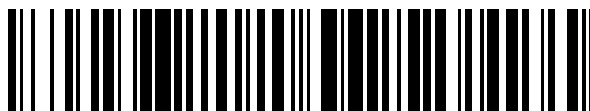


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 818 934**

51 Int. Cl.:

**H05K 9/00** (2006.01)

**G02B 5/20** (2006.01)

**G02B 5/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.11.2014 PCT/KR2014/010438**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.05.2015 WO15065134**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.11.2014 E 14857339 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020 EP 3067197**

54 Título: **Sistema de recubrimiento multicapa que utiliza huecos para un sistema de blindaje térmico y procedimiento de fabricación del mismo**

30 Prioridad:

**04.11.2013 US 201361899832 P**

**25.11.2013 US 201361908608 P**

**02.01.2014 US 201414146426**

**30.04.2014 KR 20140052953**

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

**14.04.2021**

73 Titular/es:

**MATERIALS VISION CO., LTD. (100.0%)**

**21-8, Sinchon-ro 242beon-gil, Gilsang-myeon,**

**Ganghwa-gun**

**Incheon 23049, KR**

72 Inventor/es:

**CHO, SUNG NAE**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 818 934 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

Sistema de recubrimiento multicapa que utiliza huecos para un sistema de blindaje térmico y procedimiento de fabricación del mismo

**Campo técnico**

- 5 La presente invención se refiere a un sistema de recubrimiento multicapa y, más particularmente, a un sistema de recubrimiento multicapa que utiliza huecos para un sistema de bloqueo térmico y un procedimiento de fabricación del mismo.

**Técnica anterior**

- 10 Una gran parte de la energía creada por el hombre se utiliza para calentar y enfriar. Por ejemplo, una gran parte de las facturas de servicios en verano a menudo se asocia con la energía utilizada para hacer funcionar los acondicionadores de aire para mantener bajas las temperaturas interiores, mientras que, en invierno, la energía se utiliza para hacer funcionar los calentadores para mantener el interior cálido. La mayor parte de la energía desperdiciada durante el calentamiento y el enfriamiento puede atribuirse a un aislamiento deficiente contra la pérdida de calor. En la mayoría de las técnicas anteriores sobre pinturas resistentes al calor, una pintura ordinaria se  
15 convierte en una pintura resistente al calor al mezclarla con partículas y huecos. En otras técnicas anteriores similares, las partículas coloidales se mezclan en materiales formadores de películas, y dichos materiales se aplican sobre sustratos tales como cristales o vidrios para bloquear las ondas electromagnéticas infrarrojas.

- 20 Una clase de técnicas anteriores sobre tecnologías de bloqueo térmico involucra pinturas resistentes al calor. En la patente de los Estados Unidos núm. 4,623,390, las microesferas de vidrio o los extensores de vidrio huecos se mezclan en una pintura común para reducir la conductividad térmica directa, lo que mejora en gran medida el aislamiento contra la pérdida de calor. En una realización, se mezclan en una pintura ordinaria microesferas de vidrio de diámetros que varían de aproximadamente 50 micras a 150 micras, mientras que, en otra realización, se mezclan en una pintura ordinaria microesferas de vidrio de aproximadamente 100 micras de diámetro. Sin embargo, la patente de los Estados Unidos núm. 4,623,390 no aborda ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento multicapa que se discuten en la presente invención.  
25

- 30 En la patente de los Estados Unidos núm. 8,287,998, se mezclan en una pintura ordinaria microesferas huecas seleccionadas de vidrio, cerámica y microesferas de polímero orgánico con tamaños medios de partícula entre 0,5 micras y 150 micras para reducir la conductividad térmica directa. Además, en la patente de los Estados Unidos núm. 8,287,998, los materiales de pigmentos reflectantes infrarrojos también se incorporan en una mezcla de pintura ordinaria para reducir la conductividad térmica asociada con las transferencias de calor por radiación. Sin embargo, la patente de los Estados Unidos núm. 8,287,998 no aborda ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento multicapa que se discuten en la presente invención.

- 35 La patente de los Estados Unidos núm. 2010/0,203,336 divulga un gránulo de techo reflectante solar. En una realización, se forma un gránulo reflectante solar sinterizando partículas cerámicas, en la que las partículas cerámicas sinterizadas se recubren con partículas reflectantes solares. Sin embargo, la patente de los Estados Unidos núm. 2010/0,203,336 no aborda ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento multicapa cubiertas en la presente divulgación.

- 40 En la patente de los Estados Unidos núm. 2013/0,108,873, una partícula formadora de gránulo de techo se recubre con una capa de nanopartículas que refleja la radiación infrarroja cercana. Del mismo modo, en la patente de los Estados Unidos núm. 2013/0,161,578, un gránulo de techo se forma a partir de una partícula de núcleo mineral inerte reflectante infrarrojo que tiene huecos (o defectos) que ocurren de forma natural. Sin embargo, ni la patente de los Estados Unidos núm. 2013/0,108,873 ni la patente de los Estados Unidos núm. 2013/0,161,578 abordan ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento multicapa que se presentan en la presente divulgación.

- 45 La patente de los Estados Unidos núm. 2008/0,035,021 divulga un procedimiento para fabricar microesferas huecas de fosfato de aluminio. Además, se ilustra cómo se pueden usar tales partículas para mejorar el aislamiento contra la pérdida de calor. Sin embargo, la patente de los Estados Unidos núm. 2008/0,035,021 no aborda ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento multicapa cubiertas por la presente invención.

- 50 La patente de los Estados Unidos núm. 2007/0,298,242 divulga una lente para filtrar ondas ópticas, en la que las nanopartículas metálicas que incluyen capas de película delgada se forman en una superficie de la lente. Sin embargo, la patente de los Estados Unidos núm. 2007/0,298,242 no aborda ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento multicapa que se discuten en la presente divulgación.

- 55 En la patente de los Estados Unidos núm. 2007/0,036,985, las partículas de óxido de indio y estaño (ITO) se mezclan con una mezcla formadora de película para formar una capa de película delgada que refleja las ondas infrarrojas. Sin embargo, la patente de los Estados Unidos núm. 2007/0,036,985 no aborda ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento multicapa que se ilustran en la presente invención.

5 La patente de los Estados Unidos núm. 2013/0,266,800 divulga un procedimiento para preparar nanocristales de óxido de zinc dopado con aluminio (AZO). También divulga una estructura de película delgada para reflejar las ondas infrarrojas que utiliza nanopartículas de AZO. Sin embargo, la patente de los Estados Unidos núm. 2013/0,266,800 A1 no aborda ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento multicapa que se discuten en la presente divulgación.

10 La patente de los Estados Unidos núm. 7,760,424 y la patente de los Estados Unidos núm. 8,009,351 divulgan estructuras de película delgada multicapa que utilizan partículas coloidales para reflejar ondas electromagnéticas infrarrojas. Sin embargo, la patente de los Estados Unidos núm. 7,760,424 y la patente de los Estados Unidos núm. 8,009,351 divulgan que las partículas en cada capa de una estructura multicapa están ordenadas regularmente con un espaciado de cuadrícula regular entre ellas, mientras que la presente invención describe que los huecos se distribuyen aleatoriamente en cada capa de un sistema de recubrimiento multicapa. La patente de los Estados Unidos núm. 7,760,424 y la patente de los Estados Unidos núm. 8,009,351 se basan en la ley de Bragg para la descripción de reflejos infrarrojos, mientras que la presente invención se basa en la teoría de dispersión de Mie para la descripción de reflejos infrarrojos. Para hacer que las longitudes de onda visibles sean altamente transparentes, la patente de los Estados Unidos núm. 7,760,424 y la patente de los Estados Unidos núm. 8,009,351 requieren las siguientes restricciones: a) un índice de refracción de partículas y un índice de refracción de un material de relleno que se dispone en un espacio entre las partículas debe ser casi idéntico, mientras que en la presente invención, no se requiere que un material de relleno y los huecos que se distribuyen de forma aleatoria tengan índices de refracción casi idénticos. Las reflexiones infrarrojas en la patente de los Estados Unidos núm. 7,760,424 y la patente de los Estados Unidos núm. 8,009,351 dependen en gran medida del ángulo de las ondas entrantes incidentes, característica típica de los cristales fotónicos y una consecuencia de la ley de Bragg, mientras que las reflexiones infrarrojas en la presente invención no dependen en gran medida del ángulo de incidencia de las ondas entrantes, característica típica de los cristales fotónicos, y una consecuencia de la ley de Bragg. Tales diferencias notables distinguen claramente la presente invención de la patente de los Estados Unidos núm. 7,760,424 y la patente de los Estados Unidos núm. 8,009,351.

25 Las siguientes técnicas anteriores sobre tecnologías de puntos cuánticos se enumeran aquí como referencia: La patente de los Estados Unidos núm. 8,362,684, la patente de los Estados Unidos núm. 8,395,042, la patente de los Estados Unidos núm. 2013/0,003,163, y la patente de los Estados Unidos núm. 2013/0,207,073. Aunque estas técnicas anteriores no están relacionadas tecnológicamente con la presente invención, existen similitudes en la distribución de huecos en cada capa de un sistema de recubrimiento multicapa. Sin embargo, la presente divulgación y las técnicas anteriores enumeradas sobre tecnologías de puntos cuánticos son en base a leyes de la física fundamentalmente diferentes y no deben considerarse iguales.

**Descripción detallada de la invención**

**Problema técnico**

35 La presente invención proporciona un sistema de recubrimiento multicapa que utiliza huecos para un sistema de bloqueo térmico y un procedimiento de fabricación del mismo.

**Solución técnica**

La invención se define por el procedimiento en la reivindicación 1. Las opciones preferentes se definen en las reivindicaciones dependientes.

40 **Efectos ventajosos**

La presente invención puede proporcionar un sistema de recubrimiento multicapa que utiliza huecos para un sistema de bloqueo térmico y un procedimiento de fabricación del mismo.

**Descripción de los dibujos**

45 Para una comprensión más completa de la presente invención, se hace referencia a la siguiente descripción y dibujos acompañantes en los cuales:

La Figura 1 es una vista esquemática de un sistema de recubrimiento multicapa de acuerdo con la presente invención;

La Figura 2 es una vista en sección transversal tomada a lo largo de la línea AB del sistema de recubrimiento multicapa de la Figura 1, de acuerdo con una realización de la presente invención;

50 La Figura 3 es una vista de una cuadrícula cuadrada para calcular una distancia entre los huecos esféricos de un sistema de recubrimiento multicapa de acuerdo con la presente invención;

La Figura 4 es una vista en sección transversal tomada a lo largo de la línea AB del sistema de recubrimiento multicapa de la Figura 1 de acuerdo con otra realización de la presente invención;

La Figura 5 es una vista de un sistema de recubrimiento multicapa que incluye un sustrato o un miembro de sellado de acuerdo con otras realizaciones de la presente invención;

La Figura 6 es una vista de un sistema de recubrimiento multicapa que incluye un material de relleno que tiene una pluralidad de orificios de acuerdo con otra realización;

5 La Figura 7 es una vista que ilustra una modificación de los orificios que se forman en el material de relleno de la Figura 6;

La Figura 8 es una vista que ilustra otra modificación de los orificios que se forman en el material de relleno de la Figura. 6;

10 La Figura 9 es una vista que ilustra otra modificación en la que se incluyen además una pluralidad de partículas esféricas en el material de relleno de la Figura 6;

La Figura 10 es una vista de un sistema de recubrimiento multicapa que incluye un electrodo como filtro de longitud de onda electromagnética de acuerdo con otra realización de la presente invención;

La Figura 11 es una vista para explicar una operación de bloquear (o reflejar) selectivamente la radiación electromagnética y transmitir el resto en un intervalo particular de longitudes de onda;

15 La Figura 12 es un gráfico que muestra una relación entre  $\Delta Q (= Q_{\text{bac}} - Q_{\text{ext}})$  y una longitud de onda, en la que un hueco esférico incrustado en un medio (material de relleno) con un índice de refracción  $n$  de 1,4962 se irradia con radiación electromagnética;

20 La Figura 13 es un gráfico polar de radiación dispersa correspondiente a un caso de la Figura 12, en el que un hueco esférico con un radio  $a$  de 200 nm incrustado en un medio (material de relleno) con un índice de refracción  $n$  de 1,4962 se irradia desde la izquierda;

La Figura 14 es un gráfico polar de radiación dispersa correspondiente a un caso de la Figura 12, en el que un hueco esférico con un radio de 200 nm incrustado en un medio (material de relleno) con un índice de refracción  $n$  de 1,4962 se irradia desde la izquierda; y

25 Las Figuras 15 a 17 son vistas para explicar un procedimiento de fabricación de un sistema de recubrimiento multicapa de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

### Mejor modo

30 A continuación, se describirán en detalle varias realizaciones con referencia a los dibujos acompañantes, de modo que esta divulgación sea minuciosa y completa. Debe entenderse que no hay intención de limitar las realizaciones a las formas particulares divulgadas aquí, ya que estas realizaciones se proporcionan simplemente, con referencia a las figuras, para explicar varios aspectos de la presente divulgación. Las realizaciones aquí son para cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que caen dentro del ámbito de la presente invención.

35 En los dibujos, los grosores de las capas y los tamaños de las regiones, las partículas esféricas y los huecos esféricos pueden exagerarse para mayor claridad, y los números similares se refieren a elementos similares a lo largo de la descripción de los dibujos. Las realizaciones aquí se describen con referencia a vistas en sección transversal de realizaciones idealizadas. Por tanto, las formas o regiones particulares en las realizaciones no deben interpretarse como limitadas a las formas o regiones particulares ilustradas en las realizaciones sino que, tales formas o regiones, pueden incluir desviaciones que resulten de las tolerancias de fabricación. Por ejemplo, una partícula esférica en la realización puede en realidad estar representada por una partícula con una forma esferoidal que se desvía ligeramente de una forma esférica ideal en un dispositivo real.

40 A lo largo de la descripción, los términos tales como 'primera subcapa de recubrimiento', 'segunda subcapa de recubrimiento', 'tercera subcapa de recubrimiento' y 'cuarta subcapa de recubrimiento' se utilizan para referirse a capas particulares en las realizaciones. Los términos tales como 'capa 1', 'capa 2', 'capa 3' y 'capa 4' pueden usarse en su lugar cuando sea más apropiado.

45 Con el fin de describir más específicamente las realizaciones, ahora se describirán en detalle varios aspectos con referencia a los dibujos adjuntos. Sin embargo, la presente invención no se limita a estas realizaciones.

50 La Figura 1 es una vista esquemática de un sistema de recubrimiento multicapa 900 de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema de recubrimiento multicapa 900 puede incluir una primera subcapa de recubrimiento 101, una segunda subcapa de recubrimiento 102 ubicada sobre la primera subcapa de recubrimiento 101, una tercera subcapa de recubrimiento 103 ubicada sobre la segunda subcapa de recubrimiento 102, y una cuarta subcapa de recubrimiento 104 ubicada encima de la tercera subcapa de recubrimiento 103. Aunque el sistema de recubrimiento multicapa 900 incluye cuatro subcapas de recubrimiento, es decir, la primera subcapa de recubrimiento 101, la segunda subcapa de recubrimiento 102, la tercera subcapa de recubrimiento 103, y la cuarta subcapa de recubrimiento 104 por concisión, el número de subcapas de recubrimiento de un sistema de

recubrimiento multicapa de la presente invención no se limita a las mismas. Se asume que la radiación electromagnética incide sobre la cuarta subcapa de recubrimiento 104 del sistema de recubrimiento multicapa 900.

La Figura 2 es una vista en sección transversal tomada a lo largo de la línea AB del sistema de recubrimiento multicapa 900 de acuerdo con una primera realización 100. En la primera realización 100, la segunda subcapa de recubrimiento 102 tiene un grosor mayor que la primera subcapa de recubrimiento 101, la tercera subcapa de recubrimiento 103 tiene un grosor mayor que la segunda subcapa de recubrimiento 102, y la cuarta subcapa de recubrimiento 104 tiene un grosor mayor que la tercera subcapa de recubrimiento 103. Sin embargo, el grosor de cada subcapa de recubrimiento en el sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención que incluye la primera realización 100 no está limitado. Por ejemplo, las subcapas de recubrimiento pueden tener grosores en aumento secuencial, grosores en disminución secuencial o el mismo grosor. En general, siempre que cada subcapa de recubrimiento tenga un grosor que sea suficientemente grueso para incluir un hueco esférico, el grosor de cada subcapa de recubrimiento no está limitado. Siempre que cada subcapa de recubrimiento tenga un grosor igual o mayor que el diámetro de un hueco esférico incluido en cada subcapa de recubrimiento, el grosor de cada subcapa de recubrimiento no está limitado. Por ejemplo, cada subcapa de recubrimiento puede tener un grosor que varía de 0,01 micras a 10.000 micras.

En el sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención que incluye la primera realización 100, cada subcapa de recubrimiento incluye una pluralidad de huecos esféricos que se distribuyen aleatoriamente. Por ejemplo, en la primera realización 100, la primera subcapa de recubrimiento 101 incluye una pluralidad de primeros huecos esféricos 11 que están distribuidos aleatoriamente, la segunda subcapa de recubrimiento 102 incluye una pluralidad de segundos huecos esféricos 12 que están distribuidos aleatoriamente, la tercera subcapa de recubrimiento 103 incluye una pluralidad de terceros huecos esféricos 13 que están distribuidos aleatoriamente, y la cuarta subcapa de recubrimiento 104 incluye una pluralidad de cuartos huecos esféricos 14 que están distribuidos aleatoriamente.

La razón por la cual, en el sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención que incluye la primera realización 100, los huecos esféricos de cada subcapa de recubrimiento tienen disposiciones desordenadas (aleatorias), en lugar de disposiciones de patrones ordenados tales como disposiciones de cuadrículas en estructuras cristalinas y cristales fotónicos es simple. Cuando los huecos esféricos están dispuestos en un patrón ordenado (es decir, cuando los huecos están dispuestos en un espaciado de cuadrícula definido), las reflexiones electromagnéticas ocurren profundamente en un conjunto discreto de valores de longitud de onda que están determinados por una constante de cuadrícula de acuerdo con la ley de Bragg. Aunque tal característica es ideal para aplicaciones de sintonización, donde solo se seleccionan valores de longitud de onda discretos para la sintonización, no es adecuada para el tipo de aplicaciones a las que se dirige la presente invención. Por ejemplo, una porción infrarroja de un espectro electromagnético, cuya porción representa la mayor parte de la energía térmica, se extiende desde 0,7 micras hasta aproximadamente 1.000 micras en longitudes de onda. Para que las operaciones de bloqueo térmico tengan éxito, es necesario reflejar la energía electromagnética infrarroja que cubre un amplio intervalo de longitudes de onda. Es posible que tales operaciones no se logren con huecos esféricos dispuestos en un espaciado de cuadrícula regular, ya que dicha configuración solo refleja de manera selectiva en profundidad en un conjunto discreto de longitudes de onda determinadas por una constante de cuadrícula de acuerdo con la ley de Bragg. Pero cuando los huecos esféricos se distribuyen aleatoriamente, los reflejos electromagnéticos infrarrojos, aunque menos profundos en magnitud, ocurren en un intervalo amplio de longitudes de onda, que es una característica preferente de las operaciones de bloqueo térmico exitosas.

En el sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención que incluye la primera realización 100, cada subcapa de recubrimiento incluye una pluralidad de huecos esféricos que se disponen para que estén separados entre sí. Cuando una pluralidad de huecos esféricos se disponen para que estén separados entre sí, significa que la pluralidad de huecos esféricos no contactan entre sí. Es preferente que la pluralidad de huecos esféricos en cada subcapa de recubrimiento estén suficientemente separados entre sí para que se puedan desprestigiar las interacciones entre dos huecos esféricos vecinos más cercanos.

La Figura 3 ilustra un caso en el que una superficie más cercana a la separación de superficie entre los huecos esféricos vecinos más cercanos en una cuadrícula bidimensional (2D) en cada subcapa de recubrimiento es  $10 \lambda$  (=  $10 \lambda_0 / n$ ).  $\lambda$  es una longitud de onda de una onda electromagnética en un material de relleno en el que se disponen huecos esféricos,  $\lambda_0$  es una longitud de onda de una onda electromagnética en un espacio libre,  $\lambda_0 = n\lambda$ , y  $n$  es un índice de refracción del material de relleno en el que se disponen los huecos esféricos. El número y el peso de los huecos esféricos por unidad de volumen de cada subcapa de recubrimiento se calculan en base a lo anterior. Un área efectiva  $A_{ef}$  ocupada por un hueco esférico con un radio  $a$  está dado por  $A_{ef} = (10 \lambda + 2a)^2$ . En una cuadrícula cúbica tridimensional (3D), asumiendo que una superficie más cercana a la separación de superficie entre los huecos esféricos vecinos más cercanos es  $10 \lambda$ , un volumen efectivo  $V_{ef}$  ocupado por un hueco esférico con un radio  $a$  se puede expresar como  $V_{ef} = (10 \lambda + 2a)^3$ . Ahora, si  $V_{capa}$  indica un volumen en una de la primera a la cuarta subcapas de recubrimiento 101, 102, 103 y 104 en la primera realización 100, entonces el número total  $N_p$  de huecos esféricos en esa subcapa de recubrimiento está dada por  $N_p = V_{capa} / V_{ef}$  o  $N_p = V_{capa} / (10 \lambda + 2a)^3 = 1 / (10 \lambda_0 / n + 2a)^3$ , y el número ( $N_p / V_{capa}$ ) de huecos esféricos por unidad de volumen de la subcapa de recubrimiento está dado por  $N_p / V_{capa} = 1 / (10 \lambda + 2a)^3 = 1 / (10 \lambda_0 / n + 2a)^3$ . Además, el peso total  $W_p$  de huecos esféricos (es decir, el peso de los huecos esféricos totales en la subcapa de recubrimiento) viene dado por  $W_p = N_p m g$  o  $W_p =$

4,1888  $\rho a^3 g V_{\text{capa}} / (10 \lambda + 2a)^3 = 4,1888 \rho a^3 g V_{\text{capa}} / (10 \lambda_0 / n + 2a)^3$  y el peso ( $W_p / V_{\text{capa}}$ ) de huecos esféricos por unidad de volumen de la subcapa de recubrimiento viene dado por  $W_p / V_{\text{capa}} = 4,1888 \rho a^3 g / (10 \lambda + 2a)^3 = 4,1888 \rho a^3 g / (10 \lambda_0 / n + 2a)^3$ , donde  $g$  es una constante de gravedad,  $\rho$  es una densidad de masa efectiva de un hueco y  $m$  es una masa efectiva total de un solo hueco esférico definido por  $m = \rho (4/3) \pi a^3$  o  $m = 4,1888 \rho a^3$ . Un hueco ideal está vacío y, por tanto, no tiene masa. Sin embargo, se puede lograr un hueco físico mediante la utilización de una estructura tal como una cubierta hueca. En este caso, cuando un grosor de la cubierta hueca es muy pequeño, un radio del hueco puede ser  $a$  y puede calcularse una densidad de masa efectiva  $p$  del hueco dividiendo un volumen  $V$  de la cubierta hueca por una masa efectiva total  $m$  de la cubierta hueca. Es decir, la densidad de masa efectiva  $p$  del hueco físico es  $m / V$ . La superficie más cercana a la separación de superficie de  $10\lambda$  en la Figura 3 es solo una aproximación a una separación en la que las interacciones entre los huecos esféricos pueden desprejarse. Por lo tanto, cualquier separación que sea mayor que  $10 \lambda$  también se convierte en un análisis válido aquí. En ese sentido,  $N_p$  y  $W_p$  pueden reexpresarse como  $N_p \leq V_{\text{capa}} / (10 \lambda_0 / n + 2a)^3$  y  $W_p \leq 4,1888 \rho a^3 g V_{\text{capa}} / (10 \lambda_0 / n + 2a)^3$ , y  $N_p / V_{\text{capa}}$  y  $W_p / V_{\text{capa}}$  se pueden reexpresarse como  $(N_p / V_{\text{capa}}) \leq 1 / (10 \lambda_0 / n + 2a)^3$  y  $W_p / V_{\text{capa}} \leq 4,1888 \rho a^3 g / (10 \lambda_0 / n + 2a)^3$ .

En general, la dispersión de ondas electromagnéticas en una mezcla que implica partículas distribuidas aleatoriamente requiere un cálculo explícito de una solución de dispersión a partir de una configuración de partículas individuales. A menudo, dicha solución de dispersión es suficiente para explicar un fenómeno de dispersión en tales mezclas. Por ejemplo, la transmisión de luz y el reflejo en una jarra de leche o en una nube cúmulo pueden explicarse cuantitativamente por el problema de la teoría de Mie que involucra una sola partícula de leche en la jarra de leche o una sola gota de lluvia en la nube cúmulo. En las realizaciones anteriores, se han considerado casos en los que los huecos distribuidos aleatoriamente están incrustados en un medio tal como un material de relleno. Desde el punto de vista de la física, la dispersión electromagnética en dichos sistemas implica soluciones de la teoría de Mie de una sola partícula. Los detalles de la física utilizados en esta memoria descriptiva se pueden encontrar en la siguiente referencia: C. Bohren and D. Huffman, "Absorption and Scattering of Light by Small Particles," John Wiley & Sons, Inc., 1998; ISBN 0-471-29340-7.

Una superficie más cercana a la separación de superficie entre los huecos esféricos vecinos más cercanos en cada subcapa de recubrimiento del sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención no está limitada a  $10 A$  de la Figura 3. Si una separación diferente, por ejemplo,  $5\lambda$ , entre dos huecos esféricos vecinos más cercanos se puede considerar como una longitud a la que los huecos esféricos se consideran 'suficientemente separados', entonces  $N_p$  y  $W_p$  pueden estar dados simplemente por  $N_p \leq V_{\text{capa}} / (5 \lambda_0 / n + 2a)^3$  y  $W_p \leq 4,1888 \rho a^3 g V_{\text{capa}} / (5 \lambda_0 / n + 2a)^3$ , y  $N_p / V_{\text{capa}}$  y  $W_p / V_{\text{capa}}$  pueden estar dados por  $(N_p / V_{\text{capa}}) \leq 1 / (5 \lambda_0 / n + 2a)^3$  y  $W_p / V_{\text{capa}} \leq 4,1888 \rho a^3 g / (5 \lambda_0 / n + 2a)^3$ . Una separación en la que dos huecos pueden considerarse lo suficientemente lejos como para desprejarse cualquier interacción entre los dos depende principalmente del tipo de huecos. Por ejemplo, si los huecos se cargan, entonces una separación de  $10 A$  puede no ser suficiente para desprejarse las interacciones entre los dos huecos. No obstante, la elección de  $10 A$  en la Figura 3 hace que la mayoría de los tipos de partículas estén, 'suficientemente separadas'.

En el sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención que incluye la primera realización 100, se puede formar una pluralidad de huecos de cada subcapa de recubrimiento para que tengan formas esféricas. Una pluralidad de huecos esféricos se refiere aquí a una pluralidad de huecos que tienen formas sustancialmente esféricas en promedio. En consecuencia, cuando una pluralidad de huecos tienen formas sustancialmente esféricas en promedio, algunos de la pluralidad de huecos pueden tener formas que se desvían de las formas esféricas, por ejemplo, formas esferoidales.

En el sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención que incluye la primera realización 100, una pluralidad de huecos esféricos de cada subcapa de recubrimiento puede formarse de varios materiales de diversas formas. Por ejemplo, la pluralidad de huecos esféricos de cada subcapa de recubrimiento puede formarse cada uno de una selección del grupo que consiste en una cubierta dieléctrica hueca, una cubierta conductora hueca y una cubierta semiconductor hueca. En este caso, cada hueco esférico puede tener un radio de cavidad que varía de 0,002 micras a 500 micras. Además, el hueco esférico puede ser una cubierta hueca que se forma por separado a partir de un material de relleno y se mezcla en el material de relleno, o puede ser un hueco esférico que se forma en el propio material de relleno. Además, el hueco esférico puede ser una cubierta hueca cuya superficie interior o exterior está recubierta con un material seleccionado del grupo que consiste en un material dieléctrico, un material conductor y un material semiconductor. Una lista de materiales conductores que se pueden usar para formar un hueco esférico que es una cubierta conductora hueca incluye, entre otros, aluminio, cromo, cobalto, cobre, oro, iridio, litio, molibdeno, níquel, osmio, paladio, platino, rodio, plata, tántalo, titanio, tungsteno, vanadio, una aleación de los mismos (por ejemplo, aluminio-cobre y acero) y una mezcla de los mismos. Los huecos esféricos pueden formarse como cubiertas multicapas huecas. Una cubierta de cada capa puede formarse de un material dieléctrico, un material conductor o un material semiconductor. Aunque se pueden seleccionar materiales dieléctricos o materiales semiconductores que tienen altos índices de refracción como materiales de los huecos esféricos, es preferente seleccionar materiales conductores como materiales de los huecos esféricos.

En el sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención que incluye la primera realización 100, una pluralidad de huecos esféricos de cada subcapa de recubrimiento tienen cada uno un radio común  $a$ . Considerando que en realidad es muy difícil, aunque no imposible, fabricar dos huecos esféricos que tengan el mismo radio  $a$ , el

radio  $a$  aquí debe entenderse como el radio promedio para los huecos esféricos. En consecuencia, de entre la pluralidad de huecos esféricos que tienen el radio promedio  $a$ , puede haber huecos con radios que sean diferentes del radio promedio  $a$ . Por ejemplo, en la primera subcapa de recubrimiento 101,  $a_{11}$  es un radio promedio de la pluralidad de primeros huecos esféricos 11,  $a_{12}$  es un radio promedio de la pluralidad de segundos huecos esféricos 12,  $a_{13}$  es un radio promedio de la pluralidad de terceros huecos esféricos 13, y  $a_{14}$  es un radio promedio de la pluralidad de cuartos huecos esféricos 14. Además, los huecos esféricos de cada subcapa de recubrimiento pueden tener radios diferentes a los de los huecos esféricos de otra subcapa de recubrimiento. Por ejemplo, en la primera realización 100, los huecos esféricos de la primera subcapa de recubrimiento 101 incluyen un tipo de huecos con el radio  $a_{11}$ , los huecos esféricos de la segunda subcapa de recubrimiento 102 incluyen un tipo de huecos con el radio  $a_{12}$ , los huecos esféricos de la tercera subcapa de recubrimiento 103 incluyen un tipo de huecos con el radio  $a_{13}$ , y los huecos esféricos de la cuarta subcapa de recubrimiento 104 incluyen un tipo de huecos con el radio  $a_{14}$ . Aquí, los radios  $a_{11}$ ,  $a_{12}$ ,  $a_{13}$ , y  $a_{14}$  satisfacen que  $a_{11} < a_{12} < a_{13} < a_{14}$ .

En el sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención que incluye la primera realización 100, cada subcapa de recubrimiento incluye un material de relleno con un índice de refracción  $n$  que se dispone en un espacio entre una pluralidad de huecos esféricos. Un material de relleno de cada subcapa de recubrimiento puede tener un índice de refracción que es diferente o igual al de un material de relleno de otra subcapa de recubrimiento. Incluso cuando los materiales de relleno de las subcapas de recubrimiento son los mismos, los materiales de relleno pueden tener diferentes índices de refracción. Incluso cuando los materiales de relleno son diferentes, los materiales de relleno pueden tener el mismo índice de refracción. En la primera realización 100, la primera subcapa de recubrimiento 101 incluye un primer material de relleno 51 con un índice de refracción  $n_{51}$ , la segunda subcapa de recubrimiento 102 incluye un segundo material de relleno 52 con un índice de refracción  $n_{52}$ , la tercera subcapa de recubrimiento 103 incluye un tercer material de relleno 53 con un índice de refracción  $n_{53}$ , y la cuarta subcapa de recubrimiento 104 incluye un cuarto material de relleno 54 con un índice de refracción  $n_{54}$ . Los índices de refracción de los materiales de relleno primero a cuarto 51, 52, 53 y 54 son iguales. Es decir,  $n_{51} = n_{52} = n_{53} = n_{54}$ .

En el sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención que incluye la primera realización 100, se puede seleccionar un material de relleno incluido en cada subcapa de recubrimiento del grupo que consiste en materiales dieléctricos, materiales cerámicos, materiales composite (mezclas de composite) y materiales poliméricos. Una lista de estos incluye, entre otros, pintura, arcilla, pegamento, cemento, asfalto, materiales poliméricos, gelatina, vidrios, resinas, aglutinantes, óxidos y sus combinaciones. Una lista de mezclas composite incluye pintura, arcilla, pegamento, cemento y similares. Una lista de materiales poliméricos incluye, entre otros, agarosa, celulosa, epoxi, hidrogel, poliácridamida, poliácridato, polidiacetileno, poliepóxido, poliéter, polietileno, poliimidazol, poliimida, polimetilacrilato, polimetilmetacrilato, polipéptido, polifenileno-vinileno, polifosfato, polipirrol, polisacárido, poliestireno, polisulfona, politiofeno, poliuretano, polivinilo y similares. Los materiales de relleno 51, 52, 53 y 54 también pueden formarse a partir de otros materiales poliméricos tales como agarosa, celulosa, epoxi, hidrogel, gel de sílice, vidrio soluble (o silicato de sodio), vidrio de sílice, siloxano y similares. Varias resinas incluyen resinas sintéticas como el acrílico y resinas vegetales como el almácigo. Una lista de óxidos en base a materiales dieléctricos incluye, entre otros, óxido de aluminio, óxido de berilio, óxido de cobre (I), óxido de cobre (II), óxido de disprosio, óxido de hafnio (IV), óxido de lutecio, óxido de magnesio, óxido de escandio, monóxido de silicio, dióxido de silicio, pentóxido de telurio, dióxido de telurio, dióxido de titanio, óxido de itrio, óxido de iterbio, óxido de zinc, dióxido de circonio y similares.

En el sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención que incluye la primera realización 100, cuando el número de huecos esféricos que se distribuyen aleatoriamente en cada subcapa de recubrimiento es muy grande y el diámetro de cada uno de los huecos esféricos es muy pequeño, cada subcapa de recubrimiento tiene una estructura similar a una estructura de aerogel. Un aerogel es un material poroso sintético.

La Figura 4 es una vista en sección transversal tomada a lo largo de la línea AB del sistema de recubrimiento multicapa 900 de la Figura 1 de acuerdo con una segunda realización 300. En el sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención que incluye la segunda realización 300, aunque una distribución del tamaño de los huecos esféricos en cada subcapa de recubrimiento puede ser la misma que la de los huecos esféricos de otra subcapa de recubrimiento, un índice de refracción de un material de relleno de cada subcapa de recubrimiento puede ser diferente del de un material de relleno de otra subcapa de recubrimiento. En tal sistema de recubrimiento multicapa, aunque los huecos esféricos de todas las subcapas de recubrimiento comparten una distribución de tamaño común (es decir, la misma), los materiales de relleno de cada subcapa de recubrimiento tienen diferentes índices de refracción; y, por tanto, cada subcapa de recubrimiento posee realmente características diferentes.

En la segunda realización 300, los primeros huecos esféricos 15 de un radio se distribuyen aleatoriamente a través de la primera a la cuarta subcapa de recubrimiento 301, 302, 303 y 304 con los índices de refracción de la primera a la cuarta subcapa de recubrimiento 301, 302, 303 y 304 y se satisface que  $n_{61} < n_{62} < n_{63} < n_{64}$ , donde  $n_{61}$ ,  $n_{62}$ ,  $n_{63}$ , y  $n_{64}$  denotan respectivamente los índices de refracción de los materiales de relleno 61, 62, 63 y 64.

El sistema de recubrimiento multicapa en base a la segunda realización 300 sufre reflejos internos que se producen en las interfaces de las subcapas de recubrimiento debido a los diferentes índices de refracción de las subcapas de recubrimiento. Tales reflejos internos contribuyen inevitablemente al autocalentamiento del sistema de recubrimiento multicapa.

El sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención puede incluir además un sustrato o un miembro de sellado. El sustrato puede disponerse en cualquiera de varias posiciones, por ejemplo, debajo de la subcapa de recubrimiento más baja o encima de la subcapa de recubrimiento más alta. El miembro de sellado puede usarse para envolver el sistema de recubrimiento multicapa de manera que el sistema de recubrimiento multicapa se selle del exterior. En una tercera realización de la Figura 5A, un sustrato 10 se dispone debajo de una primera subcapa de recubrimiento 401. Aunque no se muestra explícitamente en la Figura 5, el sustrato 10 también puede disponerse encima de una capa (por ejemplo, una cuarta subcapa de recubrimiento 404) que es la más lejana de la primera subcapa de recubrimiento 401. En una cuarta realización de la Figura 5B, el sustrato 10 se dispone debajo de la primera subcapa de recubrimiento 401 y encima de la cuarta subcapa de recubrimiento 404. En una quinta realización de la Figura 5C, el sistema de recubrimiento multicapa que incluye el sustrato 10, está envuelto con un miembro de sellado 80. El miembro de sellado 80 rodea el sistema de recubrimiento multicapa para sellar el sistema de recubrimiento multicapa del exterior. Además, el aire dentro del miembro de sellado 80 puede vaciarse de manera que el miembro de sellado 80 se mantenga en un estado de vacío sin aire. En las realizaciones tercera a quinta, las subcapas de recubrimiento primera a cuarta 401, 402, 403 y 404 incluyen respectivamente los materiales de relleno primero a cuarto 61, 62, 63 y 64. Los huecos esféricos 15 que tienen un tamaño se distribuyen aleatoriamente a través del primer al cuarto material de relleno 61, 62, 63 y 64 para que estén separados entre sí.

El sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención que incluye la primera y segunda realizaciones 100 y 300 puede aplicarse directamente a cualquier superficie. Ejemplos de superficies incluyen superficies de casas, electrodomésticos, ventanas, vehículos, telas, ropa, hojas de papel, productos electrónicos y productos cerámicos. En consecuencia, si la Figura 5A de la tercera realización es una vista en sección transversal de una pintura como un sistema de recubrimiento multicapa que se aplica a una pared, el sustrato 10 corresponde a la pared. Si la Figura 5B de la cuarta realización es una vista en sección transversal de un sistema de recubrimiento que se aplica a una tela, el sustrato 10 corresponde a la tela. Si la Figura 5A de la tercera realización es una vista en sección transversal de un sistema de recubrimiento que se aplica a un cristal de ventana, el sustrato 10 corresponde al cristal de ventana.

Los materiales para el sustrato 10 pueden seleccionarse del grupo que consiste en materiales conductores, materiales dieléctricos, materiales cerámicos, materiales composite, materiales semiconductores, materiales poliméricos y telas. Aquí, los materiales cerámicos, los materiales composite, los materiales poliméricos y las telas se han enumerado como si fueran materiales diferentes de los materiales conductores, materiales dieléctricos o materiales semiconductores. Para aclarar cualquier posible concepto erróneo, todos los materiales se pueden clasificar en los siguientes tres: materiales conductores, materiales dieléctricos y materiales semiconductores. Ahora, en función de los componentes reales de un material, cada uno de los materiales cerámicos, los materiales composite, los materiales poliméricos y las telas se puede clasificar en materiales conductores, materiales dieléctricos o materiales semiconductores. Dicho esto, siempre que, por ejemplo, se mencione el término "material dieléctrico" o "dieléctrico" en la memoria descriptiva, se entenderá que el término incluye todos los materiales que son dieléctricos, incluidos cualquiera de los materiales cerámicos, materiales composite, materiales poliméricos o telas que se clasifican como materiales dieléctricos. De manera similar, siempre que se mencione el término "material conductor" o "conductor" en la memoria descriptiva, se entenderá que el término incluye todos los materiales que son conductores, incluidos cualquiera de los materiales cerámicos, materiales composite, materiales poliméricos o telas que se clasifican como materiales conductores. Y, siempre que se mencione el término "material semiconductor" o "semiconductor" en la memoria descriptiva, se entenderá que el término incluye todos los materiales que son semiconductores, incluidos cualquiera de los materiales cerámicos, materiales composite, materiales poliméricos o telas que se clasifican como materiales semiconductores.

Una lista de materiales conductores que pueden usarse para formar el sustrato 10 incluye, entre otros, aluminio, cromo, cobalto, cobre, oro, iridio, litio, molibdeno, níquel, osmio, paladio, platino, rodio, plata, tantalio, titanio, tungsteno, vanadio, una aleación de los mismos (por ejemplo, aluminio-cobre y acero) y una mezcla de los mismos. Una lista de materiales composite que pueden usarse para formar el sustrato 10 incluye, entre otros, concreto, asfalto-concreto, polímeros reforzados con fibra, plásticos reforzados con fibra de carbono, plásticos reforzados con vidrio, caucho reforzado, maderas laminadas, madera contrachapada, papel, fibra de vidrio, un ladrillo y varios vidrios composite. Una lista de materiales poliméricos que pueden usarse para formar el sustrato 10 incluye, entre otros, poliacrilamida, poliacrilato, polidiacetileno, poliepóxido, poliéter, polietileno, poliimidazol, poliimida, polimetilacrilato, polimetilmetacrilato, polipéptido, polifenileno-vinileno, polifosfato, polipirrol, polisacárido, poliestireno, polisulfona, politiofeno, poliuretano, polivinilo y similares. El sustrato 10 también puede formarse a partir de otros materiales poliméricos tales como agarosa, celulosa, epoxi, hidrogel, gel de sílice, vidrio de sílice, siloxano y similares. Una lista de telas que pueden usarse para formar el sustrato 10 incluye textiles de animales, textiles de plantas, textiles minerales, textiles sintéticos y sus combinaciones.

El sistema de recubrimiento multicapa de la presente invención puede incluir además una pluralidad de orificios que se distribuyen aleatoriamente en un material de relleno de una subcapa de recubrimiento para que estén separados entre sí. La pluralidad de orificios incluidos en el material de relleno puede formarse en todas o algunas de las subcapas de recubrimiento que constituyen el sistema de recubrimiento multicapa. La pluralidad de orificios puede ser más pequeña o más grande que una pluralidad de huecos esféricos de cada subcapa de recubrimiento. Además, la pluralidad de orificios puede ser de orificios esféricos como la pluralidad de huecos esféricos o de orificios amorfos. La pluralidad de orificios formados en el material de relleno mejora la eficiencia de dispersión de la



radiación incidente en el sistema de recubrimiento multicapa o mejora una reducción de velocidad de la conductividad térmica (es decir, reduce la conductividad térmica).

- En una sexta realización 100' de la Figura 6, que es una modificación de la primera realización 100, se forma una pluralidad de orificios 25' en los materiales de relleno primero a cuarto 51', 52', 53' y 54' incluidos respectivamente en las subcapas de recubrimiento primera a cuarta 101', 102', 103' y 104'. La pluralidad de orificios 25' se forma para ser más pequeña que los huecos esféricos primero a cuarto 11, 12, 13 y 14. La pluralidad de orificios 25' pueden ser burbujas que se producen química o naturalmente cuando se forman los materiales de relleno primero a cuarto 51', 52', 53' y 54'. Por ejemplo, cuando los materiales de relleno primero a cuarto 51', 52', 53' y 54' se forman por espuma de poliuretano, las burbujas se producen químicamente.
- 10 La Figura 7 ilustra una modificación de los orificios 25' en el cuarto material de relleno 54' incluido en la cuarta subcapa de recubrimiento 104' de la sexta realización 100'. En la Figura 7, la pluralidad de orificios 25' en el material de relleno son más grandes que los cuartos huecos esféricos 14. En este caso, el material de relleno tiene una forma que se asemeja a un queso suizo.
- 15 La Figura 8 ilustra otra modificación de la pluralidad de orificios 25' en el cuarto material de relleno 54' incluido en la cuarta subcapa de recubrimiento 104' de la sexta realización 100'. En la Figura 8, una pluralidad de orificios 25" en el cuarto material de relleno 54' tienen formas esféricas con un radio  $b$  y son más grandes que los cuartos huecos esféricos 14. La pluralidad de grandes orificios esféricos 25" puede formarse, por ejemplo, incrustando grandes cubiertas esféricas huecas en un material de relleno o formando grandes huecos esféricos en el propio material de relleno.
- 20 La Figura 9 ilustra otra modificación de la pluralidad de orificios 25' en el cuarto material de relleno 54' incluido en la cuarta subcapa de recubrimiento 104' de la sexta realización 100'. En la Figura 9, la pluralidad de orificios 25" con el radio  $b$  que son mayores que la pluralidad de cuartos huecos esféricos 14 con el radio  $a_{14}$  se forman en el cuarto material de relleno 54' y se forman adicionalmente una pluralidad de cuartas partículas esféricas 24 con un radio  $c_{24}$  que se distribuyen aleatoriamente en el cuarto material de relleno 54' para que estén separadas entre sí. El radio  $c_{24}$  de las cuartas partículas esféricas 24 es menor que el radio  $a_{14}$  de los cuartos huecos esféricos 14 y el radio  $b$  de los orificios esféricos. Es decir, el radio  $c_{24}$ , el radio  $a_{14}$ , y el radio  $b$  satisfacen que  $b > a_{14} > c_{24}$ . Aunque no se muestra explícitamente en la Figura 9, como otra modificación de la pluralidad de orificios 25' formados respectivamente en los materiales de relleno primero a tercero 51', 52' y 53' incluidos respectivamente en las subcapas de recubrimiento primera a tercera 101', 102' y 103' de la sexta realización 100', la pluralidad de orificios 25" con el radio  $b$  que son mayores que la pluralidad de primeros huecos esféricos 11 con el radio  $a_{11}$  y una pluralidad de primeras partículas esféricas 21 con un radio  $c_{21}$  se distribuyen aleatoriamente en el primer material de relleno 51', para que estén separados entre sí, la pluralidad de orificios 25" con el radio  $b$  que son mayores que la pluralidad de segundos huecos esféricos 12 con el radio  $a_{12}$  y segundas partículas esféricas 22 con un radio  $c_{22}$  se distribuyen aleatoriamente en el segundo material de relleno 52' para que estén separados entre sí, y la pluralidad de orificios 25" con el radio  $b$  que son mayores que la pluralidad de terceros huecos esféricos 13 con el radio  $a_{13}$  y una pluralidad de terceras partículas esféricas 23 con un radio  $c_{23}$  se distribuyen aleatoriamente en el tercer material de relleno 53' para que estén separados entre sí. Los radios de las partículas esféricas primera a tercera 21, 22 y 23 satisfacen cada una que  $b > a_{11} > c_{21}$ ,  $b > a_{12} > c_{22}$  y  $b > a_{13} > c_{23}$ , como el radio de las cuartas partículas esféricas 24. Además, los radios de las partículas esféricas primera a cuarta 21, 22, 23 y 24 satisfacen que  $c_{21} < c_{22} < c_{23} < c_{24}$ . Aunque la pluralidad de orificios 25' en los materiales de relleno primero a cuarto 51', 52', 53' y 54' en la sexta realización 100' tienen formas esféricas, la presente invención no se limita a ello. Por ejemplo, la pluralidad de orificios 25' en los materiales de relleno primero a cuarto 51', 52', 53' y 54' pueden tener formas amorfas, en lugar de formas esféricas. La Figura 10 es una vista de electrodos que constituyen un filtro activado de longitud de onda electromagnética de acuerdo con una séptima realización 500 que es una modificación de la primera realización 100. Un borde inicial de una región reflectante puede desplazarse mediante un campo eléctrico aplicado. En la séptima realización 500, un primer electrodo 5 es adyacente a una de las dos superficies de la cuarta subcapa de recubrimiento 104 que es la más alejada de la primera subcapa recubrimiento 101 y un segundo electrodo 6 se ubica entre la primera subcapa de recubrimiento 101 y el sustrato 10. Se aplica una primera tensión al primer electrodo 5 y se aplica una segunda tensión al segundo electrodo 6. El primer electrodo 5 o el segundo electrodo 6 puede no limitarse a una posición en una de las dos superficies de la cuarta subcapa de recubrimiento 104 que es la más alejada de la primera subcapa de recubrimiento 101 o una posición entre la primera subcapa de recubrimiento 101 y el sustrato 10, y puede ubicarse en cualquiera de varias posiciones, si es necesario. Se forma un campo eléctrico entre el primer y segundo electrodo 5 y 6 aplicando tensiones de polarización al primer y segundo electrodo 5 y 6. Los materiales semiconductores se comportan como materiales dieléctricos en ausencia de un campo eléctrico. Pero cuando se exponen a un campo eléctrico, los materiales semiconductores se comportan como materiales conductores. Dicha propiedad puede usarse para controlar eficazmente una longitud de onda a la que comienza a reflejarse una onda electromagnética. Por ejemplo, un valor de  $\lambda_4$  en una porción '504' de la Figura 11 puede desplazarse controlando la intensidad de un campo eléctrico al que se expone una subcapa de recubrimiento correspondiente a la porción 504.
- 60 El primer y segundo electrodo 5 y 6 de la séptima realización 500 pueden formarse por conductores planos que son transparentes a las longitudes de onda de interés. Por ejemplo, en el caso de reflectores infrarrojos, el primer electrodo 5 tiene que ser transparente a las ondas electromagnéticas infrarrojas de interés. Además, si el sistema de

recubrimiento multicapa que se ilustra en la séptima realización 500 es ópticamente transparente, entonces tanto el primer como el segundo electrodos 5 y 6 deben ser ópticamente transparentes así como también transmitir ondas infrarrojas de interés.

5 En general, el primer y segundo electrodo 5 o 6 o ambos pueden estar modelados con estructuras de cuadrícula o rejilla, o con patrones más complicados, como una serie de orificios o cuadrados, etc. Cuando los electrodos se modelan con tales estructuras, las longitudes de onda infrarrojas de interés y la luz visible pueden transmitirse a través de aberturas en los electrodos modelados. Cuando los electrodos se modelan con aberturas, los materiales conductores para los electrodos no se limitan solo a conductores ópticamente transparentes que transmiten longitudes de onda infrarrojas de interés, sino que puede usarse cualquier material conductor.

10 A continuación, se explicarán en detalle las operaciones del sistema de recubrimiento multicapa de acuerdo con una o más realizaciones.

15 La Figura 11 es una vista esquemática para explicar las operaciones de transmisión y reflexión en un sistema de recubrimiento multicapa 100 ideal, en oposición a un sistema de recubrimiento multicapa 100 físico (realista). Aunque las operaciones de transmisión y reflexión ilustradas en la Figura 11 pueden ser demasiado ideales para un sistema de recubrimiento multicapa físico, la ilustración proporciona una descripción concisa de cómo se filtran selectivamente las longitudes de onda en un sistema de recubrimiento multicapa. Más adelante se mostrará que un sistema de recubrimiento multicapa físico también exhibe características equivalentes a las representadas en la Figura 11. Teniendo esto en cuenta, ahora se explicarán las operaciones de transmisión y reflexión en un sistema de recubrimiento multicapa ideal.

20 Un sistema de recubrimiento multicapa ideal incluye subcapas de recubrimiento ideales. Por tanto, el sistema de recubrimiento multicapa 100 ideal incluye subcapas de recubrimiento ideales primera a cuarta 101, 102, 103 y 104. Las operaciones de transmisión y reflexión en el sistema de recubrimiento multicapa 100 ideal se representan en la Figura 11, donde una porción '501' es para describir las operaciones de transmisión y reflexión asociadas con la primera subcapa de recubrimiento ideal 101 y la porción '504' es para describir operaciones similares para la cuarta subcapa de recubrimiento ideal 104. Los dos esquemas de funcionamiento restantes, que no se han etiquetado explícitamente en la Figura 11, pueden asociarse fácilmente con la segunda y tercera subcapas de recubrimiento ideal 102 y 103.

25 En la cuarta subcapa de recubrimiento ideal 104, una onda electromagnética incidente con una longitud de onda  $\lambda$  se transmite completamente cuando  $\lambda < \lambda_4$ , se refleja completamente cuando  $\lambda_4 \leq \lambda \leq \lambda_c$ , y se transmite y refleja parcialmente cuando  $\lambda > \lambda_c$ . Las subcapas de recubrimiento con tales características de filtrado de longitud de onda tienen aplicaciones útiles en cristales de ventanas, donde se desea mucho reflejar el calor o las ondas electromagnéticas infrarrojas mientras se transmiten ondas electromagnéticas de un espectro visible y longitudes de onda utilizadas por las industrias de la radiodifusión y las comunicaciones.

30 Un ancho de una región reflectante en la subcapa de recubrimiento es finito. Para la cuarta subcapa de recubrimiento ideal 104, un ancho de una región reflectante viene dado por  $\Delta\lambda = \lambda_c - \lambda_4$ . En general, una subcapa de recubrimiento físico tiene una anchura  $\Delta\lambda$  muy estrecha para una región reflectante. Por esa razón, una sola subcapa de recubrimiento, a menudo en aplicaciones de bloqueo térmico, no es suficiente para bloquear todas las longitudes de onda no deseadas en un espectro infrarrojo. Afortunadamente, una región reflectante en una subcapa de recubrimiento puede desplazarse en un intervalo de longitud de onda mediante el control de los diámetros de los huecos esféricos que se incluyen en la subcapa de recubrimiento. Para ilustrar esto, considere la porción '501' de la Figura 11 que describe las operaciones de transmisión y reflexión en la primera subcapa de recubrimiento ideal 101. Un resultado de la porción 501 puede compararse con un resultado de la porción 504 que describe las operaciones de transmisión y reflexión en la cuarta subcapa de recubrimiento ideal 104 que contiene huecos esféricos con diámetros mayores. Comparando los dos resultados, se puede notar que un borde inicial de una región reflectante en la porción 501 ocurre en  $\lambda = \lambda_1$ , donde  $\lambda_4 > \lambda_1$ . Tal desplazamiento en el borde inicial de la región reflectante en la porción 501 se atribuye a los huecos esféricos más pequeños 11 que se distribuyen aleatoriamente en la primera subcapa de recubrimiento 101. En la primera realización 100, los radios de los huecos esféricos primero a cuarto 11, 12, 13 y 14 de las subcapas de recubrimiento primera a cuarta 101, 102, 103 y 104 satisfacen que  $a_{11} < a_{12} < a_{13} < a_{14}$  y tales disposiciones de los huecos esféricos en el sistema de recubrimiento multicapa ideal 100 reflejan las operaciones de transmisión y reflexión que se muestran en la Figura 11.

35 Una sola subcapa de recubrimiento puede no ser suficiente para reflejar todas las longitudes de onda no deseadas debido a su ancho finito  $\Delta\lambda$  para una región reflectante. Sin embargo, las subcapas de recubrimiento primera a cuarta 101, 102, 103 y 104 pueden apilarse juntas para formar un sistema de recubrimiento multicapa con un ancho efectivo mayor  $(\Delta\lambda)_{ef}$  para una región reflectante. Por ejemplo, el sistema de recubrimiento multicapa ideal 100 con operaciones de transmisión y reflexión de la Figura 11 tiene un ancho efectivo  $(\Delta\lambda)_{ef} (= \lambda_c - \lambda_1)$  para una región reflectante. En el sistema de recubrimiento multicapa ideal 100, cualquier onda electromagnética de longitud de onda no deseada que no haya sido reflejada por la cuarta subcapa de recubrimiento 104 eventualmente se refleja en las subsiguientes subcapas de recubrimiento primera a tercera 101, 102 y 103. Las ondas reflejadas pertenecientes a un intervalo de longitud de onda  $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_4$  en la Figura 11 están libres de ser atrapadas en el sistema de recubrimiento multicapa 100 porque no hay regiones reflectantes en una trayectoria de viaje para estas ondas

electromagnéticas. Por ejemplo, se asume que una onda electromagnética en un intervalo de longitud de onda  $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$  se refleja en la primera subcapa de recubrimiento 101. Dicha onda electromagnética reflejada viajaría a través de la segunda a la cuarta subcapa de recubrimiento 102, 103 y 104 sin reflejos internos, escapando finalmente del sistema de recubrimiento de multicapa 100. No hay reflejos internos porque no hay regiones reflectantes en su trayectoria de viaje. Además, por esa razón, cualquier onda electromagnética reflejada que pertenezca al intervalo de longitud de onda  $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$  no contribuye al autocalentamiento del sistema de recubrimiento multicapa. Sin embargo, las ondas electromagnéticas en un intervalo de longitud de onda  $\lambda > \lambda_c$  se transmiten y reflejan parcialmente a medida que viajan a través de las subcapas de recubrimiento subsiguientes. Dichas ondas electromagnéticas están sujetas a reflexiones internas en las interfaces entre las subcapas de recubrimiento. Como consecuencia, estas ondas electromagnéticas contribuyen al autocalentamiento del sistema de recubrimiento multicapa 100. Afortunadamente, las ondas electromagnéticas en el intervalo de longitud de onda  $\lambda > \lambda_c$  no son tan energéticas como aquellas en el intervalo de longitud de onda  $\lambda \leq \lambda_4$ . Estas ondas electromagnéticas en el intervalo de longitud de onda  $\lambda > \lambda_c$  contribuyen de forma insignificante en el calentamiento del sistema de recubrimiento multicapa.

En la descripción anterior, la radiación se irradia a la parte superior del sistema de recubrimiento multicapa. En la primera realización 100, la parte superior es la cuarta subcapa de recubrimiento 104 y la parte inferior es la primera subcapa de recubrimiento 101. La radiación puede irradiarse a la parte inferior del sistema de recubrimiento multicapa 100 y gran parte de las operaciones básicas de transmisión y reflexión de ondas electromagnéticas todavía se describirían como se ilustra en la Figura 11. Por ejemplo, ondas electromagnéticas incidentes con longitudes de onda que satisfacen  $0 < \lambda < \lambda_1$  se transmiten completamente a través de las subcapas de recubrimiento mientras que las ondas electromagnéticas incidentes con longitudes de onda que satisfacen  $\lambda > \lambda_c$  se transmiten parcialmente y se reflejan parcialmente. Sin embargo, tienen lugar modificaciones importantes en las operaciones de transmisión y reflexión cuando se invierte una dirección de las ondas electromagnéticas incidentes en la Figura 2. Aunque las ondas electromagnéticas incidentes con longitudes de onda que satisfacen  $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_4$  todavía se reflejan completamente, las ondas electromagnéticas incidentes con longitudes de onda que satisfacen  $\lambda_4 < \lambda \leq \lambda_c$  en la Figura 11 se reflejan parcialmente y se transmiten parcialmente porque una dirección de incidencia se invierte en la Figura 2. Las ondas electromagnéticas que se transmiten parcialmente a las regiones A, B y C sufren reflejos internos que se producen entre diferentes subcapas de recubrimiento. Dichos reflejos internos contribuyen al autocalentamiento del sistema de recubrimiento multicapa.

Las operaciones de transmisión y reflexión de un sistema de recubrimiento multicapa físico se explicarán ahora en detalle.

Una primera subcapa de recubrimiento física 104 no tiene regiones claras de transmisión y reflexión como se muestra en la porción '504', a diferencia de una primera subcapa de recubrimiento ideal 104. Sin embargo, cuando las subcapas de recubrimiento físicas se apilan juntas para formar una capa de recubrimiento multicapa, las operaciones de transmisión y reflexión resultantes muestran la mayoría de las características de un sistema de recubrimiento ideal descrito con referencia a la Figura 11.

La Figura 12 es un gráfico de  $\Delta Q$  que se obtiene para los casos en que los huecos esféricos con tres radios diferentes ( $a = 200$  nm,  $a = 450$  nm y  $a = 700$  nm) están incrustados en un medio (material de relleno) con un índice de refracción  $n = 1,4962$  y se irradia con una onda electromagnética con una intensidad  $I_0$ .  $\Delta Q$  es una función de diferencia de  $Q_{\text{bac}} - Q_{\text{ext}}$ , donde  $Q_{\text{bac}}$  es un factor de eficiencia de dispersión hacia atrás o un factor de eficiencia de dispersión trasera, y  $Q_{\text{ext}}$  es un factor de eficiencia de extinción. La teoría de Mie se ha usado para calcular  $Q_{\text{bac}}$  y  $Q_{\text{ext}}$ . Se pueden identificar fácilmente dos regiones distintas en el gráfico de  $\Delta Q$  en la Figura 12. Una primera región I se caracteriza por un valor negativo para  $\Delta Q$  ( $\Delta Q < 0$ ) mientras que una segunda región II se caracteriza por un valor positivo para  $\Delta Q$  ( $\Delta Q > 0$ ). Aunque no se muestra claramente en la Figura 12, un valor de  $\Delta Q$  se acerca a cero para ondas con longitudes de onda suficientemente grandes. Una región en la que  $\Delta Q$  se aproxima a cero puede identificarse como una tercera región III.

Una correspondencia entre las regiones del gráfico  $\Delta Q$  en la Figura 12 y regiones de operaciones de transmisión y reflexión en la porción '504' de la Figura 11 se demuestra para longitudes de onda seleccionadas de la primera y segunda regiones I y II. Para el cálculo, se asume que un hueco esférico con un radio  $a = 200$  nm, que está incrustado en un medio (material de relleno) con un índice de refracción  $n$  de 1,4962, se irradia con una onda electromagnética con una intensidad  $I_0$ . Para la demostración visual de ondas dispersas hacia adelante y hacia atrás, una relación de intensidad de onda dispersa  $I_s$  y una intensidad de onda incidente  $I_0$  se ha trazado en un gráfico polar para cada una de las longitudes de onda seleccionadas de la primera y segunda regiones I y II. Los resultados para las longitudes de onda seleccionadas de la primera región I se muestran en la Figura 13 y los resultados para las longitudes de onda seleccionadas de la segunda región II se muestran en la Figura 14, donde en ambos gráficos polares, un hueco esférico se ubica en el centro y se irradia desde la izquierda. Los resultados en la Figura 13 y la Figura 14 revelan que las ondas de la primera región I están fuertemente dispersas hacia adelante (es decir, transmitidas) mientras que las ondas de la segunda región II están dispersas hacia adelante (es decir, transmitidas) y hacia atrás (es decir, reflejadas). Por tanto, la primera región I en la Figura 12 puede estar asociada con un intervalo de longitud de onda  $0 < \lambda < \lambda_4$  en la porción '504' y la segunda región II en la Figura 12 puede estar asociada con un intervalo de longitud de onda  $\lambda_4 < \lambda \leq \lambda_c$  en la porción '504'. Aunque no se muestra claramente en la Figura 12, una relación de la intensidad de onda dispersa  $I_s$  y la intensidad de la onda incidente  $I_0$  se aproxima a 1

para longitudes de onda que son suficientemente grandes. Las ondas en esta región corresponden a ondas con longitudes de onda que satisfacen  $\lambda > \lambda_c$  en la porción '504' de la Figura 10, en la que las ondas se transmiten parcialmente y se reflejan parcialmente en la misma relación. Estos resultados revelan que un hueco esférico incrustado en un medio dieléctrico (material de relleno) actúa reflejando ondas electromagnéticas infrarrojas. Además, la presencia de huecos esféricos en una mezcla tal como una pintura mejora el aislamiento contra la pérdida de calor al reducir las transferencias de calor que están asociadas con un proceso de conducción térmico directo.

Aunque las subcapas de recubrimiento en las ilustraciones anteriores contenían muchos huecos esféricos, las  $\Delta Q$  se calcularon explícitamente a partir de casos de huecos esféricos únicos y esos resultados se usaron para describir las operaciones de transmisión y reflexión en las subcapas de recubrimiento. Dicho análisis es válido si los huecos esféricos en cada subcapa de recubrimiento están suficientemente separados entre sí de modo que se puedan despreciar las interacciones entre los huecos esféricos. Para una longitud de onda de interés dada, por ejemplo,  $\lambda$ , dos partículas esféricas vecinas más cercanas que están separadas por una distancia de  $\sim 10\lambda$  puede considerarse como "suficientemente separadas". Por ejemplo, en la subcapa de recubrimiento ideal 104 cuyas operaciones de transmisión y reflexión de ondas se describen mediante el uso de la porción '504', la 'longitud de onda de interés,  $\lambda$ ' puede representarse por  $\lambda = \lambda_4$ , cuya longitud de onda define un borde inicial de una región reflectante. De manera similar, en la subcapa de recubrimiento ideal 101 cuyas operaciones de transmisión y reflexión de ondas se describen mediante el uso de la porción '501', la 'longitud de onda de interés,  $\lambda$ ' puede representarse por  $\lambda = \lambda_1$ . Ahora, para las subcapas de recubrimiento físicas (a diferencia de las subcapas de recubrimiento ideales), las operaciones de transmisión y reflexión de ondas se caracterizan por el gráfico de  $\Delta Q$ .

A continuación se explicarán varios procedimientos para fabricar un sistema de recubrimiento multicapa. Los procesos simples involucrados en la fabricación de un sistema de recubrimiento multicapa incluyen (1) preparar las mezclas para las subcapas de recubrimiento y (2) aplicar las mezclas a un sustrato para formar las subcapas de recubrimiento.

La Figura 15 es una vista para explicar un procedimiento para fabricar un sistema de recubrimiento multicapa de acuerdo con una realización. Se mezclan pequeños huecos esféricos con un tamaño en un primer recipiente que tiene una primera solución. Los huecos esféricos grandes con un tamaño que son más grandes que los huecos esféricos pequeños en la primera solución se mezclan en un segundo recipiente que tiene una segunda solución. En el caso donde los huecos esféricos se mezclan en una pintura ordinaria, la primera solución en el primer recipiente y la segunda solución en el segundo recipiente se puede formar de pintura ordinaria. Se puede formar una primera subcapa de recubrimiento sobre un sustrato sumergiendo un sustrato sin recubrir en la primera solución del primer recipiente. A continuación, el sustrato recubierto con la primera subcapa de recubrimiento puede secarse o curarse antes de sumergirlo en la segunda solución del segundo recipiente. A continuación, el sustrato sobre el que se forma la primera subcapa de recubrimiento se sumerge en la segunda solución del segundo recipiente para recubrir una segunda subcapa de recubrimiento sobre la primera subcapa de recubrimiento. El sustrato recubierto con la segunda subcapa de recubrimiento se seca o cura para fabricar un sistema de recubrimiento multicapa en el que se forman de manera secuencial dos subcapas de recubrimiento sobre el sustrato. El sistema de recubrimiento multicapa se puede formar en ambas superficies del sustrato mediante el uso del procedimiento de inmersión.

Para sustratos en una superficie de la cual, en lugar de en ambas superficies de las cuales se va a formar un sistema de recubrimiento multicapa, se puede formar un sistema de recubrimiento multicapa mediante el recubrimiento con mezclas con huecos esféricos en una sola superficie de un sustrato mediante el recubrimiento por centrifugación repetida.

Para objetos que tienen superficies internas cilíndricas tales como tuberías, se puede formar un sistema de recubrimiento multicapa mediante el recubrimiento con mezclas con huecos esféricos en superficies internas cilíndricas mediante la distribución por centrifugación repetida .

Para objetos tales como superficies de casas o vehículos, se puede formar un sistema de recubrimiento multicapa en una superficie realizando una pulverización repetida.

En el procedimiento para fabricar el sistema de recubrimiento multicapa de la Figura 15, aunque se forman mezclas para cada subcapa de recubrimiento mezclando la primera solución y la segunda solución con una pintura ordinaria junto con huecos esféricos, la presente invención no se limita a las mismas. Las mezclas para cada subcapa de recubrimiento en el sistema de recubrimiento multicapa también se pueden preparar mezclando los huecos esféricos con cualquier solución. Los ejemplos de las soluciones incluyen, entre otras, recubrimientos a base de solventes, mezclas composite (como pegamento, arcilla y similares), materiales poliméricos (como poliuretano, elastómeros, plásticos, gelatina, epoxi, acrílico, polimetilmetacrilato (PMMA), y similares), diversas resinas y aglutinantes tales como cemento. Alternativamente, los huecos esféricos con un tamaño se pueden mezclar en una solución de PMMA licuado. Incluso en este caso, la segunda solución de la Figura 15 también puede representarse por PMMA licuado, pero se mezcla con huecos esféricos con diámetros mayores que los que se mezclan en la primera solución. El sistema de recubrimiento multicapa puede formarse sobre un sustrato de acuerdo con los procesos de inmersión descritos anteriormente.

Alternativamente, las mezclas para cada subcapa de recubrimiento del sistema de recubrimiento multicapa pueden prepararse mezclando los huecos esféricos en una solución formada de materiales poliméricos tales como poliuretano. En este caso, la primera solución y la segunda solución en la Figura 15 pueden estar representadas por soluciones de poliuretano, en las que cada solución contiene huecos esféricos con diámetros apropiados.

5 La Figura 16 es una vista para explicar un procedimiento para fabricar un sistema de recubrimiento multicapa de acuerdo con otra realización. El sistema de recubrimiento multicapa se puede formar empapando (o sumergiendo) una red de tela en la primera solución y la segunda solución de acuerdo con los procesos descritos anteriormente. Primero, la red de tela se prepara como se muestra en la Figura 16A. La red de tela es una red formada por hilo o alambre. Después, como se muestra en la Figura 16B, se forma una subcapa de recubrimiento mediante el sumergido y recubrimiento de la red de tela en el primer recipiente que contiene la primera solución mezclada con huecos esféricos. En este caso, dado que la red de tela actúa como un esqueleto, la subcapa de recubrimiento no se rompe o daña fácilmente y es estructuralmente flexible. Se forma una pluralidad de subcapas de recubrimiento mediante el uso de este procedimiento. Se puede fabricar un sistema de recubrimiento multicapa apilando la pluralidad de subcapas de recubrimiento. En este caso, para acoplar la pluralidad de subcapas de recubrimiento apiladas, las subcapas de recubrimiento se pueden acoplar entre sí mediante el uso de un material tal como un adhesivo o mediante costura. Un ejemplo del sistema de recubrimiento multicapa completo se ilustra en la Figura 16C.

De manera similar, se puede formar un sistema de recubrimiento multicapa sobre una hebra de una fibra de tela. Es decir, el sistema de recubrimiento multicapa se puede formar empapando (o sumergiendo) una hebra de una fibra de tela en la primera solución y la segunda solución de acuerdo con los procesos descritos anteriormente. Tales hilos formados por hebras de fibras de tela recubiertas con el sistema de recubrimiento multicapa pueden usarse para fabricar ropa resistente al calor. Tal sistema de recubrimiento multicapa puede usarse como un material termoaislante para zapatos.

La Figura 17 es una vista para explicar un procedimiento para fabricar un sistema de recubrimiento multicapa de acuerdo con otra realización. La primera solución se prepara en el primer recipiente. La primera solución se refiere a un material en el que se mezclan entre sí una solución y pequeños huecos. Cada subcapa de recubrimiento del sistema de recubrimiento multicapa puede formarse vertiendo la primera solución en un molde y curando la primera solución. Por ejemplo, se puede formar una primera subcapa de recubrimiento vertiendo la primera solución del primer recipiente en un molde y secando la primera solución. Se puede formar una segunda subcapa de recubrimiento vertiendo la segunda solución del segundo recipiente en otro molde y secando la segunda solución. El sistema de recubrimiento multicapa puede formarse uniendo la primera subcapa de recubrimiento y la segunda subcapa de recubrimiento mediante el uso de un adhesivo. En lugar de unir la primera subcapa de recubrimiento y la segunda subcapa de recubrimiento mediante el uso del adhesivo, se pueden coser la primera subcapa de recubrimiento y la segunda subcapa de recubrimiento.

La primera y la segunda solución de la Figura 17 se puede formar mediante el uso de cualquiera de varios procedimientos de mezcla. Por ejemplo, la primera y la segunda solución pueden formarse mezclando los huecos esféricos en poliuretano acuoso o poliuretano a base de agua. El poliuretano a base de agua tiene una estructura en la que el polímero de poliuretano se emulsiona en agua y un contenido sólido de un polímero de poliuretano en agua varía entre las diferentes marcas. En el caso de una solución de poliuretano a base de agua con un 40 % de contenido de sólidos y un 60 % de agua por peso, la masa total de las partículas huecas que se pueden mezclar en la solución de poliuretano puede ser más del doble de la masa del contenido de sólidos de la solución de poliuretano. La viscosidad de una mezcla aumenta con el aumento de la masa de partículas huecas. Y, por lo tanto, las partículas huecas deben agregarse a la solución hasta un punto en el que la viscosidad de la mezcla no sea demasiado grande para ser trabajable. Por otro lado, cuando se añaden cantidades demasiado pequeñas de partículas huecas a una solución, la operabilidad mejora debido a la baja viscosidad. Sin embargo, en tal caso, la característica de aislamiento también se reduce. Como ilustración, en el caso en el que las burbujas de vidrio K1 producidas por el 3M se usen como huecos, se puede mezclar un polímero de poliuretano sólido de 40 gramos de masa con una masa de 20 gramos de las burbujas de vidrio K1. En otra ilustración, en la que se utilizan burbujas de vidrio S60HS del 3M, se pueden mezclar 40 gramos de polímero de poliuretano sólido con 88 gramos de burbujas de vidrio S60HS. A medida que se agregan más burbujas de vidrio a una solución, la viscosidad de una solución aumenta a un estado en el que no hay flujo. Para aumentar el aislamiento, es necesario agregar más burbujas de vidrio a una solución. Sin embargo, en este caso, es necesario considerar una viscosidad de una solución que asegure la operabilidad.

Lo anterior es una ilustración de varias realizaciones de ejemplo y no debe interpretarse como una limitación de las mismas. Los expertos en la técnica notarán que son posibles muchas modificaciones en las realizaciones de ejemplo sin apartarse de las nuevas enseñanzas y ventajas. Se pretende que tales modificaciones se incluyan dentro del ámbito de la presente divulgación como se define en las reivindicaciones.

#### **Aplicabilidad industrial**

La presente invención puede aplicarse a cualquier campo mediante el uso de un sistema de bloqueo térmico y un procedimiento para fabricar el mismo.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de fabricación de un sistema de recubrimiento multicapa, que comprende:
 

5 Proporcionar una capa uno que incluye una pluralidad de huecos esféricos (11, 12, 13, 14) que se distribuyen aleatoriamente para que estén separados entre sí de modo que se puedan despreciar las interacciones entre ellos y un material de relleno (51, 52, 53, 54) de índice de refracción  $n_1$  que se posiciona en espacios entre la pluralidad de huecos en el que los huecos esféricos (11, 12, 13, 14) tienen un diámetro sustancialmente idéntico con radio  $a_1$ ; y

10 Proporcionar capas subsiguientes que tengan  $i_{\max}-1$  capas, siendo  $i_{\max}$  igual o mayor que 2, comprendiendo las capas subsiguientes una capa  $i+1$  colocada encima de la capa  $i$ , incluyendo la capa  $i+1$  una pluralidad de huecos esféricos (11, 12, 13, 14) que se distribuyen aleatoriamente para que estén separados entre sí de modo que las interacciones entre ellos puedan despreciarse y un material de relleno (51, 52, 53, 54) de índice de refracción  $n_{i+1}$  que se coloca en espacios entre la pluralidad de huecos, en el que los huecos esféricos (11, 12, 13, 14) tienen un diámetro sustancialmente idéntico con radio promedio  $a_{i+1}$ , siendo  $i$  los números enteros de 1 a  $i_{\max}-1$ ,

15 en el que al menos dos capas de entre las capas  $i_{\max}$  tienen valores diferentes en al menos uno seleccionado de un grupo que consiste en el radio de los huecos en cada una de las dos capas y el índice de refracción del material de relleno en cada una de las dos capas, por lo que las bandas de longitud de onda de las ondas electromagnéticas reflejadas por las al menos dos capas son diferentes entre sí, y

20 controlar el radio de los huecos en al menos una de las dos capas, con respecto a una longitud de onda específica de una onda electromagnética incidente que se dispersa hacia atrás, mediante la utilización de la teoría de Mie bajo el supuesto de que la onda electromagnética incidente se dispersa directamente por un hueco de modo que la función de diferencia, que es el valor del factor de eficiencia de retrodispersión menos el factor de eficiencia de extinción, es mayor que cero.
- 25 2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además un sustrato (10) ubicado debajo de la capa 1.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además un sustrato (10) encima de una capa más alejada de la capa 1.
4. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que el sustrato (10) comprende uno seleccionado de un grupo que consiste en un material conductor, un material dieléctrico, un material semiconductor y un textil.
- 30 5. El procedimiento de la reivindicación 3, en el que el sustrato (10) comprende uno seleccionado de un grupo que consiste en un material conductor, un material dieléctrico, un material semiconductor y un textil.
6. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además un miembro de sellado (80) configurado para sellar el sistema de recubrimiento multicapa del exterior.
7. El procedimiento de la reivindicación 6, en el que sustancialmente no existe aire en el miembro de sellado (80).
- 35 8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la capa  $i$  tiene un grosor diferente del grosor de la capa  $i-1$  donde  $i$  es un número entero mayor que 1.
9. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la capa  $i$  y la capa  $i-1$  tienen el mismo grosor donde  $i$  es un número entero mayor que 1.
- 40 10. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que cada capa tiene un grosor que varía de aproximadamente 0,01 micras a aproximadamente 10.000 micras.
11. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el material de relleno (51, 52, 53, 54) comprende uno seleccionado de un grupo que consiste en un material polimérico, un aglutinante, una resina, un material dieléctrico y un material cerámico.
- 45 12. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el índice de refracción del material de relleno (51, 52, 53, 54) satisface  $n_i = n_{i-1}$  donde  $i$  es un número entero mayor que 1.
13. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el índice de refracción del material de relleno (51, 52, 53, 54) satisface  $n_i > n_{i-1}$  donde  $i$  es un número entero mayor que 1.
14. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el radio promedio de los huecos (11, 12, 13, 14) satisface  $a_i > a_{i-1}$  donde  $i$  es un número entero mayor que 1.
- 50 15. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el radio promedio de los huecos (11, 12, 13, 14) y el índice de refracción del material de relleno (51, 52, 53, 54) satisfacen  $a_i = a_{i-1}$  y  $n_i > n_{i-1}$  donde  $i$  es un número entero mayor que 1.

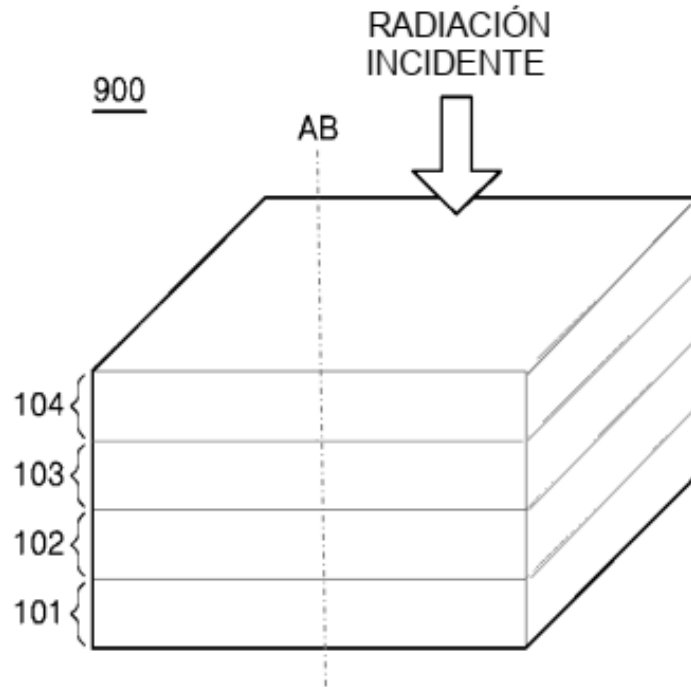
16. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además una pluralidad de huecos (11, 12, 13, 14) con un radio promedio  $b$  que se distribuyen aleatoriamente en todas las capas y separados entre sí, en los que el radio promedio  $b$  satisface que  $b > a_1$  y  $b > a_i$  donde  $i$  es un número entero mayor que 1.
- 5 17. El procedimiento de la reivindicación 16, que comprende además una pluralidad de partículas (21) con un radio promedio  $c_1$  que se distribuyen aleatoriamente en el material de relleno (51) de la capa 1 y separadas entre sí, y una pluralidad de partículas (22, 23, 24) con un radio promedio  $c_i$  que se distribuyen aleatoriamente en el material de relleno de la capa  $i$  y separadas entre sí, en el que  $c_1$  satisface  $b > a_1 > c_1$  y  $c_i$  satisface  $b > a_i > c_i$  y  $c_i > c_{i-1}$  donde  $i$  es un número entero mayor que 1.
- 10 18. El procedimiento de la reivindicación 17, en el que las partículas (21, 22, 23, 24) comprenden uno seleccionado de un grupo que consiste en un material conductor, un material dieléctrico, un material semiconductor y un material cerámico.
19. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el material de relleno comprende además una pluralidad de orificios (25', 25'') que se forman en el material de relleno.
- 15 20. El procedimiento de la reivindicación 19, en el que cada uno de la pluralidad de orificios (25', 25'') tiene un radio promedio mayor que el radio promedio de los huecos.
21. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que los huecos (11, 12, 13, 14) tienen un radio que varía de aproximadamente 0,002 micras a aproximadamente 500 micras.
22. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que los huecos (11, 12, 13, 14) están formados por cubiertas dieléctricas huecas.
- 20 23. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que los huecos (11, 12, 13, 14) están formados por cubiertas conductoras huecas.
24. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que los huecos (11, 12, 13, 14) están formados por cubiertas semiconductoras huecas.
25. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
- 25 Proporcionar un primer electrodo (5) ubicado adyacente a la más lejana de las dos superficies de la capa ubicada más lejos del sustrato (10); y  
 Proporcionar un segundo electrodo (6) ubicado entre la capa uno y el sustrato (10), en el que se aplica una primera tensión al primer electrodo (5), y se aplica una segunda tensión al segundo electrodo (6) diferente de la primera tensión.
- 30 26. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 25, comprendiendo el procedimiento además la fabricación del sistema de recubrimiento multicapa mediante:
- (1) la preparación de una primera solución en la que una pluralidad de huecos (11, 12, 13, 14) con un radio promedio  $a_1$  se mezclan con un material de relleno con un índice de refracción  $n_1$ ;
- 35 (2) el procesamiento de un sustrato con la primera solución y la formación, sobre el sustrato, de una capa 1 que comprende una pluralidad de huecos (11, 12, 13, 14) con el radio promedio  $a_1$  que se distribuyen aleatoriamente y se separan entre sí, y un material de relleno con el índice de refracción  $n_1$  que se dispone en un espacio entre los huecos;
- (3) la preparación de una  $i$ -ésima solución en la que una pluralidad de huecos (11, 12, 13, 14) con un radio promedio  $a_i$  se mezclan con un material de relleno con un índice de refracción  $n_i$  donde  $i$  es un número entero mayor que 1, en el que al menos dos de las soluciones, entre la primera y la  $i$ -ésima solución, tienen valores diferentes en al menos uno seleccionado de un grupo que consiste en el radio promedio de los huecos y el índice de refracción del material de relleno; y
- 40 (4) el procesamiento del sustrato sobre el que se forma una capa  $i-1$  con la  $i$ -ésima solución y la formación, sobre la capa  $i-1$ , de una capa  $i$  que comprende una pluralidad de huecos (11, 12, 13, 14) con el radio promedio  $a_i$  que se distribuyen aleatoriamente y se separan entre sí y un material de relleno con el índice de refracción  $n_i$  que se dispone en un espacio entre los huecos (11, 12, 13, 14) donde  $i$  es un número entero mayor que 1.
- 45 27. El procedimiento de la reivindicación 26, en el que el procesamiento de (2) es uno seleccionado de un grupo que consiste en sumergir el sustrato en la primera solución, recubrir por centrifugación la primera solución en el sustrato, moldear por centrifugación la primera solución en el sustrato y pulverizar la primera solución en el sustrato.
- 50 28. El procedimiento de la reivindicación 26, en el que el procesamiento de (4) es uno seleccionado de un grupo que consiste en sumergir el sustrato sobre el que se forma la capa  $i-1$  en la  $i$ -ésima solución, recubrir por centrifugación la  $i$ -ésima solución en el sustrato sobre el que se forma la capa  $i-1$ , moldear por centrifugación la  $i$ -

ésima solución en el sustrato sobre el que se forma la capa  $i-1$ , y pulverizar la  $i$ -ésima solución en el sustrato sobre el que se forma la capa  $i-1$  donde  $i$  es un número entero mayor que 1.

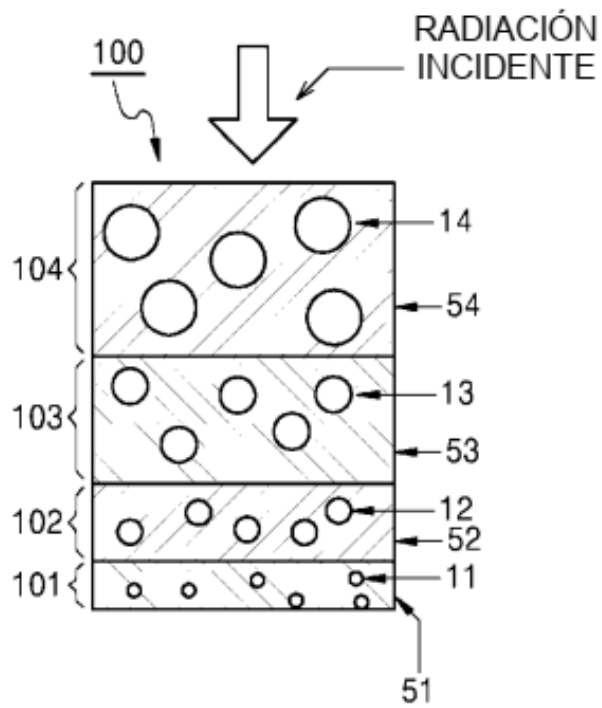
29. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que los huecos (11, 12, 13, 14) se forman como cubiertas huecas multicapa.



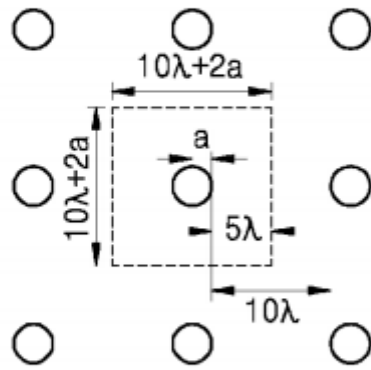
# Figura 1



# Figura 2



### Figura 3



### Figura 4

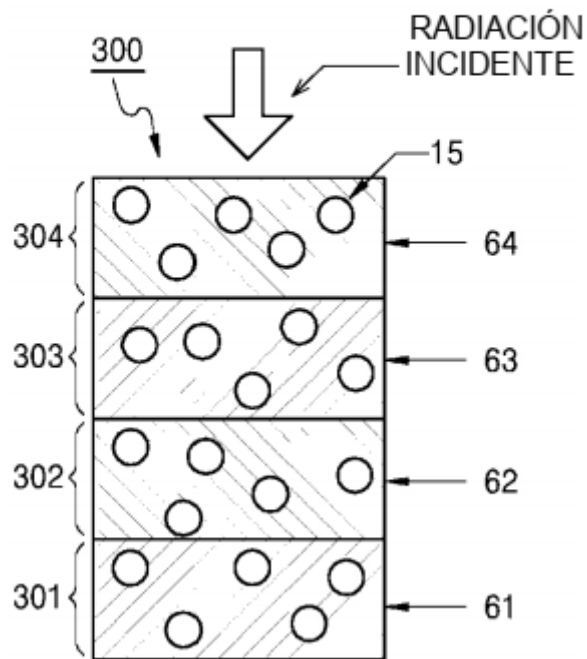


Figura 5

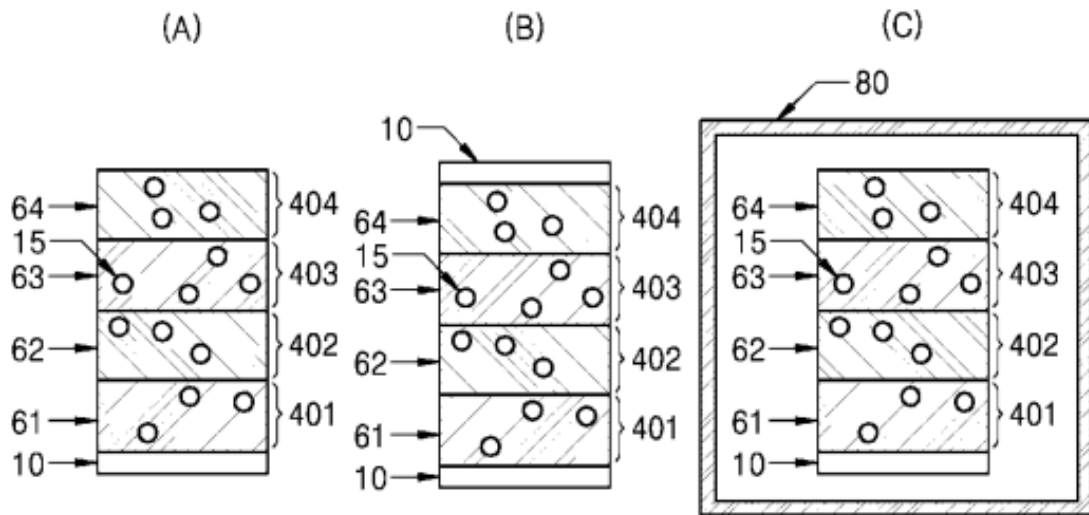


Figura 6

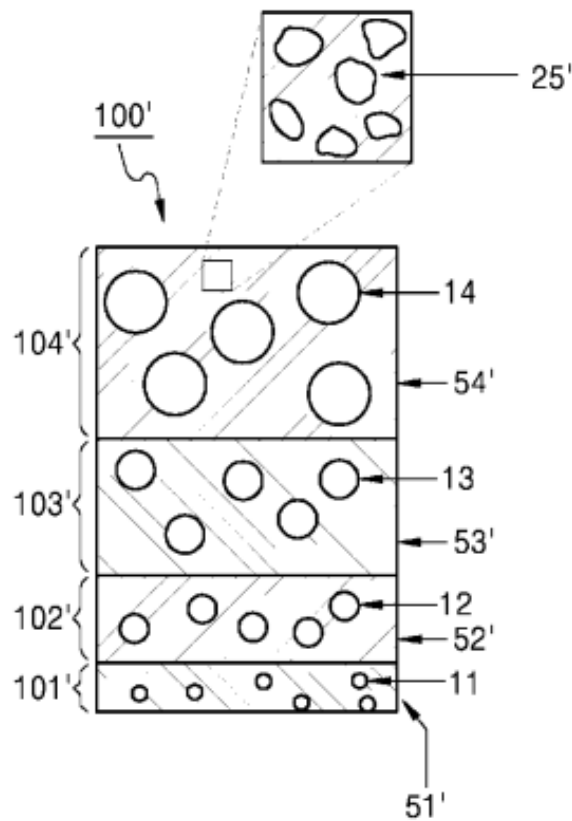


Figura 7

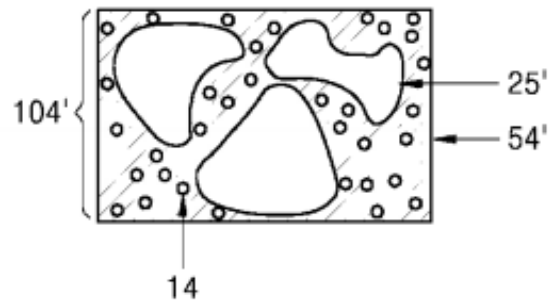


Figura 8

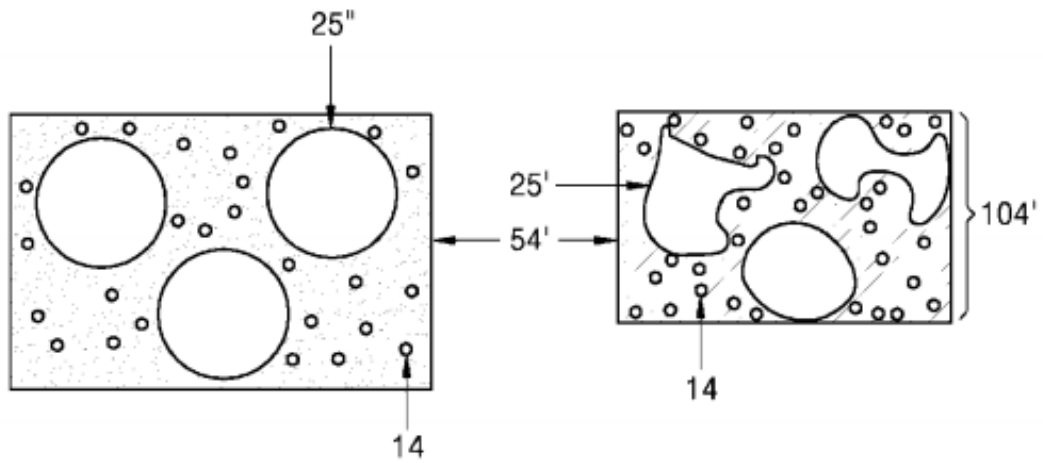


Figura 9

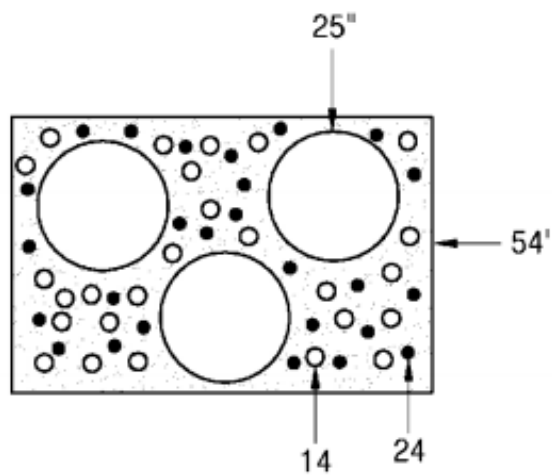


Figura 10

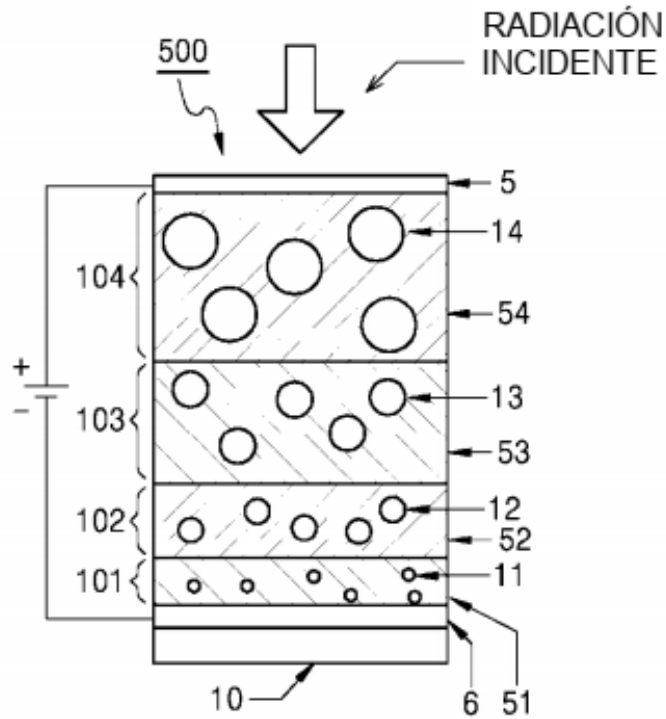
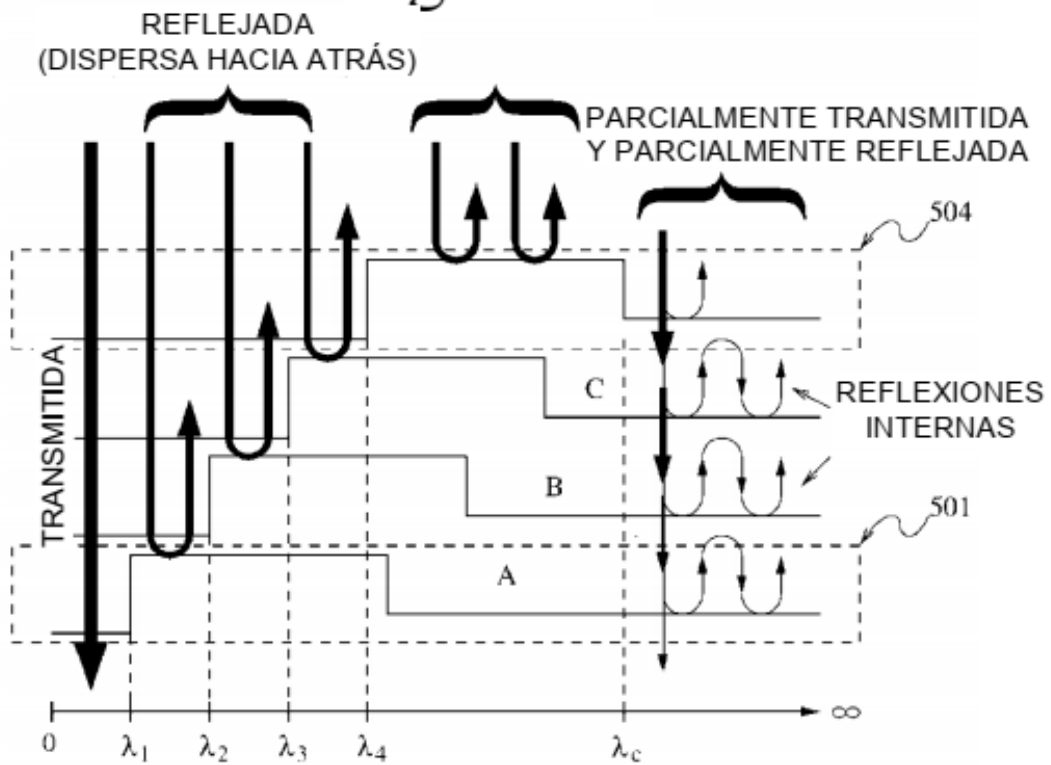
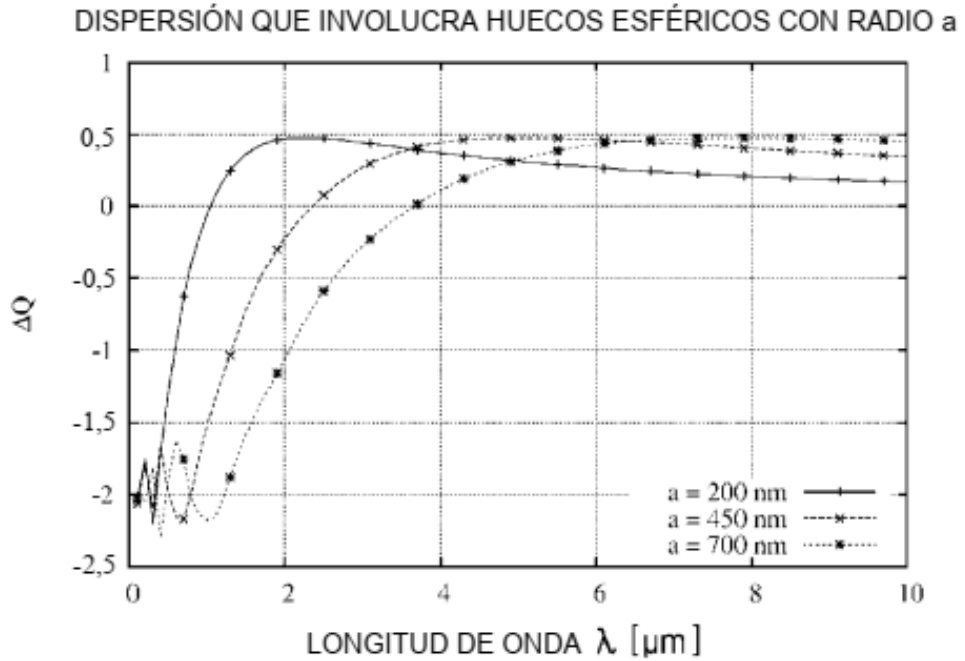


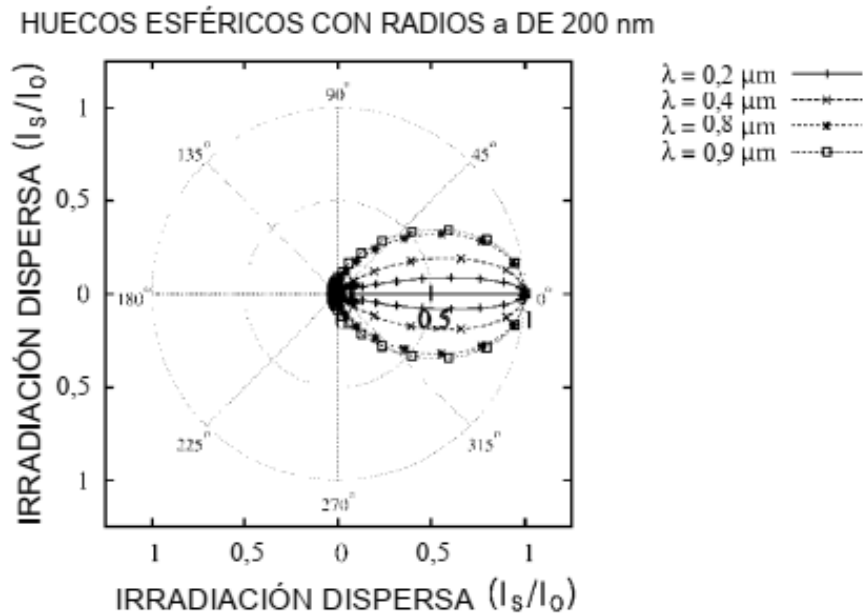
Figura 11



# Figura 12

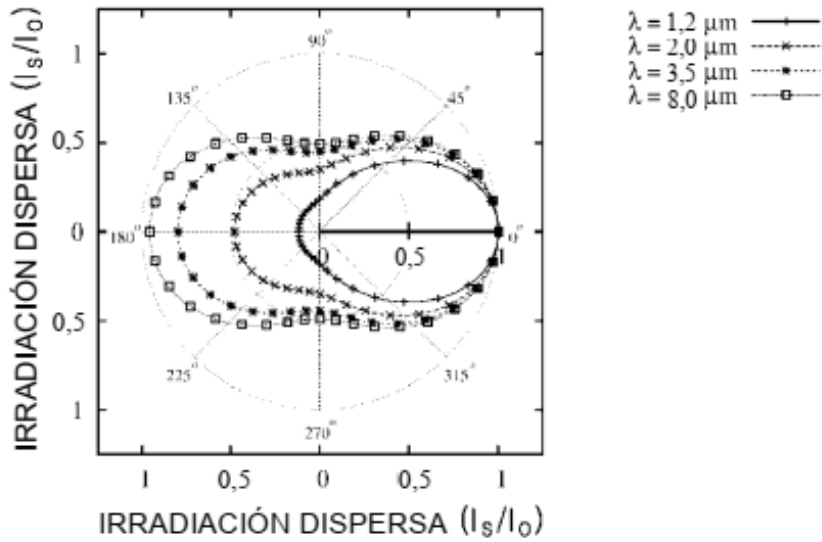


# Figura 13

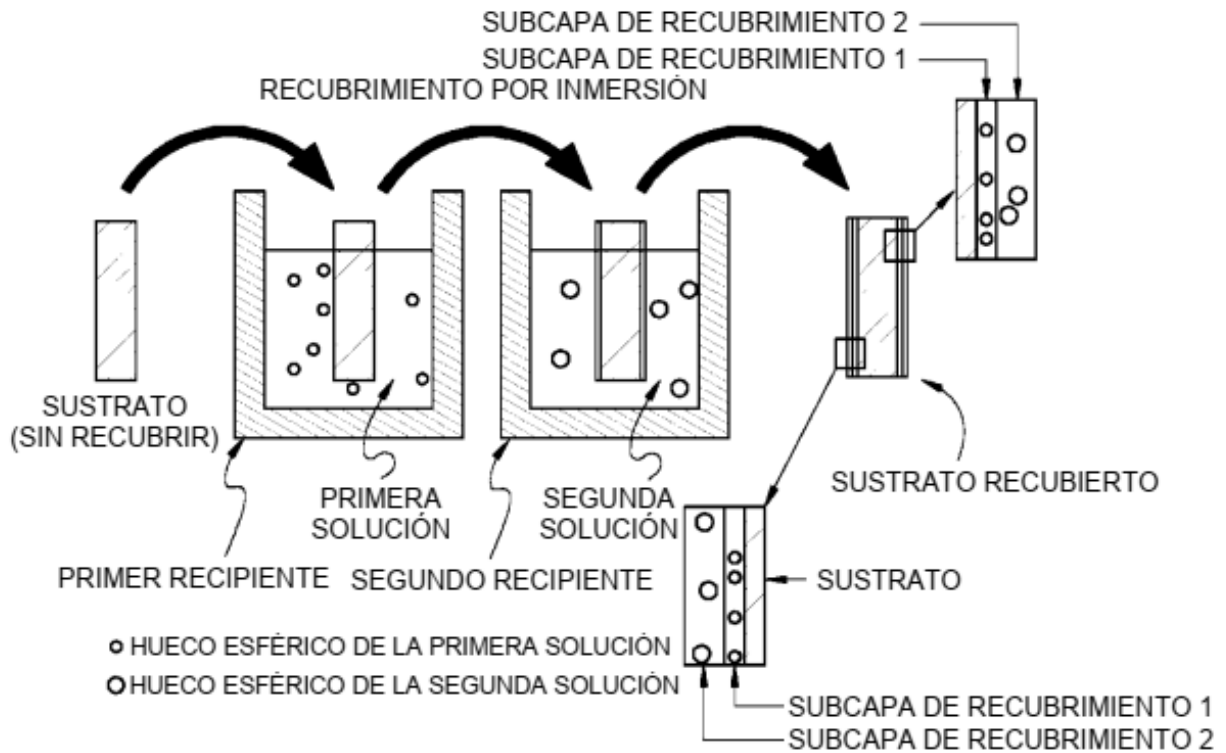


# Figura 14

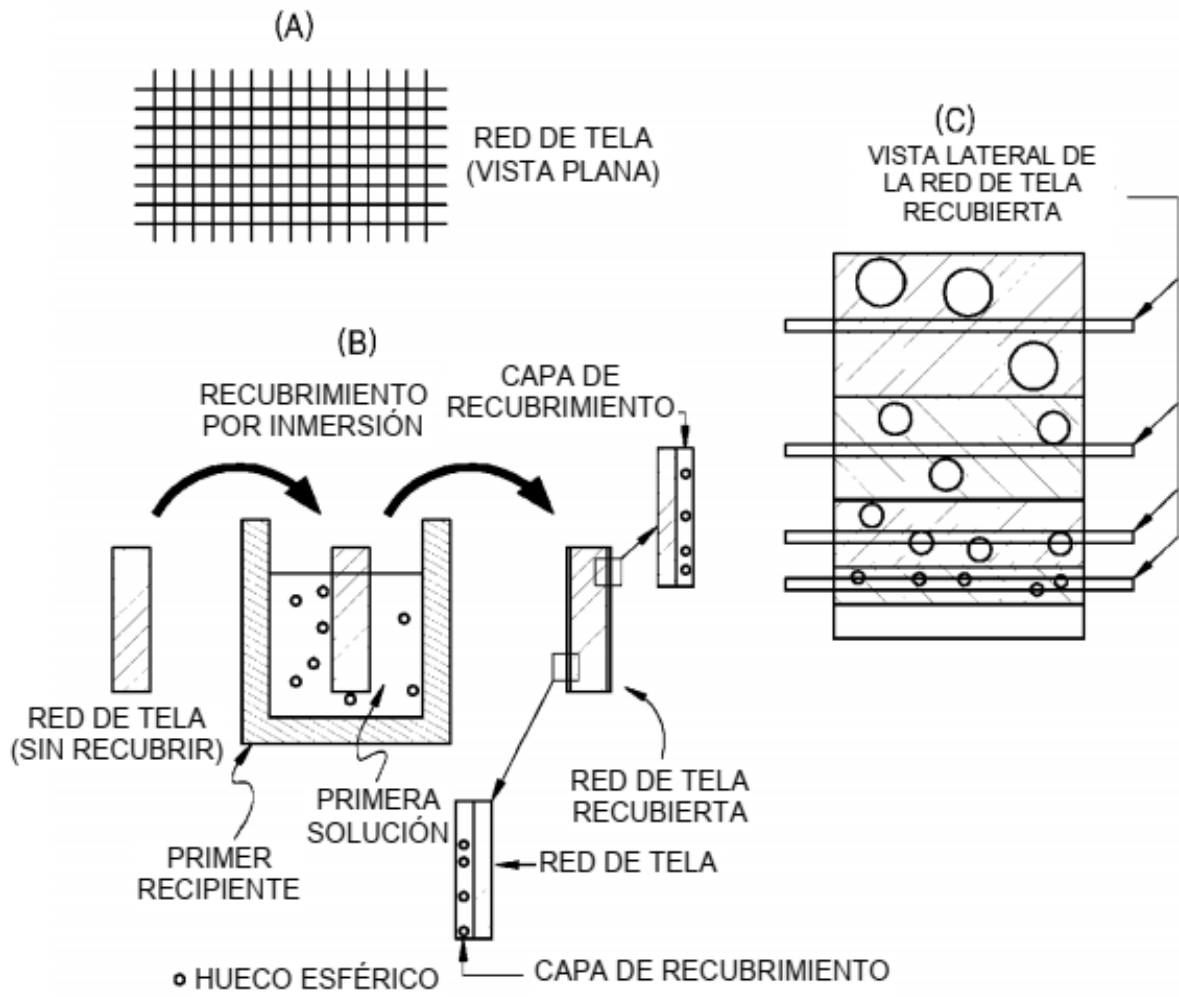
HUECOS ESFÉRICOS CON RADIOS  $a$  DE 200 nm



# Figura 15



# Figura 16





# Figura 17

