 1	13,6 2	10,3 4	14,1 9	7,55
C	10,3 2	88,2 3	-	9,73	9,94	8,43	10,4 2	6,00
D	9,84	87,7 8	-	10,5 4	10,7 5	7,83	11,2 6	5,47
E	13,7 4	82,9 8	9,64	-	-	-	-	-
F	15,3 6	82,3 6	10,3 1	-	-	-	-	-

Tabla 13: Propiedades ópticas y pérdidas energéticas en comparación con el vidrio no recubierto para los ejemplos A a F.