

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 819 300**

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/KR2014/010437**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.05.2015 WO15065133**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.11.2014 E 14858047 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020 EP 3068206**

54 Título: **Sistema de protección térmica utilizando partículas**

30 Prioridad:

**04.11.2013 US 201361899832 P**

**25.11.2013 US 201361908608 P**

**02.01.2014 US 201414146426**

**17.03.2014 KR 20140031252**

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

**15.04.2021**

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 2 819 300 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 protección térmica utilizando partículas

5 **Campo técnico**

La presente divulgación se refiere a un sistema de recubrimiento de múltiples capas que refleja selectivamente ondas electromagnéticas en un intervalo particular de longitudes de onda mientras transmite el resto. Más particularmente, esta divulgación se refiere a un sistema de recubrimiento de múltiples capas (o una estructura de película de múltiples capas) para reflejar ondas electromagnéticas infrarrojas, en el que cada capa del sistema de recubrimiento de múltiples capas incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas y una pluralidad de huecos esféricos bien separados que se distribuyen aleatoriamente, y un material de relleno que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas y huecos esféricos.

15 **Técnica antecedente**

Una gran parte de las energías creadas por el hombre se gasta en calefacción y refrigeración. Por ejemplo, una gran parte de las facturas de servicios públicos en verano a menudo se asocian con las energías consumidas en los acondicionadores de aire en funcionamiento para mantener bajas las temperaturas interiores, mientras que, durante el invierno, las energías se utilizan en los calentadores en funcionamiento para mantener el interior cálido. La mayoría de las energías desperdiciadas en calefacción y refrigeración se pueden atribuir a un mal aislamiento contra la pérdida de calor. En la mayoría de las técnicas anteriores sobre pinturas resistentes al calor, una pintura ordinaria se convierte en una pintura resistente al calor mezclándola con partículas y huecos. En otras técnicas anteriores similares, las partículas coloidales se mezclan en materiales de relleno formadores de película, en los que dichos materiales se aplican sobre sustratos como cristales de ventanas y vidrios para bloquear las ondas electromagnéticas infrarrojas.

Una clase de técnicas anteriores sobre tecnologías de bloqueo del calor implica pinturas resistentes al calor. En la patente de los Estados Unidos No. 4.623.390, se mezclan microesferas de vidrio o extensores de vidrio huecos en una pintura ordinaria para reducir la conductividad térmica directa, lo que mejora en gran medida el aislamiento contra la pérdida de calor. En una realización, se mezclan microesferas de vidrio de diámetros que varían de aproximadamente 50 micrómetros a 150 micrómetros en una pintura ordinaria mientras que, en otra realización, se mezclan microesferas de vidrio de aproximadamente 100 micrómetros de diámetro en una pintura ordinaria. Por otra parte, la patente de los Estados Unidos No. 4.623.390 no discute ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento de múltiples capas tratadas en la presente invención.

En la patente de los Estados Unidos No. 8.287.998 B2, se mezclan microesferas huecas seleccionadas entre vidrio, cerámica y microesferas de polímero orgánico de tamaños medios de partícula entre 0,5 micrómetros y 150 micrómetros en una pintura ordinaria para reducir la conductividad térmica directa. Además, la patente de los Estados Unidos No. 8.287.998 B2 también incorpora materiales de pigmentos reflectantes de infrarrojos en una mezcla de pintura ordinaria para reducir la conductividad térmica asociada con las transferencias de calor por radiación. Por otra parte, la patente de los Estados Unidos No. 8.287.998 B2 no trata ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento de múltiples capas discutidas en la presente invención.

En la patente de los Estados Unidos No. 2010/203.336 A1, se divulga un gránulo de techo reflectante solar. En una realización, se forma un gránulo reflectante solar sinterizando partículas cerámicas, en el que las partículas cerámicas sinterizadas se recubren con partículas reflectantes solares. Por otra parte, la patente de los Estados Unidos No. 2010/203.336 A1 no discute ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento de múltiples capas cubiertas en la presente divulgación.

En la patente de los Estados Unidos No. 2013/108.873 A1, una partícula formadora de gránulos para techos está recubierta con una capa de nanopartículas que refleja la radiación infrarroja cercana. De manera similar, en la patente de los Estados Unidos No. 2013/161.578 A1, un gránulo de techo se forma a partir de una partícula de núcleo mineral inerte reflectante de infrarrojos que tiene huecos (o defectos) de origen natural. Por otra parte, ni la patente de los Estados Unidos No. 2013/108.873 A1 ni la patente de los Estados Unidos No. 2013/161.578 A1 discuten sobre cualquier aspecto de las estructuras de recubrimiento de múltiples capas representadas en la divulgación actual.

En la patente de los Estados Unidos No. 2008/35.021 A1, se divulga un procedimiento para fabricar microesferas huecas de fosfato de aluminio. También ilustra cómo se pueden utilizar tales partículas para mejorar el aislamiento contra la pérdida de calor. Por otra parte, la patente de los Estados Unidos No. 2008/35.021 A1 no discute ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento de múltiples capas cubiertas por la presente invención.

En la patente de los Estados Unidos No. 2007/298.242 A1 se divulga una lente para filtrar ondas ópticas, en la que las nanopartículas metálicas que comprenden capas de película delgada se forman en la superficie de la lente. Por

otra parte, la patente de los Estados Unidos No. 2007/298.242 A1 no trata ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento de múltiples capas discutidas en la presente divulgación.

5 En la patente de los Estados Unidos No. 2007/36.985 A1, las partículas finas de óxido de indio y estaño (ITO) se mezclan con una mezcla que forma una película para formar una capa de película delgada que refleja las ondas infrarrojas. Por otra parte, la patente de los Estados Unidos No. 2007/36.985 A1 no discute ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento de múltiples capas ilustradas en la presente invención.

10 En la patente de los Estados Unidos No. 2013/266.800 A1, se divulga un procedimiento para preparar nanocristales de óxido de zinc dopado con aluminio (AZO). También divulga una estructura de película delgada para reflejar ondas infrarrojas que utiliza las nanopartículas AZO. Por otra parte, la patente de los Estados Unidos No. 2013/266.800 A1 no trata ningún aspecto de las estructuras de recubrimiento de múltiples capas discutidas en la presente divulgación.

15 La presente invención es particularmente similar a la patente de los Estados Unidos No. 7.760.424 B2 y la patente de los Estados Unidos No. 8.009.351 B2, en la que se divulgan estructuras de película fina de múltiples capas que utilizan partículas coloidales para reflejar ondas electromagnéticas infrarrojas. Sin embargo, existen diferencias fundamentales entre esta invención y las técnicas anteriores que son notables. Se resumen a continuación.

20 Las siguientes son las especificaciones de la patente de los Estados Unidos No. 7.760.424 B2 y la patente de los Estados Unidos No. 8.009.351 B2:

1. En la patente de los Estados Unidos No. 7.760.424 B2 y la patente de los Estados Unidos No. 8.009.351 B2, las partículas en cada capa de estructura de múltiples capas están dispuestas con un espaciado de red regular.

25 a) Este es un requisito imprescindible; sin él, todo el principio de funcionamiento, como se describe en las especificaciones de la patente de los Estados Unidos No. 7.760.424 B2 y la patente de los Estados Unidos No. 8.009.351 B2, falla.

b) Esta técnica anterior se puede clasificar como cristales fotónicos.

30 2. La patente de los Estados Unidos No. 7.760.424 B2 y la patente de los Estados Unidos No. 8.009.351 B2 se basan en la ley de Bragg para la descripción de las reflexiones de las ondas infrarrojas.

a) Dentro del marco de trabajo de la ley de Bragg, la constante de red (o espaciado de red) determina la longitud de onda de las ondas reflejadas.

35 b) Esta es una característica típica de los cristales fotónicos.

3. Para hacer que las longitudes de onda visibles sean muy transparentes, la patente de los Estados Unidos No. 7.760.424 B2 y la patente de los Estados Unidos No. 8.009.351 B2 requieren las siguientes restricciones:

40 a) El índice de refracción de las partículas y el índice de refracción de un material de relleno que se ubica en los espacios entre las partículas deben ser casi idénticos.

45 b) La diferencia entre el índice de refracción de un material de relleno y el índice de refracción de partículas es menor o igual a 0,05. Es decir, si  $n_m = 1,5$  es el índice de refracción de un material de relleno, entonces las partículas deben elegirse entre materiales con índices de refracción entre  $n_p = 1,45$  y  $n_p = 1,55$  de manera que  $|n_m - n_p| \leq 0,05$ .

50 c) Dicha restricción prohíbe el uso de partículas metálicas, incluyendo aluminio, cromo, cobalto, cobre, oro, iridio, litio, molibdeno, níquel, osmio, paladio, platino, rodio, plata, tantalio, titanio, tungsteno y vanadio. Por otro lado, la mayoría de los materiales de óxido tienen índices de refracción entre  $n_p = 1,45$  y  $n_p = 1,55$  y, por lo tanto, pueden usarse para las partículas.

4. En la patente de los Estados Unidos No. 7.760.424 B2 y la patente de los Estados Unidos No. 8.009.351 B2, la reflexión infrarroja depende en gran medida del ángulo de incidencia de la onda entrante, una característica típica de los cristales fotónicos y una consecuencia de la ley de Bragg.

55 Las siguientes son las especificaciones de la presente invención:

1. En la presente invención, las partículas se distribuyen aleatoriamente en cada una de las capas del sistema de recubrimiento de múltiples capas.

60 2. La presente invención se basa en la teoría de la dispersión de Mie para la descripción de las reflexiones de ondas infrarrojas.

3. En la presente invención, las partículas se eligen preferiblemente entre conductores. A diferencia del caso de la patente de los Estados Unidos No. 7.760.424 B2 y la patente de los Estados Unidos No. 8.009.351 B2, no se requiere que el material de relleno y las partículas distribuidas al azar tengan índices de refracción casi idénticos.

65 4. En uno o más ejemplos de realizaciones de la presente invención, también están presentes huecos distribuidos aleatoriamente junto con partículas distribuidas aleatoriamente en cada capa del sistema de recubrimiento de múltiples capas.

5. En la presente invención, la reflexión infrarroja no depende del ángulo de incidencia de la onda entrante, una característica que es típica de los sistemas que implican partículas distribuidas aleatoriamente (con o sin huecos distribuidos aleatoriamente).

5 Tales diferencias notables en las especificaciones distinguen claramente la presente invención de la patente de los Estados Unidos No. 7.760.424 B2 y la patente de los Estados Unidos No. 8.009.351 B2.

10 Las siguientes técnicas anteriores sobre tecnologías de puntos cuánticos se enumeran aquí como referencia: patente de los Estados Unidos No. 8.362.684 B2, patente de los Estados Unidos No. 8.395.042 B2, patente de los Estados Unidos No. 2013/0.003.163 A1, y la patente de los Estados Unidos No. 2013/0.207.073 A1. Aunque estas técnicas anteriores no están relacionadas tecnológicamente con la presente invención, existen notables similitudes en la distribución de partículas en cada capa del sistema de múltiples capas. Por otra parte, la presente divulgación y las técnicas anteriores enumeradas sobre tecnologías de puntos cuánticos se basan en físicas fundamentalmente diferentes y dos no deberían ser vistas como iguales.

15 El documento US-A-6235105 describe composiciones de recubrimiento óptico que contienen partículas de película delgada o pigmentos que son capaces de impartir al recubrimiento características o propiedades ópticas preseleccionadas, tales como reflectancia selectiva, transmitancia y absorbancia de energía luminosa en varias longitudes de onda.

## 20 Descripción detallada de la invención

### Problema técnico

25 El objeto principal de esta invención es proporcionar un procedimiento de fabricación de un sistema de recubrimiento de múltiples capas que mejora el aislamiento frente a la pérdida de calor al reflejar la radiación infrarroja.

La invención está definida por las características de la reivindicación 1.

### 30 Solución técnica

Se describe un sistema de recubrimiento de múltiples capas para reflejar selectivamente ondas electromagnéticas en un intervalo particular de longitudes de onda mientras se transmiten ondas electromagnéticas con longitudes de onda fuera del intervalo especificado. El sistema de recubrimiento de múltiples capas divulgado implica múltiples capas de capas de recubrimiento secundario, en el que cada capa de recubrimiento secundario comprende una pluralidad de partículas esféricas bien separadas y una pluralidad de huecos esféricos bien separados que están distribuidos aleatoriamente dentro de dicha capa de recubrimiento secundario. El filtrado selectivo de longitudes de onda electromagnéticas en el sistema de recubrimiento de múltiples capas divulgado depende de la disposición particular de las capas de recubrimiento secundario, en el que cada capa de recubrimiento secundario se caracteriza por partículas esféricas y huecos esféricos de tamaños de diámetro únicos.

40 El sistema de recubrimiento de múltiples capas divulgado en el presente documento se puede aplicar fácilmente a todo tipo de textiles, así como a cualquier superficie que se pueda recubrir, incluyendo automóviles, hogares y edificios (paredes, cristales de ventanas, techos, etc.), oleoductos, gasoductos, acueductos, muebles, papel, electrónica y diversos enseres y electrodomésticos, etc.

A continuación se resumen varios ejemplos de realizaciones.

50 En el primer ejemplo de realización, se proporciona un sistema de recubrimiento que comprende múltiples capas de recubrimientos secundarios, en el que una primera capa se coloca sobre un sustrato, una segunda capa se coloca sobre la primera capa, una tercera capa se coloca sobre la segunda capa y una cuarta capa se coloca sobre la tercera capa. La primera capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $a_1$  que están distribuidas aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_1$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas. La segunda capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $a_2 > a_1$  que están distribuidas aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_1$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas. La tercera capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $a_3 > a_2$  que se distribuyen aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_1$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas. Y la cuarta capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $a_4 > a_3$  que están distribuidas aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_1$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas.

65 En el segundo ejemplo de realización, se proporciona un sistema de recubrimiento que comprende múltiples capas de recubrimientos secundarios, en el que una primera capa se coloca sobre un sustrato, una segunda capa se coloca sobre la primera capa, una tercera capa se coloca sobre la segunda capa y una cuarta capa se coloca sobre la tercera capa. La primera capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $a_1$  y una pluralidad de huecos esféricos bien separados de radio  $b_1 > a_1$  que están distribuidos aleatoriamente, y un material

de relleno de índice de refracción  $n_1$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas y huecos esféricos. La segunda capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $a_2 > a_1$  y una pluralidad de huecos esféricos de radio  $b_2$  (en la que  $b_2 > a_2$  y  $b_2 > b_1$ ) que se distribuyen aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_1$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas y huecos esféricos. La tercera capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $a_3 > a_2$  y una pluralidad de huecos esféricos de radio  $b_3$  (en la que  $b_3 > a_3$  y  $b_3 > b_2$ ) que se distribuyen aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_1$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas y huecos esféricos. Y la cuarta capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $a_4 > a_3$  y una pluralidad de huecos esféricos de radio  $b_4$  (en la que  $b_4 > a_4$  y  $b_4 > b_3$ ) que se distribuyen aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_1$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas y huecos esféricos.

En el tercer ejemplo de realización, se proporciona un sistema de recubrimiento que comprende múltiples capas de recubrimientos secundarios, en el que una primera capa se coloca sobre un sustrato, una segunda capa se coloca sobre la primera capa, una tercera capa se coloca sobre la segunda capa, y una cuarta capa se coloca sobre la tercera capa. La primera capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $c_1$  que están distribuidas aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_1$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas. La segunda capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $c_1$  que están distribuidas aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_2 > n_1$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas. La tercera capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $c_1$  que están distribuidas aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_3 > n_2$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas. Y la cuarta capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $c_1$  que están distribuidas aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_4 > n_3$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas.

En el cuarto ejemplo de realización, se proporciona un sistema de recubrimiento que comprende múltiples capas de recubrimientos secundarios, en el que una primera capa se coloca sobre un sustrato, una segunda capa se coloca sobre la primera capa, una tercera capa se coloca sobre la segunda capa y una cuarta capa se coloca sobre la tercera capa. La primera capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $c_1$  y una pluralidad de huecos esféricos bien separados de radio  $c_2 > c_1$  que están distribuidos aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_1$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas y huecos esféricos. La segunda capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $c_1$  y una pluralidad de huecos esféricos bien separados de radio  $c_2 > c_1$  que están distribuidos aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_2 > n_1$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas y huecos esféricos. La tercera capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $c_1$  y una pluralidad de huecos esféricos bien separados de radio  $c_2 > c_1$  que están distribuidos aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_3 > n_2$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas y huecos esféricos. Y la cuarta capa incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $c_1$  y una pluralidad de huecos esféricos bien separados de radio  $c_2 > c_1$  que están distribuidos aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n_4 > n_3$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas y huecos esféricos.

Los materiales para el sustrato se pueden seleccionar de un grupo que consiste en materiales conductores, materiales dieléctricos, materiales cerámicos, materiales compuestos, materiales semiconductores, materiales poliméricos y textiles.

Los materiales de relleno se pueden seleccionar de un grupo que consiste en materiales dieléctricos, materiales cerámicos, materiales compuestos (mezclas de compuestos) y materiales poliméricos.

Los materiales para cada partícula esférica se pueden seleccionar de un grupo que consta de materiales conductores, materiales dieléctricos y materiales semiconductores.

Cada partículas esférica puede estar formada por un material sólido, una cubierta conductora hueca, un núcleo dieléctrico rodeado por una cubierta conductora o formado por un núcleo conductor rodeado por una cubierta dieléctrica.

Cada hueco esférico puede estar formado por una cubierta dieléctrica hueca, en la que la cavidad puede llenarse con un gas o permanecer vacía.

Cada capa en un sistema de recubrimiento de múltiples capas tiene un espesor que varía de 0,01 micrómetros a 10.000 micrómetros.

Cada partícula esférica tiene un radio que varía de 0,001 micrómetros a 250 micrómetros.

Cada hueco esférico tiene un radio de cavidad que varía de 0,002 micrómetros a 500 micrómetros.

En el quinto y sexto ejemplos de realizaciones, los sistemas de recubrimiento de múltiples capas ilustrados en los ejemplos de realizaciones anteriores (el primero, segundo, tercero y cuarto ejemplos de realizaciones) están intercalados entre un primer electrodo y un segundo electrodo, en el que se aplica un primer voltaje al primer electrodo y un segundo voltaje que es diferente del primer voltaje al segundo electrodo.

5 Los electrodos están formados por conductores planos, en los que los conductores se seleccionan entre materiales ópticamente transparentes que también transmiten longitudes de onda infrarrojas de interés.

10 Los electrodos están formados por conductores, en los que los conductores están modelados con estructuras de rejilla o reja, o con patrones más complicados, tales como una matriz de agujeros o cuadrados, etc. Las longitudes de onda infrarrojas de interés y la luz visible se transmiten a través de las aberturas en los electrodos estampados.

15 En el caso de que los electrodos estén estampados, los materiales conductores para los electrodos no se limitan únicamente a materiales conductores que son ópticamente transparentes o transmiten longitudes de onda infrarrojas de interés, sino que se puede utilizar cualquier material conductor.

### Efectos ventajosos de la invención

20 Un sistema de recubrimiento de múltiples capas de acuerdo con la presente invención mejora el aislamiento contra la pérdida de calor al reflejar la radiación infrarroja.

### Descripción de los dibujos

25 Para una comprensión más completa de la invención, se hace referencia a la siguiente descripción y los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 representa un diagrama esquemático de un sistema de recubrimiento de múltiples capas de acuerdo con la invención;

30 La Figura 2 muestra un conjunto de realizaciones de un sistema de recubrimiento de múltiples capas de acuerdo con la invención, en el que la vista en sección transversal es a lo largo de la línea AB en la Figura 1;

La Figura 3 muestra otro conjunto de realizaciones de un sistema de recubrimiento de múltiples capas de acuerdo con la invención, en el que la vista en sección transversal es a lo largo de la línea AB en la Figura 1;

La Figura 4 es un diagrama que ilustra un ejemplo de operación de bloqueo selectivo (o reflexión) de radiación electromagnética en un intervalo particular de longitudes de onda mientras se transmite el resto;

35 La Figura 5 muestra dos casos en los que se aplica un sistema de recubrimiento de múltiples capas a una tubería que contiene agua caliente;

La Figura 6 es un gráfico de ( $Q_{ext}$ ,  $Q_{bac}$ ,  $\Delta Q = Q_{bac} - Q_{ext}$ ) frente a la longitud de onda, en el que una partícula esférica de aluminio de radio  $a = 300$  nm incrustada en un medio (material de relleno) que tiene un índice de refracción  $n = 1,4962$  se irradia con radiación electromagnética;

40 La Figura 7 es un perfil de gráfico polar de irradiancia dispersa correspondiente a un caso en la Figura 6, en el que una partícula esférica de aluminio de radio  $a = 300$  nm incrustada en un medio (material de relleno) que tiene un índice de refracción  $n = 1,4962$  se irradia desde la izquierda;

45 La Figura 8 es un perfil de gráfico polar de irradiancia dispersa correspondiente a un caso en la Figura 6, en el que una partícula esférica de aluminio de radio  $a = 300$  nm incrustada en un medio (material de relleno) que tiene un índice de refracción  $n = 1,4962$  se irradia desde la izquierda;

La Figura 9 es un gráfico de ( $Q_{ext}$ ,  $Q_{bac}$ ,  $\Delta Q = Q_{bac} - Q_{ext}$ ) frente a la longitud de onda, en el que una partícula esférica de aluminio de radio  $a = 100$  nm incrustada en un medio (material de relleno) que tiene un índice de refracción  $n = 1,4962$  se irradia con radiación electromagnética;

50 La Figura 10 es un perfil de gráfico polar de irradiancia dispersa correspondiente a un caso en la Figura 9, en el que una partícula esférica de aluminio de radio  $a = 100$  nm incrustada en un medio (material de relleno) que tiene un índice de refracción  $n = 1,4962$  se irradia desde la izquierda;

La Figura 11 es un perfil de gráfico polar de irradiancia dispersa correspondiente a un caso en la Figura 9, en el que una partícula esférica de aluminio de radio  $a = 100$  nm incrustada en un medio (material de relleno) que tiene un índice de refracción  $n = 1,4962$  se irradia desde la izquierda;

55 La Figura 12 es un gráfico de  $\Delta Q = Q_{bac} - Q_{ext}$  frente a la longitud de onda, en el que una partícula esférica de aluminio incrustada en un medio (material de relleno) que tiene un índice de refracción  $n = 1,4962$  se irradia con radiación electromagnética;

La Figura 13 es un gráfico de  $\Delta Q = Q_{bac} - Q_{ext}$  en función de la longitud de onda, en el que un hueco esférico incrustado en un medio (material de relleno) que tiene un índice de refracción  $n = 1,4962$  se irradia con radiación electromagnética;

60 La Figura 14 es un perfil de gráfico polar de irradiancia dispersa correspondiente a un caso en la Figura 13, en el que un hueco esférico de radio  $a = 200$  nm incrustado en un medio (material de relleno) que tiene un índice de refracción  $n = 1,4962$  se irradia desde la izquierda;

65 La Figura 15 es un perfil de gráfico polar de irradiancia dispersa correspondiente a un caso en la Figura 13, en el que un hueco esférico de radio  $a = 200$  nm incrustado en un medio (material de relleno) que tiene un índice de refracción  $n = 1,4962$  se irradia desde la izquierda;

La Figura 16 es un gráfico de  $\Delta Q = Q_{\text{bac}} - Q_{\text{ext}}$  frente a la longitud de onda, en el que una partícula esférica de aluminio de radio  $a = 200$  nm incrustada en un medio (material de relleno) que tiene un índice de refracción  $n$  se irradia con radiación electromagnética;

La Figura 17 muestra (A) una red cuadrada y (B) el proceso de fabricación; y

La Figura 18 muestra un conjunto de realizaciones de un filtro activo de longitud de onda electromagnética basado en un sistema de recubrimiento de múltiples capas de acuerdo con la invención, en el que la vista en sección transversal es a lo largo de la línea AB en la Figura 1.

### Mejor modo

Se describirán ahora en detalle varios ejemplos de realizaciones con referencia a los dibujos adjuntos, en los que algunas de los ejemplos de realizaciones se muestran con números de referencia similares que se refieren a elementos similares en todas partes. Debe entenderse que no hay intención de limitar los ejemplos de realizaciones a las formas particulares divulgadas en el presente documento, ya que estos ejemplos de realizaciones se proporcionan simplemente, haciendo referencia a las figuras, para explicar aspectos de la presente divulgación. Los ejemplos de realizaciones en el presente documento son para cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que caen dentro del alcance de la presente divulgación.

En los dibujos, los espesores de capas, regiones, tamaños de partículas esféricas y huecos esféricos pueden exagerarse para mayor claridad, y los números similares se refieren a elementos similares a lo largo de la descripción de las figuras. Los ejemplos de realizaciones en el presente documento se describen con referencia a las ilustraciones en sección transversal de realizaciones idealizadas. Por lo tanto, las formas o regiones particulares en los ejemplos de realizaciones no deben interpretarse como limitadas a las formas o regiones particulares ilustradas en los ejemplos de realizaciones, pero tales formas o regiones pueden incluir desviaciones que resultan de las tolerancias de fabricación. Por ejemplo, una partícula esférica en el ejemplo de realización puede estar representada realmente por una partícula con forma esferoidal que se desvía ligeramente de una esfera ideal en un dispositivo real.

A lo largo de la descripción, los términos como "primera capa", "segunda capa", "tercera capa", "cuarta capa", etc. se utilizan para referirse a capas particulares en los ejemplos de realizaciones. De manera equivalente, los términos como "capa uno", "capa dos", "capa tres", "capa cuatro" y así sucesivamente se utilizarían en su lugar cuando sea más apropiado.

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

En la Figura 1 se ilustra en 900 un diagrama esquemático de un sistema de recubrimiento divulgado en esta descripción. En la Figura 2 se ilustra en 100 el primer ejemplo de realización, en la que comprende una primera capa 101 colocada sobre un sustrato 10, una segunda capa 102 colocada sobre la primera capa 101, una tercera capa 103 colocada sobre la segunda capa 102, y una cuarta capa 104 colocada sobre la tercera capa 103. El primer ejemplo de realización 100 es una vista en sección transversal de 900 que se tomó a lo largo de la línea AB.

Aunque solo hay cuatro capas de recubrimiento secundario que se representan en 100 (o 900), no hay límites en el número de capas de recubrimiento secundario en un sistema de recubrimiento de múltiples capas. Sin embargo, en aras de ilustraciones concisas, un sistema de recubrimiento de múltiples capas con solo cuatro capas de recubrimiento secundario se considera en los ejemplos de realizaciones.

En la realización 100 preferida de la Figura 2, cada capa de recubrimiento secundario (101, 102, 103 y 104) se muestra con un nivel diferente de espesor para enfatizar las diferencias en la distribución de tamaño de las partículas esféricas para diferentes capas de recubrimiento secundario. Por otra parte, no hay límite sobre el grosor que debe tener cada capa de recubrimiento secundario, excepto que una capa de recubrimiento secundario debe ser al menos lo suficientemente gruesa para contener una partícula esférica. Dicho brevemente, cada capa de recubrimiento secundario debe ser al menos tan gruesa como el diámetro de una partícula esférica que la contiene.

En un ejemplo de realización 100, así como en los ejemplos de realizaciones posteriores, las partículas esféricas en cada una de las capas de recubrimiento secundario se representan con disposiciones desordenadas (aleatorias). Aunque no hay nada en las operaciones de la presente divulgación que evite que las partículas esféricas en cada una de las capas de recubrimiento secundario tengan una disposición de patrón ordenado, tal como disposiciones de red en estructuras cristalinas y cristales fotónicos, se prefiere que las partículas, así como los huecos presentes, sean distribuidos aleatoriamente en cada una de las capas de recubrimiento secundario. La razón detrás de esto es simple. Cuando las partículas esféricas están dispuestas en un patrón ordenado (es decir, cuando las partículas están dispuestas con un espaciado de red definido), las reflexiones electromagnéticas tienen lugar profundamente en un conjunto discreto de valores de longitud de onda que están determinados por la constante de red de acuerdo con la ley de Bragg. Aunque dicha característica es ideal para aplicaciones de ajuste, en las que solo se seleccionan valores de longitud de onda discretas para el ajuste, no es adecuada para el tipo de aplicaciones a las que se dirige

la presente invención. Por ejemplo, la porción infrarroja del espectro electromagnético, cuya porción representa la mayor parte de las energías térmicas, se extiende desde 0,7 micrómetros hasta aproximadamente 1.000 micrómetros en longitudes de onda. Para que las operaciones de bloqueo de calor tengan éxito, es necesario reflejar las energías electromagnéticas infrarrojas que cubren una amplia gama de longitudes de onda. Tales operaciones no se pueden lograr con partículas esféricas que están dispuestas en un espaciado de red regular, ya que dicha configuración solo refleja selectivamente de manera profunda un conjunto discreto de longitudes de onda determinadas por la constante de red de acuerdo con la ley de Bragg. Pero cuando las partículas esféricas se distribuyen aleatoriamente, las reflexiones electromagnéticas infrarrojas, aunque menos profundas en magnitud, ocurren en un amplio intervalo de longitudes de onda, que es la característica preferida de las operaciones de bloqueo de calor exitosas.

El sistema de recubrimiento de múltiples capas divulgado en el presente documento se puede aplicar directamente a prácticamente cualquier superficie. Estos incluyen superficies que se encuentran en casas, electrodomésticos, ventanas, automóviles, textiles, ropa, papeles, electrónica, cerámica, etc. Por lo tanto, si 100 representa una vista en sección transversal del sistema de recubrimiento (pintura) aplicado en una pared, entonces el sustrato 10 representa una pared; mientras que si 100 es una vista en sección transversal del sistema de recubrimiento aplicado sobre un textil, entonces el sustrato 10 representa un tejido; y si 100 es una vista en sección transversal de un sistema de recubrimiento aplicado sobre un cristal de ventana, entonces el sustrato 10 representa un vidrio.

Los materiales para el sustrato 10 pueden seleccionarse de un grupo que consiste en materiales conductores, materiales dieléctricos, materiales cerámicos, materiales compuestos, materiales semiconductores, materiales poliméricos y textiles. En el presente documento, los materiales cerámicos, materiales compuestos, materiales poliméricos y textiles 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, dependiendo de las composiciones reales de un material, cada uno de los materiales cerámicos, materiales compuestos, materiales poliméricos y textiles 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, lo que también incluye cualquiera de los materiales cerámicos, materiales compuestos, materiales poliméricos, o textiles que se clasifican como material dieléctrico. 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, lo que también incluye cualquiera de los materiales cerámicos, materiales compuestos, materiales poliméricos o textiles que se clasifican como material conductor. 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, lo que también incluye cualquiera de los materiales cerámicos, materiales compuestos, materiales poliméricos o textiles que se clasifique como material semiconductor.

Con eso aclarado, una lista de materiales conductores que se pueden usar para formar el sustrato 10 incluye, pero no se limita a, aluminio, cromo, cobalto, cobre, oro, iridio, litio, molibdeno, níquel, osmio, paladio, platino, rodio, plata, tantalio, titanio, tungsteno, vanadio, una de sus aleaciones (por ejemplo, aluminio-cobre y acero) y una mezcla de los mismos. Una lista de materiales compuestos que se pueden usar 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, fibras de vidrio, un ladrillo y diversos vidrios compuestos. Una lista de materiales poliméricos que pueden usarse para formar el sustrato 10 incluye, entre otros, poli(ac)rilamida, poli(ac)rilato, poli(diac)etileno, poli(ep)óxido, poli(éter), poli(et)ileno, poli(im)idazol, poli(im)ida, poli(met)ilacrilato, poli(met)ilmetacrilato, poli(péptido), poli(fenilén)-vinileno, poli(fosfato) poli(pirrol), poli(sac)árido, poli(estireno), poli(sulfona), poli(tio)fenol, poli(uretano), poli(vinilo) y similares. El sustrato 10 también se puede formar a partir de otros materiales poliméricos tales como agarosa, celulosa, epoxi, hidrogel, gel de sílice, vidrio de sílice, siloxano y similares. Una lista de textiles que pueden usarse para formar el sustrato 10 incluye textiles de animales, textiles de plantas, textiles minerales, textiles sintéticos y combinaciones de los mismos.

Cada capa de recubrimiento secundario en 100 incluye una pluralidad de partículas esféricas bien separadas de radio  $a$  que están distribuidas aleatoriamente, y un material de relleno de índice de refracción  $n$  que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas. En el ejemplo de realización 100, la capa 101 de recubrimiento secundario incluye una pluralidad de partículas 11 esféricas bien separadas que están distribuidas aleatoriamente, y un material 51 de relleno que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas; la capa 102 de recubrimiento secundario incluye una pluralidad de partículas 12 esféricas bien separadas que están distribuidas aleatoriamente, y un material 52 de relleno que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas; la capa 103 de recubrimiento secundario incluye una pluralidad de partículas 13 esféricas bien separadas que están distribuidas al azar, y un material 53 de relleno que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas; y la capa 104 de recubrimiento secundario incluye una pluralidad de partículas 14 esféricas bien separadas que están distribuidas aleatoriamente, y un material 54 de relleno que se ubica en los espacios entre dichas partículas esféricas. En el caso de 100, los índices de refracción son los mismos para los materiales 51, 52, 53 y 54 de relleno.

Y los diámetros de las partículas 11, 12, 13 y 14 esféricas satisfacen  $d_{11} < d_{12} < d_{13} < d_{14}$ , en los que  $d_{11}$ ,  $d_{12}$ ,  $d_{13}$  y  $d_{14}$  son los diámetros respectivos para las partículas 11, 12, 13 y 14 esféricas.

5 Los materiales 51, 52, 53 y 54 de relleno pueden seleccionarse de un grupo que consiste en materiales dieléctricos, materiales cerámicos, materiales compuestos (mezclas compuestas) y materiales poliméricos. Una lista de estos incluye, entre otros, pintura, arcilla, pegamento, cemento, asfalto, materiales poliméricos, gelatina, vidrios, resinas, aglutinantes, óxidos y combinaciones de los mismos. Una lista de mezclas compuestas incluye pintura, arcilla, pegamento, cemento y similares. Una lista de materiales poliméricos incluye, entre otros, agarosa, celulosa, epoxi, hidrogel, poliacrilamida, poliácrlato, polidiacetileno, poliepóxido, poliéter, polietileno, poliimidazol, poliimida, 10 polimetilacrilato, polimetilmetacrilato, polipéptido, polifenilén-vinileno, polifosfato, polipirrol, polisacárido, poliestireno, polisulfona, poltiofeno, poliuretano, polivinilo y similares. Los materiales 51, 52, 53 y 54 de relleno también se pueden formar a partir de otros materiales poliméricos tales como agarosa, celulosa, epoxi, hidrogel, gel de sílice, vidrio de sílice, siloxano y similares. Varias resinas incluyen resinas sintéticas tales como resinas acrílicas y resinas vegetales tales como masillas. Una lista de materiales dieléctricos a base de óxido 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 tantalio, dióxido de telurio, dióxido de titanio, óxido de itrio, óxido de iterbio, óxido de zinc, dióxido de circonio y similares.

20 Los materiales para partículas 11, 12, 13 y 14 esféricas pueden seleccionarse de un grupo que consiste en materiales conductores, materiales dieléctricos y materiales semiconductores. Una lista de materiales conductores que se pueden usar para formar partículas 11, 12, 13 y 14 esféricas 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. Las partículas 11, 12, 13 y 14 esféricas también pueden estar formadas por cuerpos compuestos, tales como partículas esféricas 25 estructuradas de cubierta de núcleo, en los que un núcleo conductor está rodeado por una cubierta aislante o viceversa (un núcleo aislante o una cavidad rodeada por una cubierta conductora). Aunque también se pueden seleccionar materiales dieléctricos con índices de refracción grandes o materiales semiconductores para las partículas 11, 12, 13 y 14 esféricas, los materiales conductores son las opciones preferidas.

30 Un ejemplo de realización 200 de la Figura 2 es una variante del ejemplo de realización 100 en la que se introducen huecos esféricos distribuidos aleatoriamente en las capas 201, 202, 203 y 204 de recubrimiento secundario. En un ejemplo de realización 200, los diámetros de los huecos esféricos de diferentes capas de recubrimiento secundario satisfacen  $d_{21} < d_{22} < d_{23} < d_{24}$ , en los que  $d_{21}$ ,  $d_{22}$ ,  $d_{23}$  y  $d_{24}$  son los diámetros de los huecos 21, 22, 23 y 24, 35 esféricos respectivamente. Al igual que en 100, los diámetros de partículas esféricas de diferentes capas de recubrimiento secundario satisfacen  $d_{11} < d_{12} < d_{13} < d_{14}$ . Y los diámetros de las partículas esféricas y los huecos esféricos están relacionados por  $d_{11} < d_{21}$ ,  $d_{12} < d_{22}$ ,  $d_{13} < d_{23}$  y  $d_{14} < d_{24}$ .

40 Cuando el número límite de huecos esféricos distribuidos aleatoriamente se vuelve muy grande y el diámetro de cada uno de los huecos se vuelve muy pequeño, cada capa de recubrimiento secundario en un sistema de recubrimiento de múltiples capas del ejemplo de realización 200 se convierte en una estructura de aerogel que comprende partículas esféricas distribuidas aleatoriamente. Un aerogel es un material poroso sintético.

45 Los huecos 21, 22, 23 y 24 esféricos pueden estar formados por cubiertas dieléctricas huecas, que también pueden estar llenas de gas.

50 En los ejemplos de realizaciones 100 y 200, así como en otras realizaciones, las partículas esféricas en cada una de las capas de recubrimiento secundario se representan para tener un tamaño de diámetro idéntico. Por ejemplo, en la capa 101 de recubrimiento secundario, la partícula 11 esférica tiene un tamaño de diámetro de  $d_{11}$ . En realidad, es extremadamente difícil, si no imposible, fabricar dos materiales diferentes de partículas esféricas con el mismo tamaño de diámetro. Por lo tanto, los diámetros  $d_{11}$ ,  $d_{12}$ ,  $d_{13}$  y  $d_{14}$  deben interpretarse como diámetros promedio, en los que  $d_{11}$  es un tamaño de diámetro promedio para una pluralidad de partículas 11 esféricas,  $d_{12}$  es un tamaño de diámetro promedio para una pluralidad de partículas 12 esféricas,  $d_{13}$  es un el tamaño de diámetro promedio para una pluralidad de partículas 13 esféricas, y  $d_{14}$  es un tamaño de diámetro promedio para una pluralidad de partículas 14 esféricas. Asimismo, los diámetros para huecos esféricos en el ejemplo de realización 200 también deben 55 interpretarse como diámetros promedio. Por ejemplo,  $d_{21}$  es un tamaño de diámetro promedio para una pluralidad de huecos 21 esféricos,  $d_{22}$  es un tamaño de diámetro promedio para una pluralidad de huecos 22 esféricos,  $d_{23}$  es un tamaño de diámetro promedio para una pluralidad de huecos 23 esféricos y  $d_{24}$  es un tamaño de diámetro promedio para una pluralidad de huecos 24 esféricos.

60 En otro ejemplo de realización 300, Figura 3, las partículas esféricas de un tamaño de diámetro se distribuyen aleatoriamente a través de diferentes capas 301, 302, 303 y 304 de recubrimiento secundario, en las que cada una de las capas de recubrimiento secundario tienen diferentes índices de refracción. Se puede visualizar un esquema tridimensional de 300 a partir de 900 de la Figura 1 identificando las capas 101, 102, 103 y 104 respectivamente con las capas 301, 302, 303 y 304. En ese sentido, el ejemplo de realización 300 representa una vista en sección 65 transversal de 900 a lo largo de la línea AB. Los índices de refracción para diferentes capas de recubrimiento

secundario en 300 satisfacen  $n_{61} < n_{62} < n_{63} < n_{64}$ , en las que  $n_{61}$ ,  $n_{62}$ ,  $n_{63}$  y  $n_{64}$  representan el índice de refracción para los materiales 61, 62, 63 y 64 de relleno, respectivamente.

5 Los materiales 61, 62, 63 y 64 de relleno pueden seleccionarse de los enumerados para los materiales 51, 52, 53 y 54 de relleno.

Los materiales para partículas 15 esféricas pueden seleccionarse de los enumerados para las partículas 11, 12, 13 y 14 esféricas.

10 Un ejemplo de realización 400 de la Figura 3 es una variante del ejemplo de realización 300 en la que también están presentes huecos esféricos distribuidos aleatoriamente en las capas 401, 402, 403 y 404 de recubrimiento secundario. Como en el caso del ejemplo de realización 300, los índices de refracción para las capas de recubrimiento secundario satisfacen  $n_{61} < n_{62} < n_{63} < n_{64}$ . Sin embargo, el diámetro de los huecos esféricos se elige de tal manera que sea mayor que el diámetro de la partícula 15 esférica. Los diámetros de la partícula 15 esférica y del hueco 25 esférico en el ejemplo de realización 400 satisfacen  $d_{15} < d_{25}$ , en la que  $d_{15}$  y  $d_{25}$  representan los diámetros para la partícula 15 esférica y el hueco 25 esférico, respectivamente.

15 Los materiales para el hueco 25 esférico pueden seleccionarse de los enumerados para los huecos 21, 22, 23 y 24 esféricos.

20 Aunque la realización 300 (400) se ha descrito en el presente documento como una alternativa a la realización 100 (200) preferida, el sistema de recubrimiento de múltiples capas basado en 300 (400) sufre reflexiones internas que se producen en las interfaces de diferentes capas de recubrimiento secundario debido a diferentes índices de refracción para las capas de recubrimiento secundario. Tales reflexiones internas contribuyen inevitablemente al autocalentamiento del sistema de recubrimiento de múltiples capas.

25 En lo sucesivo, se describirán en detalle las operaciones del sistema de recubrimiento de múltiples capas de acuerdo con uno o más ejemplos de realizaciones.

30 En la Figura 4 se representa una ilustración esquemática que muestra las operaciones de transmisión y reflexión en un sistema 100 ideal de recubrimiento de múltiples capas, en contraposición al sistema 100 físico (realista) de recubrimiento de múltiples capas. Aunque las operaciones de transmisión y reflexión ilustradas en la Figura 4 podrían ser demasiado ideales para un sistema de recubrimiento físico de múltiples capas, la ilustración proporciona una descripción concisa de cómo se filtran selectivamente las longitudes de onda en un sistema de recubrimiento de múltiples capas. Más adelante se demostrará que un sistema de recubrimiento físico de múltiples capas también exhibe características equivalentes representadas en la Figura 4. Teniendo esto en cuenta, ahora se describen las operaciones de transmisión y reflexión en un sistema ideal de recubrimiento de múltiples capas.

35 Un sistema ideal de recubrimiento de múltiples capas comprende capas ideales de recubrimiento secundario. Por lo tanto, un sistema 100 ideal de recubrimiento de múltiples capas está compuesto por las capas 101, 102, 103 y 104 ideales de recubrimiento secundario. Las operaciones de transmisión y reflexión en un sistema 100 ideal de recubrimiento de múltiples capas se representan en la Figura 4, en la que 501 describe las operaciones de transmisión y reflexión asociadas con una capa 101 ideal de recubrimiento secundario y 504 describe las operaciones similares para una capa 104 ideal de recubrimiento secundario. Los dos esquemas de operaciones restantes, que no se han marcado explícitamente en la Figura 4, se pueden asociar fácilmente con las capas 102 y 103 ideales de recubrimiento secundario.

40 En una capa 104 ideal de recubrimiento secundario, una onda electromagnética incidente de longitud de onda  $\lambda$  se transmite completamente para  $\lambda < \lambda_4$ , se refleja completamente para  $\lambda_4 \leq \lambda \leq \lambda_c$ , y se transmite y refleja parcialmente para  $\lambda > \lambda_c$ . Las capas de recubrimiento secundario con tales características de filtrado de longitud de onda tienen aplicaciones útiles en cristales de ventanas, en los que se desea mucho reflejar el calor o las ondas electromagnéticas infrarrojas mientras se transmiten ondas electromagnéticas del espectro visible y las longitudes de onda utilizadas por las industrias de la radiodifusión y la comunicación.

45 El ancho de una región reflectante en la capa de recubrimiento secundario es finito. Para una capa 104 ideal de recubrimiento secundario, el ancho de una región reflectante viene dado por  $\Delta\lambda = \lambda_c - \lambda_4$ . En general, la capa física de recubrimiento secundario tiene un ancho  $\Delta\lambda$  muy estrecho para la región de reflexión. Por esa razón, una sola capa de recubrimiento secundario, a menudo en las aplicaciones de bloqueo de calor, no es suficiente para bloquear todas las longitudes de onda no deseadas en el espectro infrarrojo. Afortunadamente, la región reflectante en una capa de recubrimiento secundario se puede desplazar en los dominios de la longitud de onda controlando los diámetros de las partículas esféricas comprendidas en la capa de recubrimiento secundario. Para ilustrar esto, considérese 501 (véase la Figura 4) que describe operaciones de transmisión y reflexión en una capa 101 ideal de recubrimiento secundario. El resultado de 501 se puede comparar con el resultado de 504, que describe operaciones de transmisión y reflexión en una capa 104 ideal de recubrimiento secundario para las partículas esféricas de mayor tamaño de diámetro. Comparando los dos, se puede notar que el borde inicial de una región reflectante en 501 ocurre en  $\lambda = \lambda_1$ , en la que  $\lambda_4 > \lambda_1$ . Tal desplazamiento en el borde inicial para una región

reflectante en 501 se atribuye a las partículas 11 esféricas más pequeñas que están distribuidas aleatoriamente dentro de una capa 101 de recubrimiento secundario. En el ejemplo de realización 100, los diámetros de las partículas esféricas de diferentes capas de recubrimiento secundario satisfacen  $d_{11} < d_{12} < d_{13} < d_{14}$ ; y tal disposición de partículas esféricas en un sistema 100 ideal de recubrimiento de múltiples capas refleja las operaciones de transmisión y reflexión mostradas en la Figura 4.

Una sola capa de recubrimiento secundario puede no ser suficiente para reflejar todas las longitudes de onda no deseadas debido a su ancho finito  $\Delta\lambda$  para la región reflectante. Sin embargo, las capas de recubrimiento secundario, tales como 101, 102, 103 y 104, pueden apilarse juntas para formar un sistema de recubrimiento de múltiples capas que tiene un ancho efectivo  $(\Delta\lambda)_{ef}$  mayor para la región reflectante. Por ejemplo, un sistema 100 ideal para recubrimiento de múltiples capas, en el que las operaciones de transmisión y reflexión se representan en la Figura 4, tiene un ancho efectivo de  $(\Delta\lambda)_{ef} = \lambda_c - \lambda_1$  para la región reflectante. En un sistema 100 ideal de recubrimiento de múltiples capas, cualquier onda electromagnética de longitudes de onda no deseadas que no haya sido reflejada por la capa 104 de recubrimiento secundario finalmente se refleja en las subsiguientes capas de 101, 102 y 103 de recubrimiento secundario. Las ondas reflejadas que pertenecen al dominio de longitud de onda  $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_4$  en la Figura 4 están libres de quedar atrapadas dentro del sistema 100 de recubrimiento de múltiples capas, ya que no hay regiones reflectantes en la trayectoria de viaje de estas ondas electromagnéticas. Por ejemplo, supóngase que una onda electromagnética en el dominio de longitud de onda  $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$  se refleja en una capa 101 de recubrimiento secundario (véase 501 en la Figura 4). Dicha onda electromagnética reflejada viajaría a través de las capas 102, 103 y 104 de recubrimiento secundario sin reflexiones internas, escapando finalmente del sistema 100 de recubrimiento de múltiples capas. No se producen reflexiones internas porque no hay regiones reflectantes en su trayectoria de viaje. También es por esa razón que cualquier onda electromagnética reflejada que pertenezca al dominio de longitud de onda  $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_4$  no contribuye al autocalentamiento en un sistema de recubrimiento de múltiples capas. Sin embargo, las ondas electromagnéticas en el dominio de longitud de onda  $\lambda > \lambda_c$  se transmiten parcialmente y se reflejan parcialmente a medida que viajan a través de las capas de recubrimiento secundario subsiguientes. Estas ondas electromagnéticas están sujetas a reflexiones internas en las interfaces entre las capas de recubrimiento secundario. Como consecuencia, estas ondas electromagnéticas contribuyen al autocalentamiento del sistema 100 de recubrimiento de múltiples capas. Afortunadamente, las ondas electromagnéticas en el dominio de longitud de onda  $\lambda > \lambda_c$  no son tan energéticas como las del dominio de longitud de onda  $\lambda \leq \lambda_4$ . Estas ondas electromagnéticas en el dominio de longitud de onda  $\lambda > \lambda_c$  contribuyen de manera insignificante en el calentamiento de un sistema de recubrimiento de múltiples capas.

En las ilustraciones anteriores, el sistema de recubrimiento de múltiples capas se ha irradiado en la parte superior. En el caso del ejemplo de la realización 100, la parte superior es la capa 104 de recubrimiento secundario y la parte inferior es el sustrato 10. El sistema 100 de recubrimiento de múltiples capas también puede irradiarse desde la parte inferior y muchas de las operaciones básicas de transmisión y reflexión de ondas electromagnéticas serían aún descritas como se ilustra en la Figura 4. Por ejemplo, las ondas electromagnéticas incidentes con longitudes de onda que satisfacen  $0 < \lambda < \lambda_1$  todavía se transmitirían completamente a través de las capas de recubrimiento secundario, mientras que aquellas ondas con longitudes de onda que satisfacen  $\lambda > \lambda_c$  se transmitirían y reflejarían parcialmente. Sin embargo, una modificación importante en las operaciones de transmisión y reflexión tiene lugar cuando la dirección de la onda electromagnética de incidencia se invierte 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, aquellas ondas con longitudes de onda que satisfacen  $\lambda_4 < \lambda \leq \lambda_c$  en la Figura 4 se reflejan parcialmente y se transmiten parcialmente para el caso en el que la dirección de la onda electromagnética de incidencia se invierte en la Figura 2. Las ondas electromagnéticas que se transmiten parcialmente a las regiones A, B y C sufren reflexiones internas que tienen lugar entre las diferentes capas de recubrimiento secundario. Tales reflexiones internas contribuyen al autocalentamiento del sistema de recubrimiento de múltiples capas.

En la Figura 5A se ilustra un caso en el que el sistema de recubrimiento de múltiples capas se aplica a una tubería que lleva agua caliente. En esta ilustración, la superficie de la tubería se recubre primero con la capa SL2 de recubrimiento secundario y luego la capa SL2 de recubrimiento secundario se recubre con la capa SL1 de recubrimiento secundario. Con tal disposición de capas de recubrimiento secundario, el "agua caliente" dentro de la tubería puede aislarse adecuadamente de la temperatura ambiente más fría fuera de la tubería. Suponiendo que la SL2 es una capa ideal de recubrimiento secundario, cuyas operaciones de transmisión y reflexión de ondas se describieron anteriormente, las ondas de calor del "agua caliente" se reflejan internamente dentro de la tubería por la capa SL2 de recubrimiento secundario, evitando así que el "agua caliente" pierda calor. Por otro lado, cualquier calor de las fuentes externas se transmite parcialmente a través de la capa SL1 de recubrimiento secundario, y eso da como resultado las reflexiones internas dentro de SL1 que dan lugar al calentamiento de todo el sistema de recubrimiento de múltiples capas (recuérdense las ilustraciones con regiones A, B y C en la Figura 4). Tales procesos solo pueden resultar en la adición de más calor al "agua caliente" a través de procesos térmicos no radiantes (por ejemplo, transferencia de calor por conducción térmica directa), aunque la cantidad de energía térmica real transferida al "agua caliente" depende del estado de temperatura de las fuentes de calor externas.

En la Figura 5B se ilustra una situación opuesta, en la que la disposición de las capas SL1 y SL2 de recubrimiento secundario se invierten con respecto al caso de la Figura 5A. Bajo tal disposición de capas de recubrimiento secundario, el "agua caliente" dentro de la tubería pierde calor constantemente. Por ejemplo, el calor del "agua

caliente" se transmite parcialmente a través de la capa SL1 de recubrimiento secundario, y eso da como resultado reflexiones internas dentro de SL1 que, a su vez, terminan calentando todo el sistema de recubrimiento de múltiples capas. En tal configuración, se puede aumentar la pérdida de energía térmica de un proceso de conducción térmica directa, en oposición a un proceso térmico radiante.

5 A continuación, se describen en detalle las operaciones de transmisión y reflexión en el sistema físico de recubrimiento de múltiples capas.

10 La capa 104 física de recubrimiento secundario, a diferencia de una capa 104 ideal de recubrimiento secundario, no tiene dichas regiones de transmisión y reflexión tan claramente definidas mostradas en 504. Sin embargo, cuando las capas físicas de recubrimiento secundario se apilan entre sí para formar un sistema de recubrimiento de múltiples capas, las operaciones resultantes de transmisión y reflexión representan la mayoría de las características discutidas en la Figura 4 para un sistema ideal de recubrimiento.

15 En la Figura 6 se ilustran los gráficos del factor de eficiencia de dispersión hacia atrás (o retrodispersión)  $Q_{\text{bac}}$ , el factor de eficiencia de extinción  $Q_{\text{ext}}$  y la función de diferencia  $\Delta Q = Q_{\text{bac}} - Q_{\text{ext}}$  que se obtuvieron a partir de una configuración en la que está incrustada una partícula esférica de aluminio de radio  $a = 300$  nm en un medio (material de relleno) de índice de refracción  $n = 1,4962$  y se irradia con una onda electromagnética de incidencia de intensidad  $I_0$ . La teoría de Mie se ha utilizado para los cálculos de  $Q_{\text{bac}}$  y  $Q_{\text{ext}}$ . Dicho esto, se pueden identificar fácilmente dos  
20 regiones distintas en el gráfico de  $\Delta Q$  en la Figura 6. La primera región I, que tiene un intervalo especificado de  $0 < \lambda < 2,2$   $\mu\text{m}$ , se caracteriza por un valor negativo para  $\Delta Q$  ( $\Delta Q < 0$ ) mientras que la segunda región II, que tiene un intervalo especificado de  $2,2$   $\mu\text{m} \leq \lambda \leq 15$   $\mu\text{m}$ , se caracteriza por un valor positivo para  $\Delta Q$  ( $\Delta Q > 0$ ). Aunque no es evidente de inmediato en la Figura 6, el valor de  $\Delta Q$  se acerca a cero para ondas con longitudes de onda suficientemente grandes. En el caso de la Figura 6, tales ondas corresponden a aquellas con longitudes de onda  
25 que satisfacen  $\lambda \gg 15$   $\mu\text{m}$ . Tal región en la que  $\Delta Q$  se aproxima a cero puede identificarse como la tercera región III.

La correspondencia entre las regiones del gráfico de  $\Delta Q$  en la Figura 6 y las regiones de operaciones de transmisión y reflexión ilustradas en 504 (Figura 4) se demuestra para las longitudes de onda seleccionadas de las regiones I y II. En el cálculo, una partícula esférica de aluminio de radio  $a = 300$  nm, que está incrustada en un medio (material de relleno) de índice de refracción  $n = 1,4962$ , se irradia con una onda electromagnética de intensidad  $I_0$ . Para la demostración visual de ondas dispersas hacia delante y hacia atrás, la relación de intensidad de onda dispersa  $I_s$  y la intensidad de onda de incidencia  $I_0$  se ha representado en el gráfico polar para cada una de las longitudes de onda seleccionadas de las regiones I y II antes mencionadas. Los resultados para las longitudes de onda seleccionadas de la región I se muestran en la Figura 7 y los resultados para las longitudes de onda seleccionadas de la región II se muestran en la Figura 8, en las que en ambos gráficos polares una partícula de aluminio se ubica  
30 en el centro y se irradia desde la izquierda. Los resultados de la Figura 7 y Figura 8 revelan que las ondas de la región I están fuertemente dispersas hacia adelante (es decir, transmitidas) mientras que las ondas de la región II están predominantemente dispersas hacia atrás (es decir, reflejadas). Por lo tanto, la región I en la Figura 6 se puede asociar con el dominio de longitud de onda  $0 < \lambda < \lambda_4$  en 504; y la región II en la Figura 6 puede asociarse con el dominio de longitud de onda  $\lambda_4 < \lambda \leq \lambda_c$  en 504. Aunque no es inmediatamente evidente en la Figura 6 y Figura 8, la relación de la intensidad de la onda dispersa  $I_s$  y la intensidad de la onda de incidencia  $I_0$  se acerca a una unidad para las longitudes de onda que son suficientemente grandes. En el caso de la Figura 6, dichas longitudes de onda corresponden a las que satisfacen  $\lambda \gg 15$   $\mu\text{m}$ . Las ondas en esta región corresponden a aquellas ondas con longitudes de onda que satisfacen  $\lambda > \lambda_c$  en 504 de la Figura 4, en la que las ondas se transmiten parcialmente y se reflejan parcialmente con magnitudes iguales.  
35  
40  
45

En la Figura 9 se ilustran los gráficos del factor de eficiencia de retrodispersión  $Q_{\text{bac}}$ , el factor de eficiencia de extinción  $Q_{\text{ext}}$  y la función de diferencia  $\Delta Q = Q_{\text{bac}} - Q_{\text{ext}}$  que se obtuvieron a partir de una configuración en la que una partícula esférica de aluminio de radio  $a = 100$  nm está incrustada en un medio (material de relleno) de índice de refracción  $n = 1,4962$  y se irradia con una onda electromagnética de incidencia de intensidad  $I_0$ . Para la demostración visual de ondas dispersas hacia adelante y hacia atrás, la relación de la intensidad de la onda dispersa  $I_s$  y la intensidad de la onda de incidencia  $I_0$  se ha representado en el gráfico polar para cada una de las longitudes de onda seleccionadas de las regiones en las que  $Q < 0$  y  $\Delta Q > 0$  en la Figura 9. Los resultados para las longitudes de onda seleccionadas de las regiones correspondientes a  $\Delta Q < 0$  y  $\Delta Q > 0$  se muestran respectivamente en la  
50 Figura 10 y Figura 11, en las que una partícula esférica de aluminio se encuentra en el centro y se irradia desde la izquierda en ambos gráficos polares. Al igual que en el caso de la Figura 6, los resultados en el presente documento también muestran que las longitudes de onda de la región correspondiente a  $\Delta Q < 0$  están fuertemente dispersas hacia adelante mientras que las ondas de la región correspondiente a  $\Delta Q > 0$  están fuertemente dispersas hacia atrás. Sin embargo, en comparación con el caso de la Figura 6, la ubicación de la longitud de onda en la que  $\Delta Q = 0$  se desplaza hacia la longitud de onda más corta de la Figura 9. Tal característica es consistente con el desplazamiento de la "región reflectante" hacia la longitud de onda más corta con un tamaño de diámetro reducido para las partículas esféricas de aluminio en la Figura 4 (véase la Figura 2 para los diámetros de las partículas en cada una de las capas de recubrimiento secundario). Finalmente, en la Figura 12, los gráficos de  $\Delta Q$ s correspondientes a los diferentes radios de partículas esféricas de aluminio se han obtenido para comparación. Para  
55 el cálculo de la teoría de Mie de  $\Delta Q$ s, se han considerado los siguientes radios:  $a = 100$  nm,  $a = 300$  nm y  $a = 500$  nm.  
60  
65

El ejemplo de la realización 200 de la Figura 2 utiliza huecos esféricos para reducir la conductividad térmica asociada con una conducción térmica directa. En la Figura 13 se ilustra un gráfico de  $\Delta Q$  que se obtuvo para un caso en el que un hueco esférico de radio  $a$  está incrustado en un medio (material de relleno) de índice de refracción  $n = 1,4962$  y se irradia con una onda electromagnética de intensidad  $I_0$ . Los tres radios diferentes para un hueco esférico considerados en los cálculos son  $a = 200$  nm,  $a = 450$  nm y  $a = 700$  nm. Para la demostración visual de ondas dispersas hacia adelante y hacia atrás, la relación de la intensidad de la onda dispersa  $I_s$  y la intensidad de la onda de incidencia  $I_0$  se ha representado en el gráfico polar para cada una de las longitudes de onda seleccionadas de las regiones en las que  $Q < 0$  y  $\Delta Q > 0$  en la Figura 13. Los resultados para las longitudes de onda seleccionadas de las regiones correspondientes a  $\Delta Q < 0$  y  $\Delta Q > 0$  se muestran respectivamente en la Figura 14 y Figura 15, en las que el hueco esférico se encuentra en el centro y se irradia desde la izquierda en ambos gráficos polares. Los resultados muestran que las longitudes de onda de la región correspondiente a  $\Delta Q < 0$  están fuertemente dispersas hacia adelante (es decir, transmitidas) mientras que las ondas de la región correspondiente a  $\Delta Q > 0$  están débilmente dispersas hacia atrás. Tal resultado demuestra que un hueco esférico incrustado en un medio dieléctrico (material de relleno) se comporta mal en la reflexión de ondas electromagnéticas infrarrojas. Sin embargo, la presencia de huecos esféricos en una mezcla como la pintura mejora el aislamiento contra la pérdida de calor al reducir las transferencias de calor que están asociadas con los procesos de conducción térmica directa.

Un ejemplo de realización 300 es una configuración alternativa de sistema de recubrimiento de múltiples capas en el que están presentes partículas esféricas distribuidas aleatoriamente de tamaño de diámetro idéntico en las capas de recubrimiento secundario, las que cada una de las capas 301, 302, 303 y 304 de recubrimiento secundario, respectivamente, comprenden materiales 61, 62, 63 y 64 de relleno de diferentes índices de refracción. En la Figura 16 se ilustran  $\Delta Q$ s obtenidos para una configuración en la que una partícula esférica de aluminio de radio  $a = 200$  nm está incrustada en un medio (material de relleno) de índice de refracción  $n$ . Los índices de refracción considerados para diferentes medios en la Figura 16 fueron  $n = 1,5$ ,  $n = 2$ ,  $n = 2,5$  y  $n = 3$ .

Otro ejemplo de realización 400 es una modificación del ejemplo de realización 300 en el que también están presentes huecos esféricos distribuidos aleatoriamente en las capas de recubrimiento secundario junto con partículas esféricas distribuidas aleatoriamente. Aunque los huecos esféricos reflejan mal las ondas infrarrojas, aún proporcionan un mejor aislamiento contra la pérdida de calor al reducir la conductividad térmica asociada con la transferencia de calor por conducción directa.

Aunque las capas de recubrimiento secundario en las ilustraciones anteriores contenían muchas partículas esféricas,  $\Delta Q$ s se calcularon explícitamente a partir de casos de partículas esféricas individuales; y esos resultados se utilizaron para describir operaciones de transmisión y reflexión en las capas de recubrimiento secundario. Dicho análisis es válido siempre que las partículas esféricas en cada una de las capas de recubrimiento secundario estén lo suficientemente separadas entre sí de modo que se puedan despreciar las interacciones entre ellas. Para una longitud de onda dada de interés, digamos  $\lambda$ , dos partículas esféricas suficientemente vecinas que están separadas por una distancia de  $\sim 10\lambda$  pueden considerarse como "suficientemente separadas". Por ejemplo, en una capa ideal de recubrimiento secundario cuyas operaciones de transmisión y reflexión de ondas están descritas por 504, dicha "longitud de onda de interés,  $\lambda$ " podría estar representada por  $\lambda = \lambda_4$ , cuya longitud de onda define el borde inicial de la región reflectante. De manera similar, en una capa ideal de recubrimiento secundario, en la que 501 describe operaciones de transmisión y reflexión de ondas, dicha "longitud de onda de interés,  $\lambda$ " podría estar representada más bien por  $\lambda = \lambda_1$ . Ahora, para las capas físicas de recubrimiento secundario (a diferencia de las capas ideales de recubrimiento secundario), las operaciones de transmisión y reflexión de ondas se caracterizan por el gráfico de  $\Delta Q$ . En el caso de  $\Delta Q$  mostrado en la Figura 6, dicha "longitud de onda de interés,  $\lambda$ " puede elegirse de  $\lambda$ , en la que  $\lambda$  está limitada por  $2 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 4 \mu\text{m}$ .

En la red bidimensional mostrada en la Figura 17A, en la que la separación de superficie a superficie más cercana entre las partículas esféricas vecinas más cercanas inmediatas es  $10\lambda$ , el área efectiva  $A_{ef}$  ocupada por una partícula esférica de radio  $a$  viene dada por  $A_{ef} = (10\lambda + 2a)^2$ . En el caso de la red cúbica tridimensional, en la que la separación de superficie a superficie más cercana entre las partículas esféricas vecinas más cercanas es  $10\lambda$ , el volumen efectivo  $V_{ef}$  ocupado por una partícula esférica de radio  $a$  se puede expresar como  $V_{ef} = (10\lambda + 2a)^3$ . Ahora, si  $V_{capa}$  representa el volumen de una de las capas de recubrimiento secundario en 100, entonces el número total ( $N_p$ ) de partículas esféricas en esa capa de recubrimiento secundario viene dado por  $N_p = V_{capa} / V_{ef}$  o  $N_p = V_{capa} / (10\lambda + 2a)^3$ . El peso total de las partículas esféricas (es decir, el peso del número total de partículas esféricas en la capa de recubrimiento secundario) viene dado por  $W_p = N_p mg$  o  $W_p = 4,1888\rho a^3 g V_{capa} / (10\lambda + 2a)^3$ , en el que  $g$  es la constante de gravedad,  $\rho$  es la densidad de masa de la partícula, y  $m$  es la masa de la partícula esférica individual definida por  $m = \rho(4/3)\pi a^3$  o  $m = 4,1888\rho a^3$ . La longitud de separación de superficie a superficie vecina más cercana de  $10\lambda$  en la Figura 17A es sólo una aproximación a la distancia de separación a la que se pueden despreciar las interacciones entre partículas esféricas. Por lo tanto, cualquier distancia de separación que sea mayor que  $10\lambda$  también se convierte en un análisis válido en el presente documento. En ese sentido,  $N_p$  y  $W_p$  se pueden volver a expresar como  $N_p \leq V_{capa} / (10\lambda + 2a)^3$  y  $W_p \leq 4,1888\rho a^3 g V_{capa} / (10\lambda + 2a)^3$ .

En general, la dispersión de ondas electromagnéticas en una mezcla que implica partículas distribuidas aleatoriamente requiere un cálculo explícito de la solución de dispersión a partir de una configuración de partículas

individuales. Y, a menudo, esta solución de dispersión es suficiente para explicar el fenómeno de dispersión en esas mezclas. Por ejemplo, la transmisión y reflexión de la luz en un frasco de leche o una nube cúmulo pueden explicarse cuantitativamente mediante el problema de la teoría de Mie que involucra una sola partícula de leche en el caso de un frasco de leche o una sola gota de lluvia en el caso de una nube cúmulo. En los ejemplos de realizaciones anteriores, se han considerado casos en los que las partículas de aluminio distribuidas aleatoriamente junto con (o sin) huecos distribuidos aleatoriamente están incrustados en un medio material. Desde el punto de vista de la física, el fenómeno de la dispersión electromagnética en tales sistemas involucra las soluciones de la teoría de Mie de una sola partícula. Los detalles de la física usados en esta memoria descriptiva se pueden encontrar en la siguiente referencia: C. Bohren y D. Huffman, "Absorption and Scattering of Light by Small Particles," John Wiley & Sons, Inc., 1998; ISBN 0-471-29340-7.

No hay nada especial en la distancia de separación de  $10\lambda$  en la Figura 17A, por supuesto. Si, en cambio, una distancia de separación diferente, digamos  $5\lambda$ , entre las dos partículas esféricas vecinas más cercanas se puede considerar como la longitud a la que las partículas esféricas se consideran "suficientemente separadas", entonces  $N_p$  y  $W_p$  vendrían simplemente dadas por  $N_p \leq V_{\text{capa}} / (5\lambda + 2a)^3$  y  $W_p \leq 4,1888\rho a^3 g V_{\text{capa}} / (5\lambda + 2a)^3$ . La distancia de separación a la que se pueden considerar dos partículas lo suficientemente alejadas para que cualquier interacción entre las dos pueda despreciarse depende principalmente del tipo de partículas involucradas. Por ejemplo, si las partículas están cargadas, la distancia de separación de  $10\lambda$  puede no ser suficiente para despreciar las interacciones entre las dos partículas. No obstante, la elección de  $10\lambda$  en la Figura 17A hace que la mayoría de los tipos de partículas, incluidas las partículas de aluminio, estén "suficientemente separados".

La  $\lambda$  en las ilustraciones anteriores representa la longitud de onda de una onda electromagnética dentro del medio material (material de relleno) en el que las partículas esféricas (y los huecos esféricos) se distribuyen aleatoriamente. Por lo tanto, la longitud de onda  $\lambda$  en los gráficos de  $\Delta Q$  anteriores representa la longitud de onda de una onda electromagnética dentro del medio. La correspondiente longitud de onda del espacio libre  $\lambda_0$  viene dada por  $\lambda_0 = n\lambda$ , en la que  $n$  es el índice de refracción de un medio que contiene las partículas (y huecos) en su interior.

Los procesos simples implicados en la fabricación de un sistema de recubrimiento de múltiples capas incluyen (1) la preparación de mezclas para cada una de las capas de recubrimiento secundario y (2) la aplicación de esas mezclas sobre un sustrato para formar capas de recubrimiento secundario. En la Figura 17B se ilustran tales procesos. El primer recipiente que tiene una primera solución se mezcla con las partículas esféricas de un tamaño y huecos esféricos de otro tamaño único, cada uno marcado respectivamente como "Partícula más pequeña" y "Hueco más pequeño" en la figura. El segundo recipiente que tiene una segunda solución se mezcla con las partículas esféricas y huecos esféricos más grandes, cada uno marcado respectivamente como "Partícula más grande" y "Hueco más grande" en la figura. En el caso en el que se mezclen partículas esféricas de aluminio y esferas de vidrio huecas en una pintura ordinaria, la "Primera solución" en el primer recipiente y la "Segunda solución" en el segundo recipiente de la Figura 17B podría estar formado por dicha pintura ordinaria. La primera capa de recubrimiento secundario sobre un sustrato se puede formar sumergiendo el sustrato en el primer recipiente ilustrado en la Figura 17B. A continuación, el sustrato se puede secar y/o curar antes de sumergirlo en el segundo recipiente para formar la segunda capa de recubrimiento secundario. Con un procedimiento de inmersión ilustrado en la Figura 17B, se puede formar un sistema de recubrimiento de múltiples capas en ambas superficies del sustrato. Para los sustratos que no pueden aprovechar el procedimiento de inmersión, tal como las superficies de las casas o las superficies de los automóviles, cada una de las capas de un sistema de recubrimiento de múltiples capas puede formarse sobre un sustrato mediante un procedimiento de atomización.

Aunque la demostración anterior involucró mezclas, es decir, la "Primera solución" y la "Segunda solución" de la Figura 17B, en las que se mezcló una pintura ordinaria con partículas de aluminio y huecos esféricos, las mezclas para cada una de las capas de recubrimiento secundario en el sistema de recubrimiento de múltiples capas también se pueden preparar mezclando partículas esféricas de aluminio y huecos con casi cualquier solución. Estos incluyen, pero no se limitan a, recubrimientos a base de solventes, mezclas compuestas (tales como pegamento, arcilla y similares), materiales poliméricos (tales como poliuretano, elastómeros, plásticos, gelatina, epoxi, acrílico, polimetilmetacrilato y similares), así como varias resinas y aglutinantes tales como cemento, por mencionar algunos. Como ilustración alternativa, las partículas esféricas de aluminio de un tamaño y los huecos esféricos de otro tamaño de diámetro se pueden mezclar en una solución licuada de PMMA (polimetilmetacrilato). En este caso particular, la "Primera solución" en la Figura 17B puede estar representada por un PMMA licuado. La "Segunda solución" en la Figura 17B también puede estar representada por un PMMA licuado pero mezclado con partículas de aluminio y huecos esféricos de tamaños de diámetro mayor que los mezclados en la "Primera solución". El sistema de recubrimiento de múltiples capas se puede formar sobre un sustrato siguiendo los procesos de inmersión ilustrados anteriormente. En otra ilustración alternativa, las partículas esféricas de aluminio y los huecos se pueden mezclar en una solución formada de material polimérico tal como poliuretano. En este caso, la "Primera solución" y la "Segunda solución" de la Figura 17B estarían representadas por soluciones de poliuretano, en las que cada una de las soluciones contiene partículas de aluminio y huecos de tamaños de diámetro apropiados. Se puede formar un sistema de recubrimiento de múltiples capas sobre un tejido empapándolo (o sumergiéndolo) en la "Primera solución" y la "Segunda solución" siguiendo los procedimientos de inmersión ilustrados anteriormente. De manera similar, se puede formar un sistema de recubrimiento de múltiples capas en una hebra de fibra textil repitiendo los

mismos procedimientos. Estas fibras recubiertas con un sistema de recubrimiento de múltiples capas se pueden utilizar para hacer prendas resistentes al calor.

5 Un ejemplo de realización 500 de la Figura 18 es una ilustración de un filtro de longitud de onda electromagnético activo, en el que el borde inicial de la región reflectante (por ejemplo, la  $\lambda_4$  de 504 en la Figura 4) puede desplazarse mediante la aplicación de un campo eléctrico. El campo eléctrico entre los electrodos 5 y 6 se genera polarizando dichos electrodos con voltajes. Los materiales semiconductores se comportan como materiales dieléctricos en ausencia de campo eléctrico. Pero cuando se exponen a un campo eléctrico, los materiales semiconductores se comportan como materiales conductores. Esta propiedad se puede utilizar para controlar eficazmente la longitud de onda a la que la onda electromagnética comienza a reflejarse. Por ejemplo, el valor de  $\lambda_4$  en 504 de la Figura 4 puede desplazarse controlando la intensidad del campo eléctrico, a cuyo campo está expuesta también la capa de recubrimiento secundario correspondiente a 504.

15 Otro ejemplo de realización 600 de la Figura 18 es una variante de 500 en la que también están presentes huecos esféricos distribuidos aleatoriamente en las capas de recubrimiento secundario junto con partículas esféricas distribuidas aleatoriamente. Aunque los ejemplos de ilustraciones en la Figura 18 se basan en sistemas 100 y 200 de recubrimiento de múltiples capas, los ejemplos alternativos de realizaciones 300 y 400 de la Figura 3 también se pueden utilizar en lugar de 100 y 200.

20 Los electrodos 5 y 6 de los ejemplos de realizaciones 500 y 600 de la Figura 18 pueden estar formados por conductores planos que son transparentes a las longitudes de onda de interés. Por ejemplo, en el caso de reflectores infrarrojos, el electrodo 5 superior tiene que ser transparente a las ondas electromagnéticas infrarrojas de interés. Además, si el sistema de recubrimiento de múltiples capas ilustrado en los ejemplos de realizaciones 500 y 600 deben ser ópticamente transparentes, entonces ambos electrodos 5 y 6 deben ser ópticamente transparentes y transmitir las ondas infrarrojas de interés.

En general, los electrodos 5 o 6 o ambos también pueden estar estampados con estructuras de rejilla o enrejado, o con patrones más complicados tal como una matriz de orificios o cuadrados, etc. Cuando los electrodos están estampados con tales estructuras, las longitudes de onda infrarrojas de interés y la luz visible se pueden transmitir a través de las aberturas en los electrodos estampados. En el caso de que los electrodos estén estampados con aberturas, los materiales conductores para los electrodos no se limitan solo a conductores ópticamente transparentes que transmiten longitudes de onda infrarroja de interés, sino que se puede utilizar cualquier material conductor.

35 Lo anterior es ilustrativo de varios ejemplos de realizaciones y no debe interpretarse como una limitación de los mismos. Los expertos en la técnica notarán que son posibles muchas modificaciones en los ejemplos de realizaciones sin apartarse de las nuevas enseñanzas y ventajas. Todas estas modificaciones están destinadas a incluirse dentro del alcance de la presente divulgación como se define en las reivindicaciones.

#### 40 **Aplicabilidad industrial**

Un sistema de bloqueo de calor que utiliza partículas de acuerdo con la presente invención se puede aplicar industrialmente a campos en los que se utiliza un sistema de bloqueo de calor.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de fabricación de una estructura de película de múltiples capas, que comprende:

5 Proporcionar una capa (101, 201, 301, 401) que incluye una pluralidad de partículas esféricas (11) que se distribuyen aleatoriamente para estar separadas unas de otras de modo que se puedan despreciar las interacciones entre ellas y un material (51, 61) de relleno de índice de refracción  $n_1$  que se coloca en espacios entre la pluralidad de partículas (11); en el que las partículas esféricas (11) tienen un diámetro sustancialmente idéntico con radio  $a_1$  y

10 Proporcionar capas (102, 103, 104, 202, 203, 204, 302, 303, 304, 402, 403, 404) subsiguientes que tienen  $i_{\text{máx}}-1$  capas, siendo  $i_{\text{máx}}$  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 partículas esféricas (12, 13, 14) que se distribuyen aleatoriamente para estar separadas unas de otras de modo que se puedan despreciar las interacciones entre ellas y un material (52, 53, 54, 62, 63, 64) de relleno de índice de refracción  $n_{i+1}$  que se coloca en espacios entre la pluralidad de partículas, en el que las partículas esféricas tienen un diámetro sustancialmente idéntico con radio  $a_{i+1}$ , siendo  $i$  los números enteros de 1 a  $i_{\text{máx}}-1$ , en el que al menos dos capas entre las capas  $i_{\text{máx}}$  tienen valores diferentes en al menos uno seleccionado de un grupo que consiste en el radio de las partículas en cada una de las dos capas, y el índice de refracción del material de relleno en cada una de las dos capas, de modo que las bandas de longitud de onda de onda electromagnética reflejadas por las al menos dos capas sean diferentes entre sí; y

20 controlar el radio de las partículas en al menos una de las dos capas, con respecto a una longitud de onda específica de una onda electromagnética incidente para que sea dispersada hacia atrás por la capa respectiva, utilizando la teoría de Mie bajo el supuesto de que la onda electromagnética incidente es dispersada directamente por una partícula de modo que la función de diferencia que es el valor del factor de eficiencia de retrodispersión menos el factor de eficiencia de extinción sea mayor que cero.

2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la capa uno o/y la capa  $i_{\text{máx}}$  se colocan sobre un sustrato (10), y el sustrato (10) comprende al menos uno seleccionado de un grupo que consiste en un material conductor, un material dieléctrico, un material cerámico, un material semiconductor, un material polimérico y un textil.

3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que al menos una capa tiene un espesor que varía de aproximadamente 0,01 micrómetros a aproximadamente 10.000 micrómetros.

35 4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el material (51, 52, 53, 54, 61, 62, 63, 64) de relleno de al menos una capa comprende al menos uno seleccionado de un grupo que consiste en un material polimérico, un aglutinante, una resina, un material dieléctrico, un material de óxido y un material cerámico.

40 5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de partículas (11, 12, 13, 14) de al menos una capa comprende un material conductor.

6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de partículas (11, 12, 13, 14) de al menos una capa comprende un material dieléctrico.

45 7. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de partículas (11, 12, 13, 14) de al menos una capa comprende un material semiconductor.

8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de partículas (11, 12, 13, 14) de al menos una capa tiene un radio  $a_i$  que varía de aproximadamente 0,001 micrómetros a aproximadamente 250 micrómetros.

50 9. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que cuando  $i$  es cualquier valor de 1 a  $i_{\text{máx}}-1$ , el índice de refracción  $n_i$  es el mismo que el índice de refracción  $n_{i+1}$ .

55 10. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que cuando  $i$  es cualquier valor de 1 a  $i_{\text{máx}}-1$ , el índice de refracción  $n_{i+1}$  es mayor que el índice de refracción  $n_i$ .

11. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que cuando  $i$  es cualquier valor de 1 a  $i_{\text{máx}}-1$ , el radio  $a_{i+1}$  de la pluralidad de partículas es mayor que el radio  $a_i$  de la pluralidad de partículas.

60 12. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que cuando  $i$  es cualquier valor de 1 a  $i_{\text{máx}}-1$ , el radio  $a_{i+1}$  de la pluralidad de partículas es el mismo que el radio  $a_i$  de la pluralidad de partículas, y el índice de refracción  $n_{i+1}$  es mayor que el índice de refracción  $n_i$ .

65 13. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:  
 Proporcionar una pluralidad de huecos (21) de radio promedio  $b_1$  que se distribuyen aleatoriamente en la capa uno para estar separadas unas de otras; y

Proporcionar una pluralidad de huecos (22, 23, 24) de radio promedio  $b_{i+1}$  que se distribuyen aleatoriamente en la capa  $i+1$  para estar separadas unas de otras.

- 5 14. El procedimiento de la reivindicación 13, en el que cuando  $i$  es cualquier valor de 1 a  $i_{\text{máx}}-1$ , el radio promedio  $b_{i+1}$  de la pluralidad de huecos de la capa  $i+1$  es mayor que el radio promedio  $b_i$  de la pluralidad de huecos de la capa  $i$ .
- 10 15. El procedimiento de la reivindicación 13, en el que cuando  $i$  es cualquier valor de 1 a  $i_{\text{máx}}-1$ , el radio promedio  $b_{i+1}$  de la pluralidad de huecos de la capa  $i+1$  es el mismo que el radio promedio  $b_i$  de la pluralidad de huecos de la capa  $i$ .
- 15 16. El procedimiento de la reivindicación 13, en el que cuando  $i$  es cualquier valor de 1 a  $i_{\text{máx}}-1$ , el radio promedio  $b_{i+1}$  de la pluralidad de huecos es el mismo que el radio promedio  $b_i$  de la pluralidad de huecos y el índice de refracción  $n_{i+1}$  es mayor que el índice de refracción  $n_i$ .
- 20 17. El procedimiento de la reivindicación 13, en el que la pluralidad de huecos de al menos una capa comprende cubiertas dieléctricas huecas que tienen un radio de cavidad que varía de aproximadamente 0,002 micrómetros a aproximadamente 500 micrómetros.
- 25 18. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:  
 Proporcionar un primer electrodo (5) colocado adyacente a una de las dos superficies de la capa  $i_{\text{máx}}$  que está más alejada de la capa uno; y  
 Proporcionar un segundo electrodo (6) colocado adyacente a una de las dos superficies de la capa uno que está más lejos de la capa  $i_{\text{máx}}$ ,  
 en el que se aplica un primer voltaje al primer electrodo, y  
 un segundo voltaje que es diferente del primer voltaje se aplica al segundo electrodo.
- 30 19. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de partículas de al menos una capa comprende cubiertas conductoras huecas.
- 35 20. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que cada una de la pluralidad de partículas de al menos una capa está formada por una cubierta dieléctrica hueca.
- 40 21. El procedimiento de la reivindicación 13, en el que el radio promedio  $b_i$  de la pluralidad de huecos es mayor que el radio  $a_i$  de la pluralidad de partículas.
22. El procedimiento de la reivindicación 18, en el que se forma un patrón a través del cual se transmiten las longitudes de onda infrarroja y la luz visible en el primer electrodo o/y el segundo electrodo.

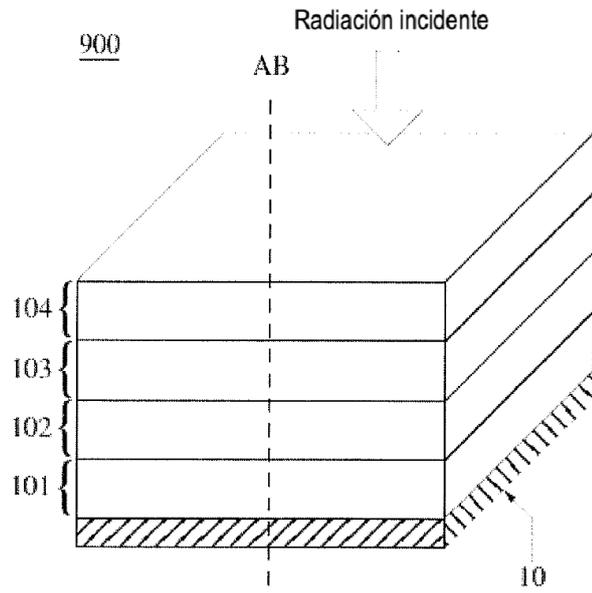


FIG. 1

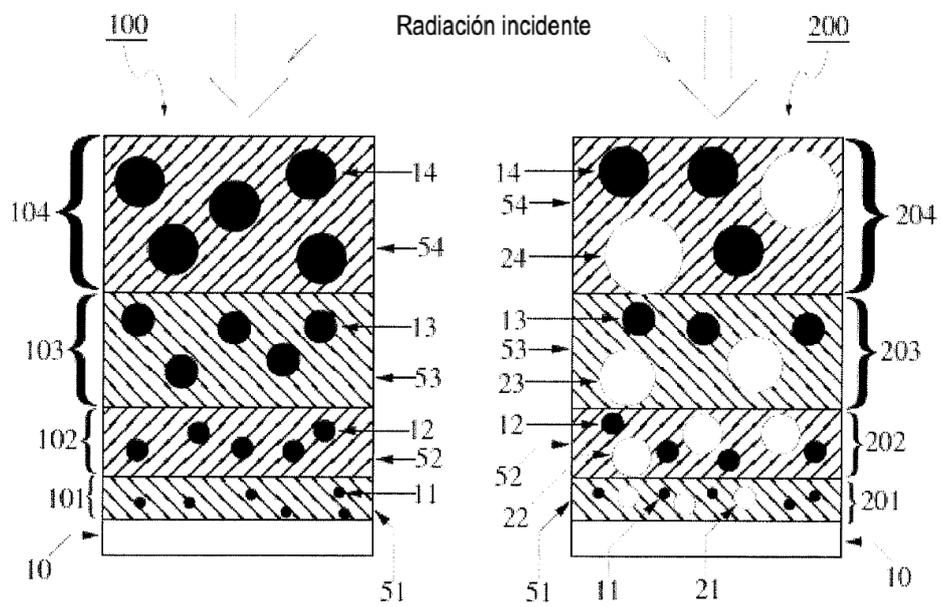


FIG. 2

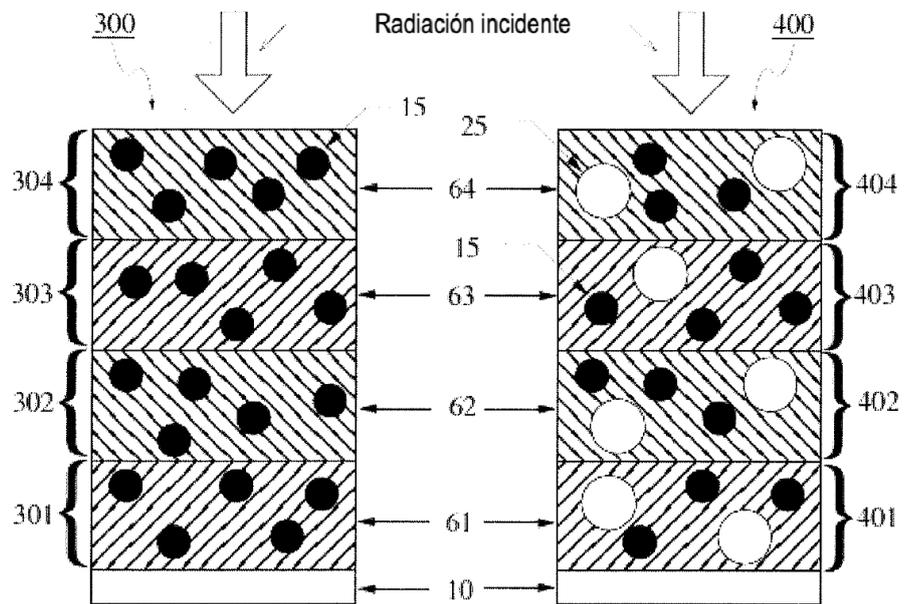


FIG. 3

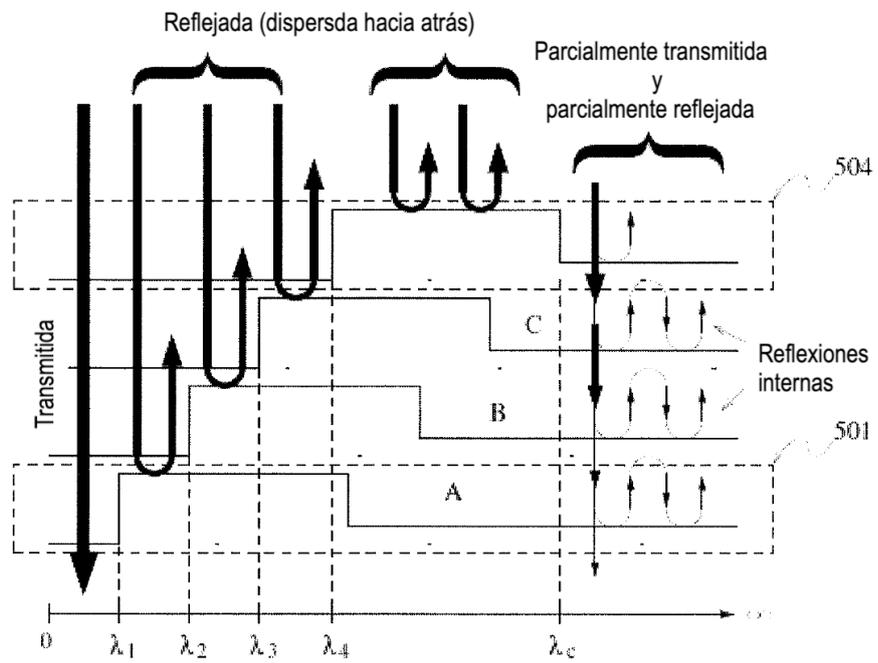


FIG. 4

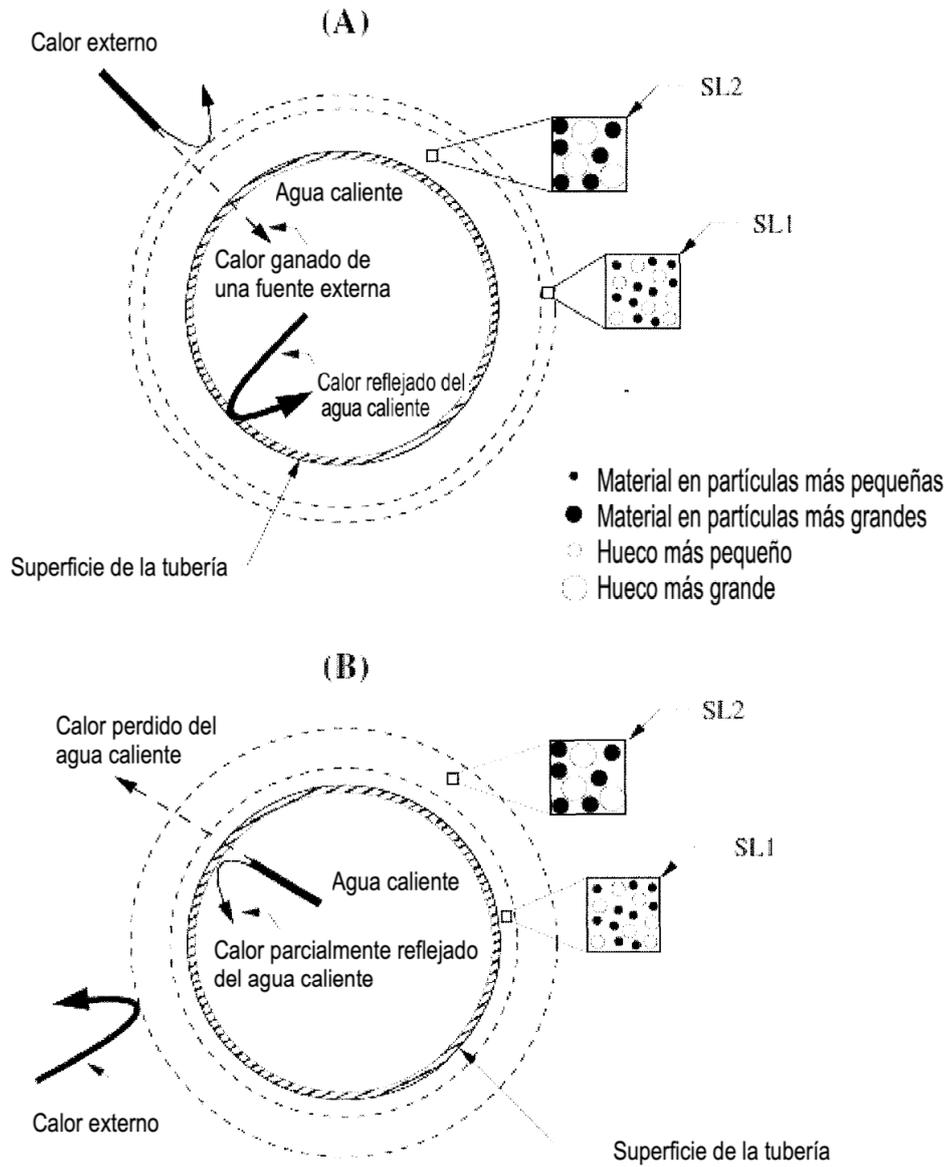
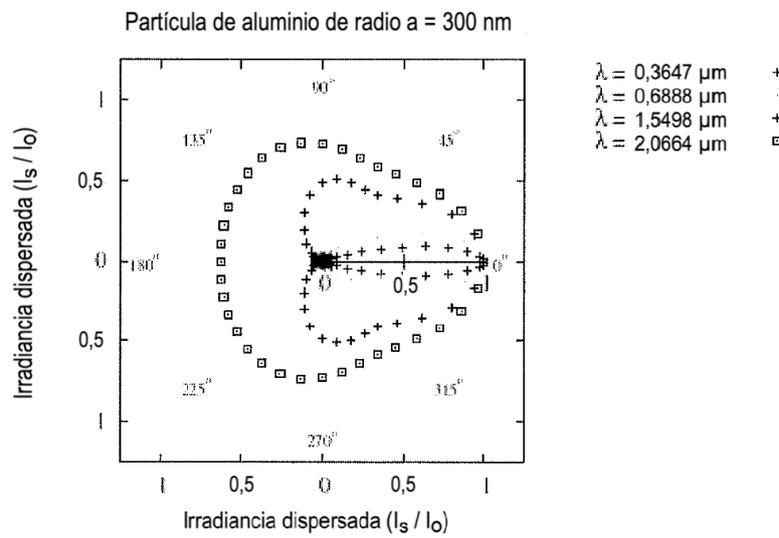
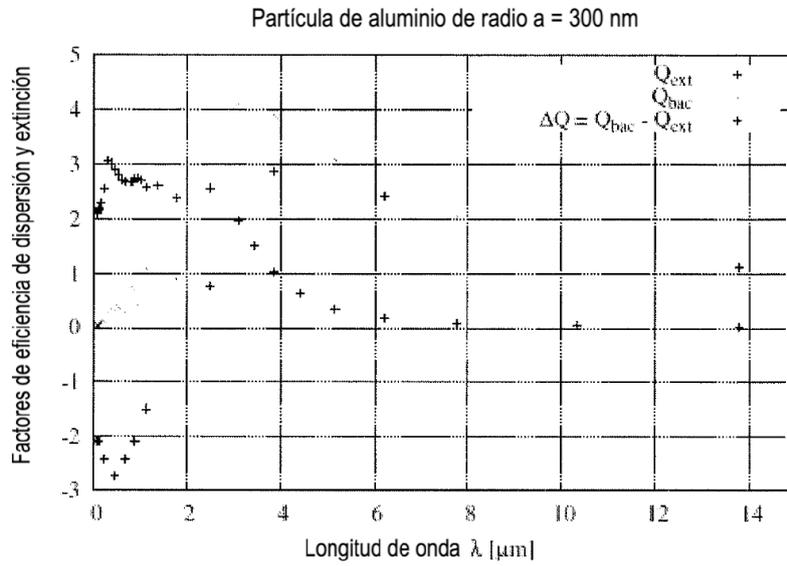


FIG. 5



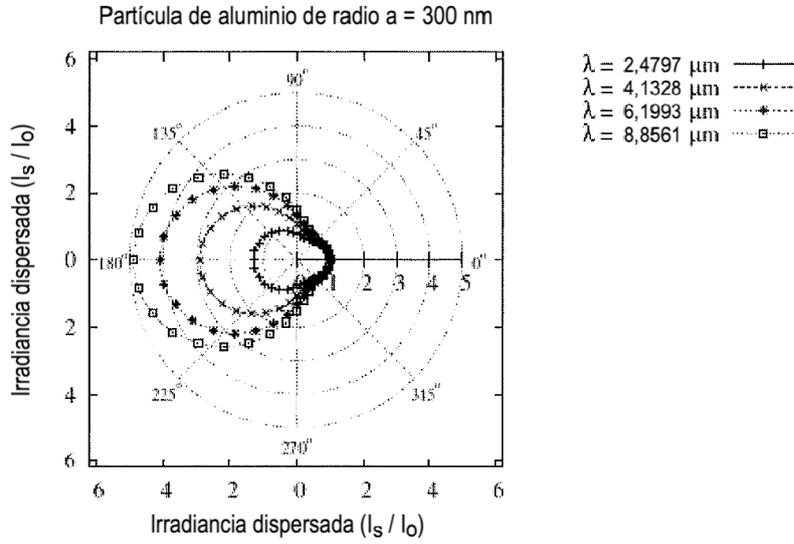


FIG. 8

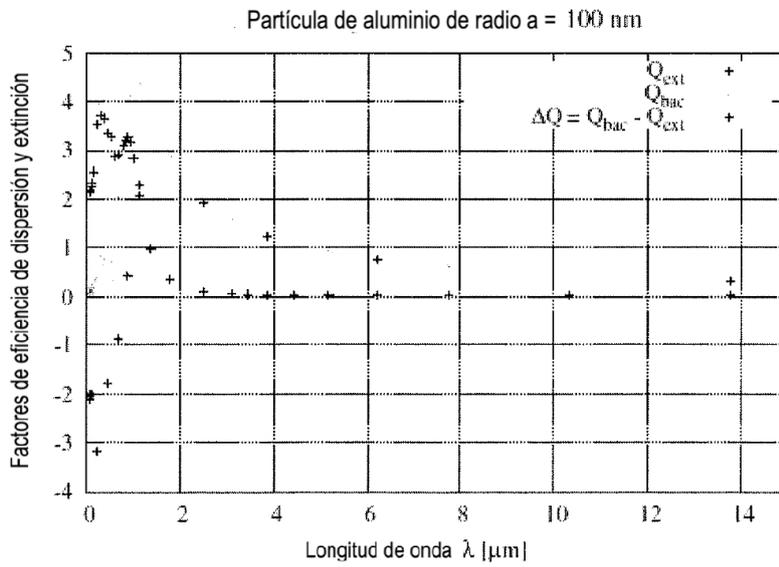


FIG. 9

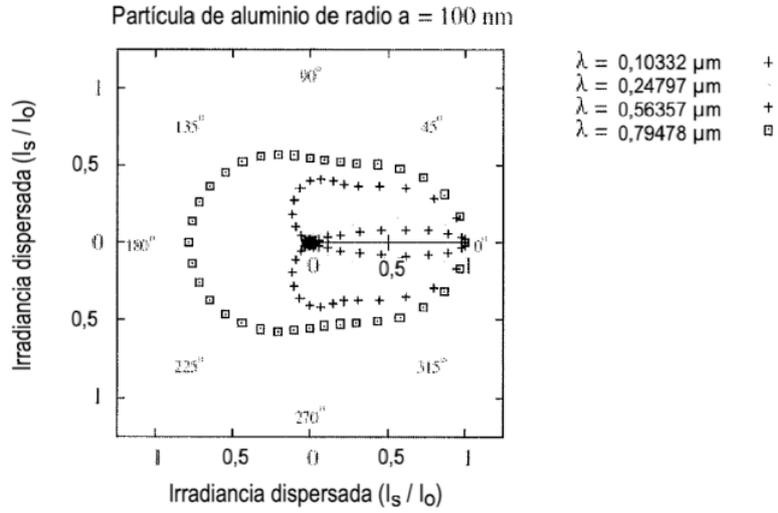


FIG. 10

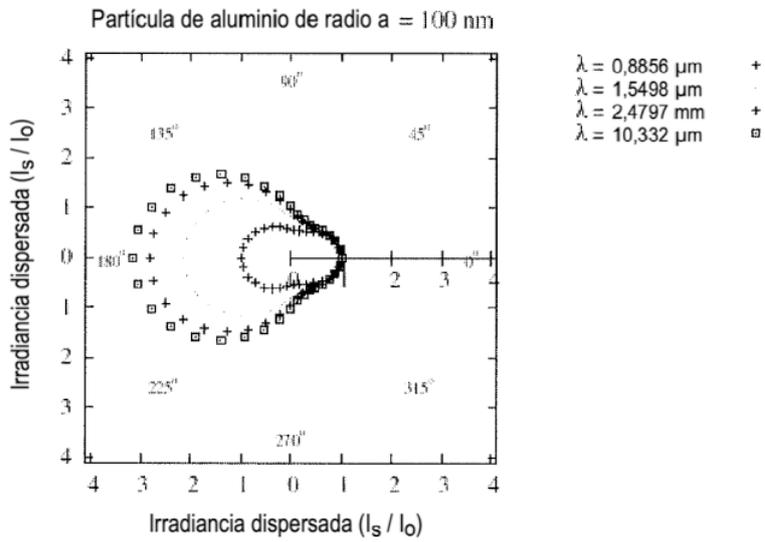


FIG. 11

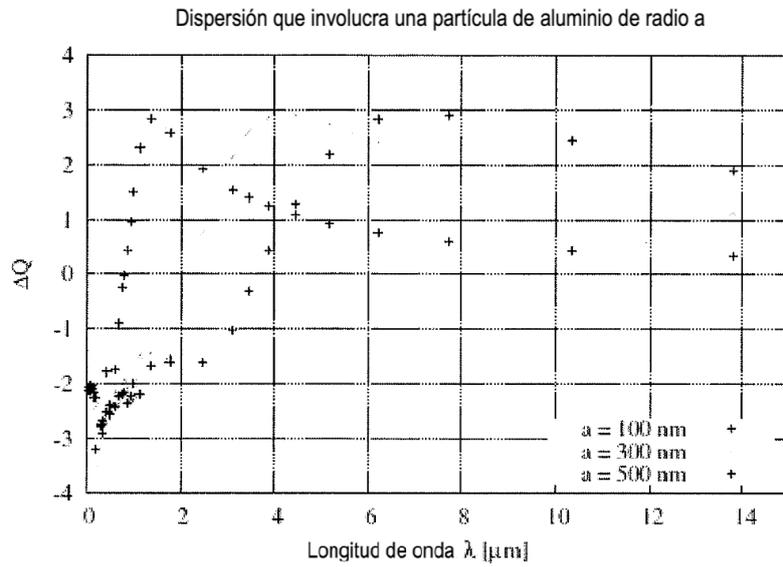


FIG. 12

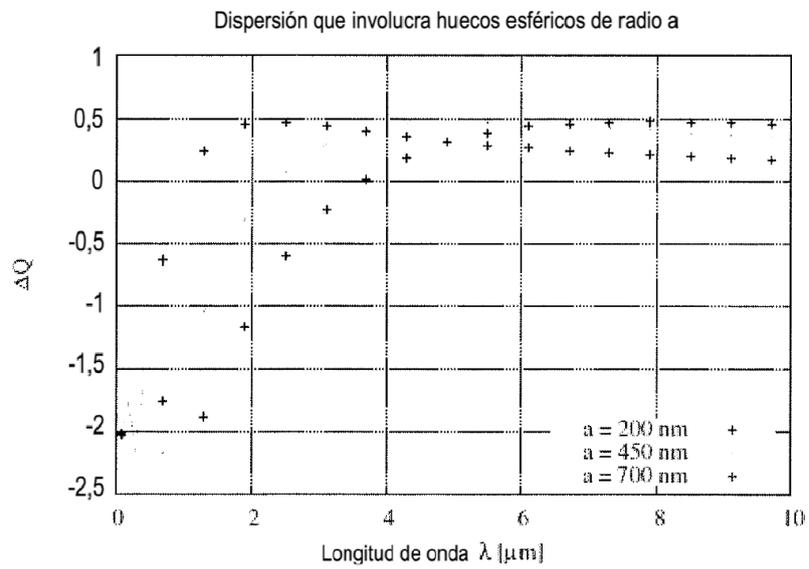


FIG. 13

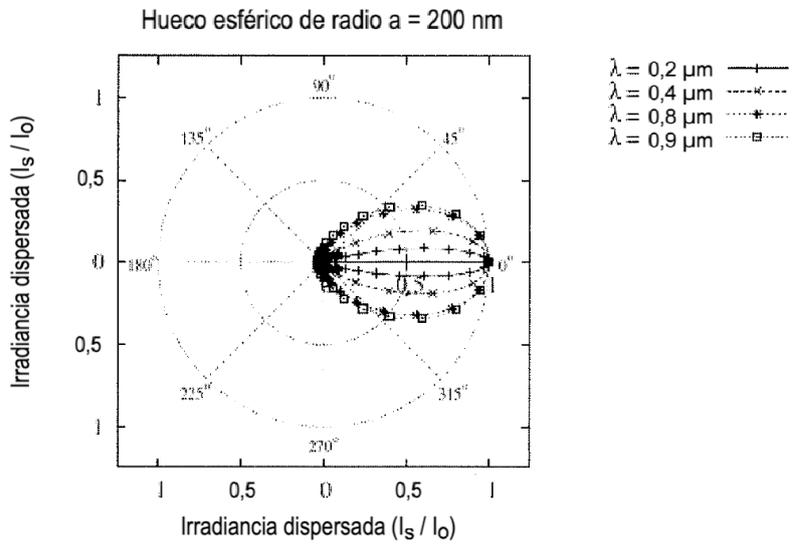


FIG. 14

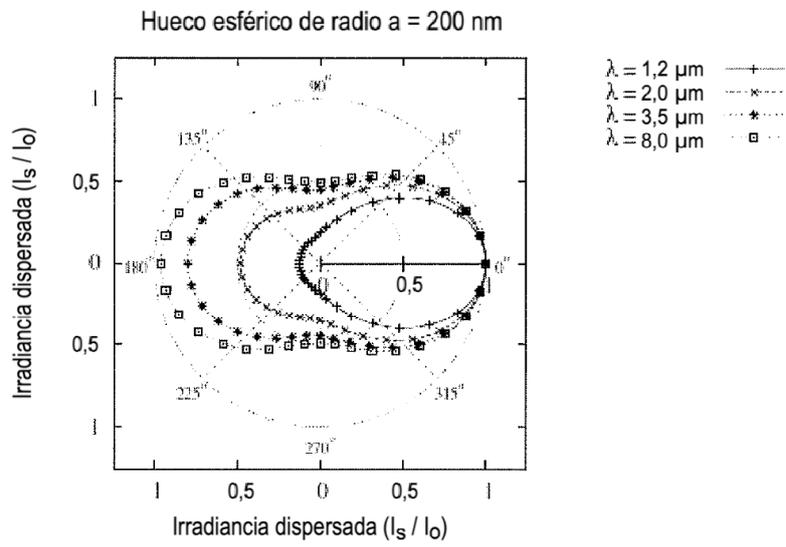


FIG. 15

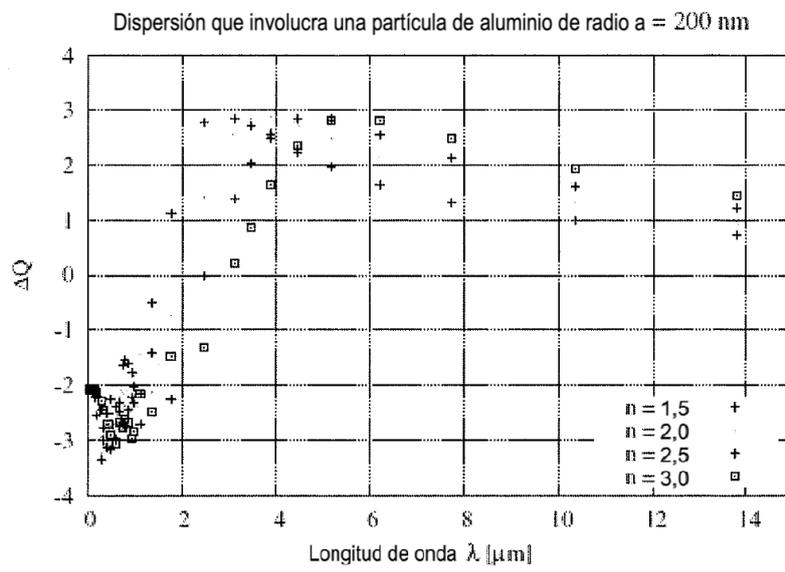


FIG. 16

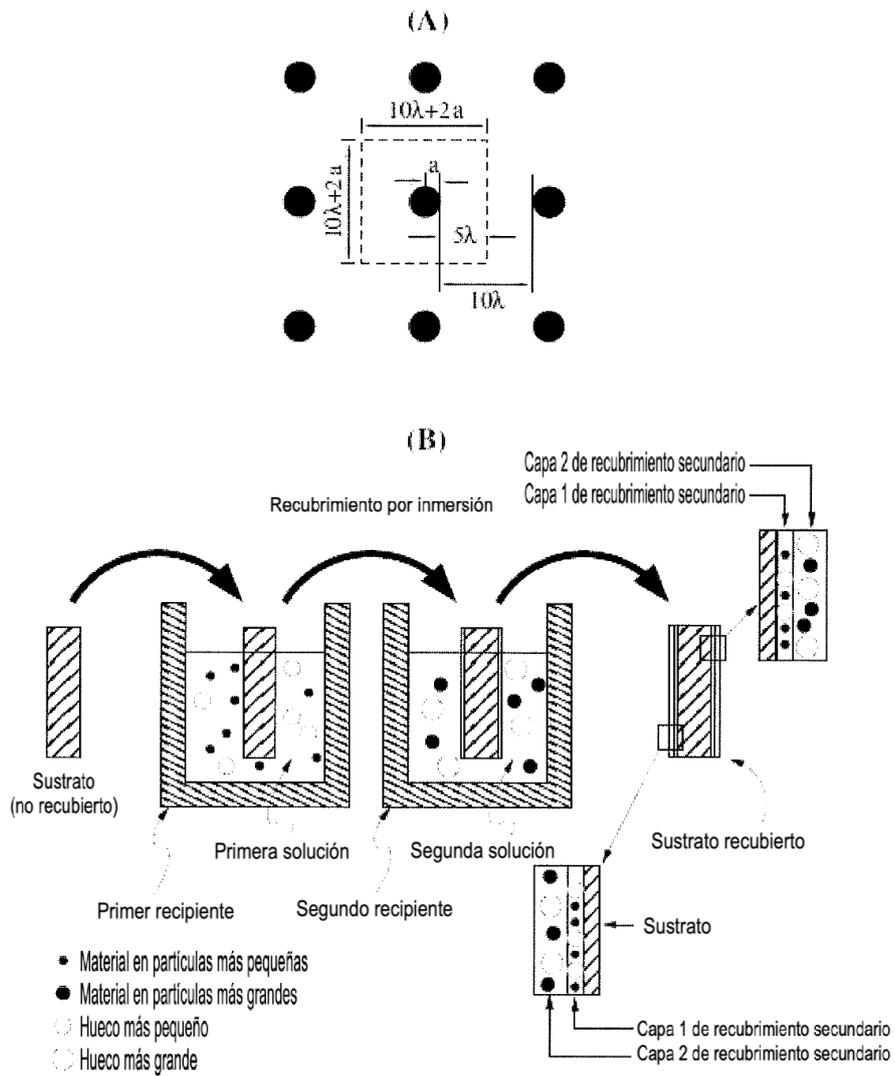


FIG. 17

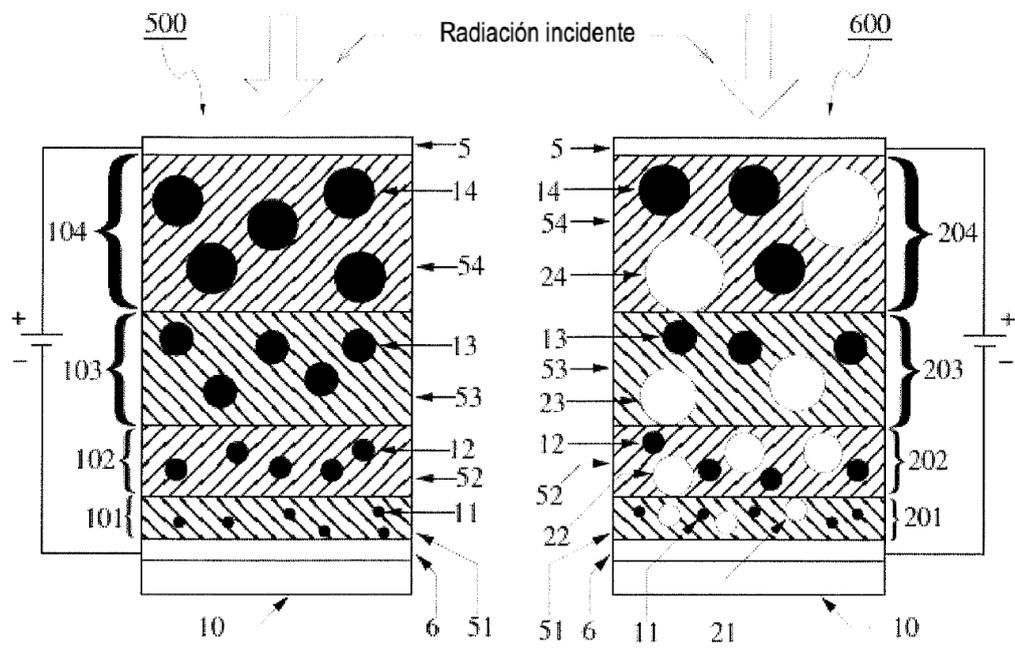


FIG. 18