

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 582 103**

51 Int. Cl.:

F21V 9/02 (2006.01)

F21V 9/16 (2006.01)

F21V 8/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.06.2009 E 09769197 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.03.2016 EP 2304478**

54 Título: **Difusor óptico sol-cielo**

30 Prioridad:

24.06.2008 IT MI20081135

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

09.09.2016

73 Titular/es:

**COELUX S.R.L. (100.0%)
Via Cavour 2, Polo Tecnologico ComoNExT
Lomazzo (CO), IT**

72 Inventor/es:

**DI TRAPANI, PAOLO;
SIMONUTTI, ROBERTO;
AVERCHI, ALESSANDRO y
PIGAZZINI, MARTA CECILIA**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

Observaciones :

Véase nota informativa (Remarks) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 582 103 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

Difusor óptico sol-cielo

5 La presente invención se refiere a un nanodifusor óptico sol-cielo. En la presente descripción, la expresión "nanodifusor óptico sol-cielo" designa un difusor óptico que simula la difusión de la luz del sol operada por el cielo en la naturaleza. Específicamente, la invención se refiere a un nanodifusor óptico del tipo que comprende una matriz sólida transparente en la que se dispersan una pluralidad de nanopartículas transparentes sólidas. En la presente descripción el término "nanodifusor" designa un elemento óptico sólido que comprende una matriz sólida
10 transparente que integra una dispersión de nanopartículas transparentes, cuyo tamaño medio está en el intervalo de $10 \text{ nm} \leq d \leq 240 \text{ nm}$. A continuación, en la descripción el término "nanodifusor" o "difusor" puede usarse indistintamente. En cualquier caso, designan un nanodifusor como se ha definido anteriormente.

15 Los difusores ópticos que comprenden nanopartículas sólidas dispersadas en una matriz sólida transparente se conocen en la técnica.

El documento US 6.791.259 B1 describe un sistema de iluminación de luz blanca que comprende un LED o diodo láser, un material dispersor de luz y un material colorante fosforescente o luminiscente. El material dispersor comprende preferentemente unas partículas dispersadas en un sustrato. Las partículas que dispersan la luz tienen un tamaño de 50 y 500 nm, preferentemente un tamaño entre $\lambda/3$ y $\lambda/2$, donde λ es la longitud de onda del pico de emisión de la fuente de radiación. El nanodifusor está integrado en el nivel del elemento activo de la fuente, es decir, se coloca o antes de la fosforescencia o en la fosforescencia, con el fin de dispersar preferentemente el componente azul producido por el LED o diodo láser, de otro modo con baja divergencia, y para hacerlo uniforme con el componente amarillo dispersado por la fosforescencia, en vez del producido con un amplio ángulo de divergencia. El hecho de que los dos componentes amarillo y azul se dispersen de los centros dispersadores prácticamente coincidentes es una condición necesaria para eliminar el fenómeno de "halo", caracterizado por la presencia de un color azul dominante en la dirección de emisión máxima, y de un color amarillo dominante en la zona periférica del cono de luz producido por la fuente, es decir, para hacer uniforme la distribución de color de la radiación en diferentes ángulos.
20
25
30

El documento WO 02/089175 describe unas fuentes de luz basadas en unos emisores UV-LED con dispersión reducida de la radiación UV. Las fuentes de luz son LED que emiten en UV y que se combinan con reflectores UV constituidos por unas partículas dispersadas en un material sólido transparente a la luz visible.

35 Un material fosforescente se aplica a la fuente de UV para convertir la radiación UV en luz visible. En una realización específica se aplica el material fosforescente a la superficie del LED UV y una capa de material dispersor se aplica a la capa fosforescente. El objetivo de esta estructura de dispositivo de iluminación es reducir la cantidad de radiación UV que no se convierte en luz visible y no aborda el problema de reproducir una luz similar a la luz natural producida por el sol y el cielo.
40

El documento US 2008/0262117 A1 describe un transmisor de luz difusa que comprende una resina sustancialmente transparente en la que se dispersan unas partículas de sílice amorfa de tamaño nanométrico. En un ejemplo se informa de un material que tiene una turbidez del 71 al 85 % y una transmitancia de luz del 35 al 40 %.

45 Un documento que trata de unos materiales para aplicaciones ópticas es el documento WO2007/043496.

Por otra parte, el documento US 6.791.259 desvela un difusor sólido.

50 Ninguno de los documentos anteriores desvela un difusor óptico sol-cielo, es decir, un difusor capaz de realizar la separación cromática sustancialmente con el mismo mecanismo que da lugar a la separación cromática en la naturaleza, creando de este modo la característica de distribución espectral correcta de luz cenital y de la luz del sol.

Por consiguiente, un objeto de la presente invención es desvelar un nuevo tipo de difusor óptico capaz de "separar" los diferentes componentes cromáticos de una fuente con un amplio ancho de banda espectral de acuerdo con el mismo mecanismo que da lugar a la separación cromática en la naturaleza, creando la característica de distribución espectral correcta de la luz cenital y la luz del sol.
55

Más específicamente, un objeto de la presente invención es desvelar un nuevo tipo de difusor óptico capaz de reproducir, cuando se ilumina con luz blanca visible, la presencia simultánea de dos componentes cromáticos diferentes: una luz cenital difusa, en la que el azul ("frío") es dominante, y una luz del sol transmitida, con un componente de azul bajo ("caliente").
60

Lo antedicho y otros objetos y ventajas de la invención se logran con un difusor óptico sol-cielo de acuerdo con la reivindicación 1.
65

El tamaño medio de partícula se define a continuación en la presente descripción y la transmitancia colineal normalizada monocromática, a continuación llamada simplemente "transmitancia", se define por medio del método de medición ilustrado en la presente descripción.

5 Las propiedades ópticas microscópicas del difusor de sol-cielo de la invención se tratan a continuación.

Las figuras y dibujos adjuntos ilustran unos aspectos de la invención.

- 10 • La figura 1 muestra una disposición particular del nanodifusor de panel en el que una fuente de luz, o un conjunto de fuentes de luz, como por ejemplo, un conjunto de LED, se ha acoplado al difusor en un lado, para funcionar como un difusor como cielo de atardecer, describiéndose dicho difusor como cielo de atardecer en la página 8 de la presente invención.
- 15 • La figura 2 muestra la construcción de un filtro sol-color, compuesto por una pluralidad de nano-difusores individuales de acuerdo con la invención, unidos en una estructura de multi-canal en la que cada difusor se separa de los otros por una interfaz absorbente que absorbe toda la luz dispersada. Los detalles de la interfaz de absorción se muestran en la parte inferior de la figura.
- 20 • La figura 3A ilustra una disposición particular, en la que se usa una pluralidad de filtros solares que trabajan sobre la base del principio ilustrado en la figura 2 con el fin de variar el matiz de la luz de sol artificial. La figura 3B muestra la disposición en la que una pluralidad de difusores como cielo de mediodía de acuerdo con la invención y de la absorción de las estructuras multi-canal se combinan para obtener un filtro solar con una densidad óptica variable y una dispersión múltiple controlada, describiéndose dichos difusores como cielo de mediodía en la página 7 de la presente descripción.
- 25 • La figura 4 muestra la representación gráfica de contorno de la función $\gamma(m, D)$, en la que m es el índice de refracción relativo y D el diámetro efectivo definido en la presente descripción;
- La figura 5 muestra los mapas de colores de dispersión calculados y angularmente resueltos, para cuatro pares m, D y los valores de $\gamma(m, D)$ correspondientes;
- La figura 6 muestra el volumen en el espacio (m, D, N) correspondiente al caso $5 \geq \gamma(m, D) \geq 3$ y $0 \leq N \leq N_{m\acute{a}x}$, en la que N es el número total de partículas por unidad de superficie visto por un haz de luz que se propaga en una dirección dada y $N_{m\acute{a}x}$ se define en la presente descripción;
- 30 • La figura 7 muestra el volumen en el espacio (m, D, N) correspondiente al caso $5 \geq \gamma(m, D) \geq 3$ y $N_{m\acute{i}n} \leq N \leq 10^{28} m^{-2}$, en la que $N_{m\acute{i}n}$ se define en la presente descripción;
- La figura 8 ilustra esquemáticamente algunos ejemplos de la posible morfología macroscópica del nano-difusor de acuerdo con la presente invención;
- 35 • La figura 9 ilustra esquemáticamente el aparato experimental a usarse para medir la "transmitancia colineal normalizada monocromática";
- La figura 10 ilustra esquemáticamente el aparato experimental a usarse para medir la "transmitancia colineal normalizada monocromática" en el caso específico en el que el difusor presenta una superficie reflectante;
- 40 • La figura 11 (parte superior) ilustra el efecto de retrodispersión de Rayleigh cuando tres discos nanodifusores cielo-sol se iluminan frontalmente por un LED blanco de InGaN comercial, y se ven contra un fondo oscuro, mientras que la figura 11 (parte inferior) muestra el efecto de la luz que se dispersa por los mismos discos cuando la luz viene de un lado.

Se sabe bien a partir de los fundamentos de la dispersión de la luz que un elemento óptico transparente que comprende una matriz transparente y unas nano-partículas transparentes que tienen diferente índice de refracción con respecto a la matriz, y que tienen un tamaño medio significativamente más pequeño que la longitud de onda visible, dispersarán preferentemente la parte azul del espectro, y transmitirán la parte roja. También se sabe que la separación cromática descrita mejora para los tamaños más pequeños, la longitud de onda en dependencia de la eficiencia de dispersión por una única partícula que se aproxima con una buena precisión a la ley de límite de Rayleigh λ^{-4} cuando el tamaño medio de partícula es $d \leq \lambda/10$. Al aumentar el tamaño de partícula, por el contrario, las resonancias y los efectos de difracción comienzan a desempeñar un papel, y llega a ser relevante normalmente para $d \geq \lambda/2$. Estos fenómenos provocan un aplanamiento de la dependencia de la longitud de onda de la luz dispersada. Por otra parte, pueden provocar una fuente blanca incidente a separarse en una pluralidad de diferentes colores en diferentes ángulos, que es, por supuesto, un efecto no deseado fuertemente para el fin de la presente invención. Por otra parte, se sabe que la eficiencia de dispersión por una única partícula cae dramáticamente disminuyendo el tamaño de partícula, siendo proporcional a d^6 . Esta dependencia hace el uso de partículas demasiado pequeñas inconveniente, como por ejemplo para el espesor del difusor que debe usarse. De hecho, el logro de la eficiencia de dispersión necesaria por medio de un difusor basado en partículas pequeñas requiere que el haz de luz vea un alto número de partículas en la dirección de propagación. Esta condición requiere de unos espesores medianos-grandes del difusor a usarse, con el fin de evitar que tengan lugar los altos efectos de fracción-llenado-volumen, siendo estos efectos de fracción-llenado los descritos en la presente descripción. Por ejemplo, el requisito de no exceder fracciones de llenado del 0,1 % establece en aproximadamente 1 mm el espesor mínimo del difusor para las nanopartículas de 50 nm de TiO₂ en PMMA, la figura aumenta sustancialmente si se usan partículas más pequeñas.

65 Por lo tanto, para aquellas aplicaciones para las que el uso de difusores de espesor de mm-cm no representan un

problema, se recomiendan las partículas de pequeño tamaño, por ejemplo, en el intervalo de Rayleigh $d \leq \lambda/10$. Por el contrario, para aquellas aplicaciones que se benefician del uso de difusores más compactos debería considerarse un compromiso entre la compacidad y la calidad de dispersión, para lo que debería usarse preferentemente el tamaño de partícula $d \leq \lambda/10$. Por otra parte, el uso de partículas pequeñas también es conveniente para el fin de minimizar el riesgo de que unos agregados compuestos de pocas partículas estropeen la calidad del proceso de dispersión. La dispersión, de hecho, es muy sensible, incluso a una pequeña fracción de estos agregados, debido a la dependencia d^{-6} de eficacia de dispersión en el tamaño de partícula. Siendo el tamaño de los agregados proporcional al de las partículas constituyentes, es evidente que en el caso de las partículas más grandes hay un aumento del riesgo de producir resonancias y efectos de difracción, que pueden representar un problema para la presente invención. Por lo tanto el uso de partículas grandes requiere un cuidado especial en la preparación de material del nano-difusor, con el fin de garantizar que los agregados no juegan un papel relevante.

Para los fines de la presente invención, la siguiente condición debe satisfacerse: $10 \text{ nm} \leq d \leq 240 \text{ nm}$, preferentemente $20 \text{ nm} \leq d \leq 100 \text{ nm}$, lo más preferentemente $20 \text{ nm} \leq d \leq 50 \text{ nm}$, para aquellas aplicaciones para las que pueden usarse difusores anchos. $10 \text{ nm} \leq d \leq 240 \text{ nm}$, preferentemente de $50 \text{ nm} \leq d \leq 180 \text{ nm}$, lo más preferentemente de $70 \text{ nm} \leq d \leq 120 \text{ nm}$, para aquellas aplicaciones para las que se prefieren dispositivos compactos. En ambos casos, d se refiere al tamaño medio de las partículas integradas en el difusor. Este requisito no prohíbe que en el difusor estén presentes también algunas partículas con dimensiones fuera de este intervalo, pero estas partículas deberían estar en una cantidad tan pequeña como para tener efectos insignificantes sobre las propiedades ópticas del difusor.

La elección de un intervalo de tamaño medio correcto es una condición necesaria, pero por ahora no es una condición suficiente para garantizar que el nanodifusor se realiza de acuerdo con el alcance de la presente invención, es decir, como hace el cielo con la luz del sol. En primer lugar, en función de los materiales elegidos, existen condiciones para que la resonancia óptica y los efectos de difracción no deseados se produzcan también para tamaños de partícula de $d \leq 240 \text{ nm}$. Por otra parte, un montón de otros efectos, como por ejemplo los relacionados con el número de partículas, su concentración, la forma geométrica del difusor, podrían dominar, lo que puede evitar la separación cromática deseada a tener lugar. Con este fin, es digno de mencionar que existen otras aplicaciones, o se han propuesto, que comprenden nano-compuestos transparentes que tienen unos tamaños de partícula en intervalos parcialmente solapados con el intervalo considerado en el presente documento para que, sin embargo, la separación cromática y en algunos casos incluso la dispersión visible no se desean en absoluto. Por ejemplo, las aplicaciones en los difusores LCD a menudo usan nanopartículas con un tamaño tan grande como 100 nm , como por ejemplo con el fin de cambiar el índice de refracción medio de un material, en ausencia de cualquier efecto cromático de separación [US2004/0233526]. Por otro lado, las aplicaciones de filtro UV de película delgada, para las que la ausencia de Haze en el visible es un requisito fundamental, se reivindican con partículas tan grandes como 20 nm . [WO2007/043496 A1]

Sorprendentemente, a pesar de la complejidad del problema general, se ha descubierto que un conjunto de tres condiciones, fácilmente comprobable, garantizan que un nanodifusor de $10 \text{ nm} \leq d \leq 240 \text{ nm}$ sea adecuado para los fines de la presente invención. Todas estas condiciones se refieren a las propiedades ópticas macroscópicas del nano-difusor en dos longitudes de onda específicas, que pueden verificarse midiendo la transmitancia del nanodifusor, $T(\lambda)$, en estas longitudes de onda.

Una primera propiedad óptica del nanodifusor de la invención se designa en el presente documento como la transmitancia "similar al sol". Esta es una de las propiedades ópticas que el nanodifusor debe tener con el fin de simular correctamente la difusión de la luz del sol operada por el cielo en la naturaleza, y específicamente se refiere a la capacidad del difusor para crear una luz transmitida que tiene los colores característicos de la luz del sol en las diferentes horas del día. En otros términos, el difusor de la invención modifica el espectro de una fuente de luz blanca que se transmite a través del mismo en una dirección dada como el cielo hace con la luz del sol.

La dispersión de luz en el cielo está bien descrita por la difusión de Rayleigh, $T_{\text{cielo}}(\lambda) \equiv \exp(-bL\lambda^{-4})$, en la que b es una constante que depende de la eficiencia de dispersión media de la atmósfera, y L es la longitud de la trayectoria. Esta dependencia explica por qué, en el aumento de la longitud de la trayectoria en las diferentes horas del día, la luz del sol transmitida se convierte en amarilla y a continuación en roja. Para cualquier par de longitudes de onda de la luz visible, el cielo, por lo tanto satisface con buena precisión el límite de Rayleigh, que establece que la relación entre las densidades ópticas de cielo en dos longitudes de onda se escala con la cuarta potencia de la inversa de la relación de las longitudes de onda, $\text{Log}[T_{\text{cielo}}(\lambda_1)] / \text{Log}[T_{\text{cielo}}(\lambda_2)] * (\lambda_1/\lambda_2)^{-4}$, en la que la relación no depende de la longitud de la trayectoria. Específicamente, tomando como referencia las longitudes de onda $\lambda_1 = 450 \text{ nm}$ y $\lambda_2 = 630 \text{ nm}$, y definiendo la relación entre las densidades ópticas en 450 nm y 630 nm , $\gamma \equiv \text{Log}[T(450 \text{ nm})] / \text{Log}[T(630 \text{ nm})]$, la dispersión de aire medida en condiciones convencionales a 15°C [A. Bucholtz "Rayleigh-scattering calculations for the terrestrial atmosphere" Applied Optics, vol. 34 p. 2765 (1995)] proporciona $\gamma_{\text{cielo}} = 3,9606$, mientras que $(\lambda_1/\lambda_2)^{-4} = 3,8416$.

En principio, acondicionar la transmitancia de nanodifusor $T(\lambda)$ para cumplir con la dispersión de Rayleigh para todo el espectro visible permite conseguir la transmitancia "similar al sol" deseada.

Sorprendentemente, se ha descubierto que un nanodifusor cumple la siguiente condición mucho más simple:

" $5 \geq \gamma \geq 2,5$, preferentemente $5 \geq \gamma \geq 3$, lo más preferentemente $5 \geq \gamma \geq 3,5$ ",

5 que solo depende del nanodifusor T (450 nm) y T (630 nm), basta para garantizar que cuando el nanodifusor está iluminado por una fuente blanca de banda ancha, la luz transmitida se percibe con el mismo color que el de la luz del sol que ha cruzado el cielo, con toda la variedad de matices alcanzable cuando se usan difusores que tienen diferentes espesores ópticos, de acuerdo con el alcance de la presente invención.

10 Una segunda propiedad óptica del nanodifusor de la invención se designa en el presente documento como la "difusión como cielo de mediodía". Esta es una propiedad óptica adicional que el nanodifusor debe tener con el fin de simular correctamente la difusión de la luz del sol operada por el cielo en la naturaleza, y, específicamente, se refiere a la capacidad del difusor para dispersar la luz blanca incidente produciendo una luz difusa que tiene el mismo color que la luz difundida por el cielo, cuando el sol está cerca del Zenit, es decir, al mediodía o durante tarde
15 por la mañana o por la tarde temprano. Con este fin vale la pena señalar que la condición $\gamma \geq 2,5$ determina la calidad de la luz transmitida, pero no de la dispersa. De hecho, no se impone ninguna limitación en la cantidad de dispersión múltiple, lo que podría afectar gravemente a las características espectrales de la luz dispersada. De hecho, para una fuerte dispersión múltiple todos los componentes espectrales de luz incidente se difunden por lo general de manera uniforme, lo que hace que la luz difusa tome el mismo color que el de la fuente (normalmente blanco). Ya que la probabilidad de dispersión múltiple, para una longitud de onda dada y la dirección de propagación, dependen solo de $T(\lambda)$, siendo máxima cuando la transmitancia es igual a cero, minimizar la dispersión múltiple implica trabajar en régimen de alta transmitancia, lo que causa una desventaja obvia en la eficiencia.

25 Sorprendentemente, se ha descubierto que acondicionar la transmisión en una dirección dada por la restricción:

" $T(450 \text{ nm}) \geq T_{\min}$, $T_{\min} = 0,4$, preferentemente $T_{\min} = 0,5$, lo más preferentemente $T_{\min} = 0,6$ "

30 limita la dispersión múltiple dentro de límites aceptables, en el sentido de que la luz difusa mantiene el matiz característico semejante al cielo natural, al tiempo que presenta un poder de dispersión tan grande como el 60 % en el azul. En particular, ya que un haz que se propaga en una dirección diferente con respecto a la orientación del difusor podría experimentar una trayectoria más larga en el interior del difusor, lo que implica una transmitancia más baja la condición $T(450 \text{ nm}) \geq T_{\min}$ tiene que considerarse como válida solo para la dirección de propagación especificada. Una dirección de propagación que cumple la condición $T(450 \text{ nm}) \geq T_{\min}$ se denomina a continuación:
35 "dirección de transmitancia alta". El difusor se hace funcionar como un difusor como cielo de mediodía cuando el haz de luz incidente se propaga en el difusor en la dirección de transmitancia alta.

La tercera propiedad óptica del nanodifusor de la invención se designa en el presente documento como la "difusión como cielo de atardecer". Esta es una propiedad óptica adicional que el nanodifusor debe satisfacer con el fin de simular correctamente la difusión de la luz del sol operada por el cielo en la naturaleza, y, específicamente, se refiere a la capacidad del difusor para dispersar la luz blanca incidente produciendo los colores del cielo al atardecer (o al amanecer), es decir, cuando el sol está cerca del horizonte. En esta condición, la característica distintiva del proceso es que los colores cambian desde el azul al rojo en función de en qué posición específica en el cielo se difunde la luz. Este requisito se eleva inmediatamente a un problema, ya que incluso la transmitancia más baja, admitida con el
45 fin de evitar la dispersión múltiple relevante, $T(450 \text{ nm}) \geq 0,4$, es demasiado alta para garantizar que todos los colores excepto para el naranja-rojo se dispersen lejos, ya que es necesario para reproducir adecuadamente el cielo al atardecer. En otras palabras, obtener el naranja-rojo de la dispersión de la luz implica necesariamente operar en múltiples regímenes de dispersión. La pregunta es entonces cómo evitar que la dispersión múltiple eche a perder la espectacular distribución de color del amanecer/atardecer. En la naturaleza el problema se resuelve por la curvatura del cielo, que implica que las diferentes partes del cielo visto por el observador están iluminadas por los rayos de sol, que han viajado a diferentes longitudes de trayectoria del cielo. En otras palabras, al atardecer el observador ve rojo en el horizonte, ya que la atmósfera dispersa la luz residual del sol bajo que ha atravesado una larga trayectoria en el cielo bajo, mientras que el observador ve azul en el Zenit, ya que la atmósfera alta dispersa hacia nosotros los rayos de sol, que han cruzado solamente una corta trayectoria en el cielo. Una primera opción, por lo tanto, es la de imitar la naturaleza produciendo un difusor que tenga una curvatura adecuada. Esta opción, sin embargo, presenta varias dificultades técnicas. Entre la otra, no hay que olvidar que, si bien en la naturaleza los rayos de sol entran fácilmente en el cielo con un ángulo de incidencia bajo, en el presente documento el problema de las extremadamente altas reflexiones aparece debido al hecho de que el difusor que integra la matriz tiene un índice de refracción diferente al del aire. Este problema se resuelve integrando el elemento de difusión curvado en una matriz transparente de paralelepípedo, hecha del mismo material de matriz que en la que se dispersan las nanopartículas.
50 En este caso, ya que el índice de refracción medio de la matriz y del nanodifusor es prácticamente idéntico, se elimina la reflexión de la luz en la interfaz de difusor curvada. Esta configuración permite la reconstrucción del cielo en el modo de atardecer, de acuerdo con la invención.

65 Un esquema más se desvela en el presente documento, en dos geometrías diferentes, que sorprendentemente permite hacer funcionar un difusor de manera homogénea lleno de nanopartículas en régimen de fuerte dispersión

múltiple, preservando al mismo tiempo la pureza de la distribución de color del cielo al amanecer/atardecer. Esto se consigue mediante un difusor que tiene una transmitancia baja en la dirección de propagación, y en particular $T(\lambda) \ll 1$ para $\lambda \leq 570$ nm, es decir, para todos los componentes de longitud de onda, excepto para el naranja y el rojo, pero para un gran transmitancia en una o ambas direcciones ortogonales, y más precisamente $T_{\perp}(450 \text{ nm}) \geq 0,4$, preferentemente $T_{\perp}(450 \text{ nm}) \geq 0,5$, lo más preferentemente $T_{\perp}(450 \text{ nm}) \geq 0,6$. En una primera realización, el nanodifusor de la invención tiene la forma de un cilindro largo y estrecho, con una longitud L más grande que el diámetro, ϕ , y que se ilumina a lo largo de su eje. Más precisamente, el cilindro debe tener $L > 10 \phi$, preferentemente $L > 20 \phi$, lo más preferentemente $L > 30 \phi$. En este caso, el difusor puede realizarse para tener una transmitancia alta en las direcciones ortogonales, y una transmitancia baja en la dirección de propagación. Estableciendo $T(\lambda) \leq 0,5$, preferentemente $T(\lambda) \leq 0,3$, lo más preferentemente $T(\lambda) \leq 0,1$ para $\lambda \leq 570$ nm en la dirección de propagación, tendrá lugar una fuerte dispersión múltiple, y solo los fotones de color naranjas-rojos llegarán al final del difusor. Sin embargo, un observador que mira el difusor por el lateral verá la luz azul dominante emitida cerca de la entrada del cilindro, seguida por un matiz verdoso, amarillento y finalmente uno naranja y rojo a lo largo de toda la longitud del difusor, diferentes colores dominantes que se dispersan a partir de diferentes partes del difusor, de acuerdo con el alcance de la invención. Cabe destacar que, si se mezcla toda la luz difusa, sería de hecho casi blanca. Sin embargo, ya que los diferentes colores se dispersan por diferentes partes del difusor, serán percibidas por separado por el observador. Debería observarse que la condición para que el difusor sea ópticamente delgado en la dirección ortogonal, de manera que cada vez que un fotón se dispersa sale del difusor y no puede dispersarse de nuevo, es de interés para conseguir la separación cromática deseada. De hecho, si el difusor es grueso también en las direcciones ortogonales, que muestra por ejemplo $T_{\perp}(450 \text{ nm}) < 0,4$, un fotón azul dispersado, por ejemplo, cerca de la entrada del difusor puede redirigirse a lo largo del eje del cilindro por un segundo evento de dispersión, y finalmente se dispersa hacia fuera en el extremo del cilindro, solapándose con el tiempo con un fotón rojo que se dispersa por primera vez, creando de este modo una luz difusa blanca, que no se desea para un nanodifusor de acuerdo con la invención.

En una segunda realización, el difusor se forma como un panel plano, cuya longitud (L), altura (H) anchura (W) cumplen con $L \geq H \gg W$. En particular, en el presente documento el panel se ilumina desde un lado, de manera que el haz de luz se propaga a lo largo de la dirección L . Debería observarse que el haz de propagación puede guiarse dentro del panel debido a la reflexión interna total, ya que también es posible para el cilindro, con la excepción del componente que se dispersa fuera del difusor debido a la presencia de las nanopartículas. En esta realización del panel, en oposición con el caso anterior del cilindro, el difusor es ópticamente delgado solo en una de las dos direcciones ortogonales. Como consecuencia, un fotón que se dispersa en el plano del difusor puede dispersarse de nuevo en el mismo plano varias veces. Sin embargo, ya que este fotón dispersado tiene una polarización ortogonal al panel (es decir, a lo largo de W), la probabilidad de que se disperse fuera del difusor es muy baja. Como consecuencia, la probabilidad de que unos fotones de diferentes colores salgan de la misma parte del difusor es de nuevo baja, lo que garantiza las condiciones necesarias para que el panel reproduzca una reconstrucción espectacular de la distribución cromática del cielo al amanecer/atardecer, de acuerdo con el alcance de la invención.

Hay algunas configuraciones de esta segunda realización abordadas en el presente documento que son remarcables para las aplicaciones.

(i) Por lo que se refiere a las dimensiones del panel, es conveniente operar con $L > 10 W$, preferentemente $L > 20 W$, lo más preferentemente $L > 30 W$.

(ii) Por lo que se refiere a calidad de la superficie, las dos caras grandes del panel deben estar prácticamente libres de arañazos, excavaciones, burbujas o cualquier otro defecto, ya que estos defectos se hacen visibles cuando la luz se guía dentro del panel. En general, la calidad de las superficies del panel debería garantizar que la dispersión producida por la superficie en la luz guiada internamente es menor que el 15 %, preferentemente menor que el 5 %, lo más preferentemente menor que el 1 % de la dispersión producida por las nanopartículas. El ensayo puede realizarse comparando la luminosidad del difusor con y sin nanopartículas.

(iii) Una disposición específica del nanodifusor de panel comprende insertar en el difusor o acoplar al difusor en un lado una fuente de luz, o un conjunto de fuentes de luz, como por ejemplo un conjunto de LED, como se representa en la figura 1. La luz del LED se guía parcialmente en el interior del panel a través de la reflexión interna total y se dispersa parcialmente fuera del panel del difusor por medio de la acción de las nanopartículas. Insertar una fuente de luz en el difusor o acoplarla al difusor no debe considerarse como una opción limitada al difusor de panel específico descrito en el ejemplo presente, sino que se refiere a todos los difusores considerados por la presente invención, tales como, por ejemplo, el difusor de cilindro descrito en la realización anterior.

(iv) En una configuración adicional, el panel se aplica sobre una superficie de espejo, o tiene un recubrimiento de alta reflectividad depositada sobre una de las dos caras más grandes. Esta opción es conveniente si el panel tiene que usarse como un elemento de mobiliario. En este caso, como se especifica en el método de medición descrito en la presente descripción, la transmitancia a través del difusor puede medirse todavía, en reflexión, obteniendo como resultado el valor relativo a dos veces el espesor del panel. Sin embargo, en presencia de un espejo aplicado en el panel, el espesor óptico que necesita considerarse con respecto a las limitaciones impuestas por la dispersión múltiple es de hecho dos veces el espesor del panel. En otras palabras, el panel se comportará con respecto a la dispersión múltiple como si su espesor fuese de dos veces. Por lo tanto, la

medición de transmitancia de doble pase es correcta en este régimen. Debería observarse que este razonamiento relativo a la implementación de una superficie de espejo en el nano-difusor no se aplica solo a esta configuración específica, sino a todos los nanodifusores de acuerdo con la presente invención.

5 Con respecto al problema de la dispersión múltiple que se aborda en el presente apartado, se ha descubierto sorprendentemente que una única condición es suficiente para garantizar un elemento óptico de nanodifusor genérico a adecuarse para reproducir la luz dispersada por el cielo tanto para los regímenes de tipo mediodía y de tipo atardecer. Esta condición es que existe al menos una dirección de propagación en el interior del nanodifusor para la que:

10

$$"T(450\text{ nm}) \geq T_{\min}, T_{\min} = 0,4, \text{ preferentemente } T_{\min} = 0,5, \text{ lo más preferentemente } T_{\min} = 0,6"$$

Si el difusor se ilumina a lo largo de esta dirección de alta transmitancia significa que se hace funcionar como un difusor como cielo de mediodía. Por el contrario, si se ilumina a lo largo de una dirección ortogonal, sobre la que la transmitancia es menor, entonces significa que el difusor se hace funcionar como un difusor como cielo de atardecer.

15

La cuarta propiedad óptica que caracteriza al difusor sol-cielo de la invención es la de ser capaz de dispersar el haz de luz incidente con una eficiencia de dispersión comparable a la del cielo, de manera que cuando un objeto o una escena está iluminada de este modo los componentes de luz transmitida (similar al sol) como difundida (similar al cielo), el equilibrio entre los dos componentes corresponde a lo que ocurre en la naturaleza. Los presentes inventores han evaluado que en un día normal de primavera, en el comienzo de la tarde, con cielos claros y a una latitud subalpina en Italia, el cielo contribuye por lo menos el 20 % de la luminosidad exterior, siendo el resto debido a la luz transmitida del sol, la cifra se eleva al 40-50 % en la tarde. Asumiendo que la retrodispersión debe minimizarse adecuadamente, la condición que debe cumplirse por un nanodifusor de acuerdo con la invención es que existe al menos una dirección de propagación en el interior del nanodifusor para la que:

20

$$"T(450\text{ nm}) \leq T_{\max}, \text{ en la que } T_{\max} = 0,9, \text{ preferentemente } T_{\max} = 0,8, \text{ lo más preferentemente } T_{\max} = 0,7"$$

30 La razón por la que se requiere que la condición se cumpla para al menos una, y no para todas las direcciones en el interior del difusor, se relaciona de nuevo con el caso de un difusor de gran relación de aspecto, es decir, aquellos en forma de un cilindro delgado o como un panel como se ha descrito en la presente invención. En este caso, debido a un enorme desequilibrio entre las longitudes de propagación en las dimensiones ortogonales, el régimen de funcionamiento óptimo requiere una transmitancia bastante alta en la dirección ortogonal. A continuación, con el fin de demostrar la importancia de la invención, se desvelan tres aplicaciones posibles basadas en un difusor de acuerdo con la presente invención, o en un conjunto de difusores de acuerdo con la presente invención, y de diferentes tipos de agentes oscurecedores.

35

La primera aplicación se basa en la combinación de un panel de modo atardecer de acuerdo con la presente invención y un agente oscurecedor que cubre completamente una de las dos grandes caras del panel. La presencia del agente oscurecedor es beneficiosa con el fin de permitir que un observador vea la luz dispersada por el difusor contra un fondo oscuro, y también con el fin de maximizar la fidelidad del color. De hecho, en la naturaleza el cielo se ve siempre contra un fondo oscuro, que es el espacio vacío entre las estrellas. El uso de una superficie de agente oscurecedor puede ser beneficioso también cuando un difusor está destinado a usarse en el modo de como cielo de mediodía. En este caso, el observador no tiene la posibilidad de observar la luz de la fuente transmitida por el difusor. Sin embargo, el observador puede colocarse el mismo en el mismo lado que la fuente de luz, y observar el difusor en el modo de retrodispersión. En este caso la presencia del agente oscurecedor es obligatoria para apreciar el efecto, a menos que el panel difusor se vea por el observador contra un fondo oscuro natural. Este es el caso, por ejemplo, cuando el difusor se usa como una ventana doméstica sobre una escena de noche oscura. En este caso, un observador dentro de un apartamento iluminado percibirá la luz retrodispersada desde el panel, que aparecerá como la luz del cielo. Debería remarcar que si se aplica el agente oscurecedor en el difusor, es imposible medir la transmitancia en al menos una dirección de propagación. Por lo tanto, debería eliminarse el agente oscurecedor con el fin de verificar si el difusor cumple las condiciones de la presente invención por medio de la técnica de medición propuesta en la presente descripción.

40

Una segunda aplicación se refiere al uso del nanodifusor para modificar el espectro de la luz transmitida, es decir, como un filtro sol-color capaz de transformar la luz de una fuente convencional, por ejemplo, una luz de teatro, haciéndola que asuma el color de la luz del sol transmitida a través de la atmósfera. En esta aplicación, la luz dispersada se absorbe por completo, permaneciendo el mecanismo de dispersión sin embargo esencial para que los colores similares al sol aparezcan.

45

Para lograr el efecto, es obligatorio para la dispersión múltiple no contribuir a la luz que se envía a la escena. Este objetivo puede lograrse usando, por ejemplo, la configuración de cilindro descrita en la presente invención, en la que la superficie lateral del cilindro puede estar cubierta por una superficie de agente oscurecedor. Sin embargo, el requisito de tener una longitud mucho mayor que el diámetro, $L \gg \phi$, hace al dispositivo inconvenientemente largo, por ejemplo, para aplicaciones relacionadas con luces de teatro, cuyo diámetro es normalmente algunas decenas de

50

55

centímetros más grande. En el presente documento se desvelan dos soluciones en las que se elimina la contribución de la dispersión múltiple en la luz enviada a la escena, mientras se mantiene el dispositivo muy compacto. El resultado se logra o insertando unos agentes oscurecedores en el interior del difusor, o combinando los elementos de difusión y absorción individuales, como se ilustra en la siguiente descripción.

5 La primera solución para el filtro sol-color comprende el uso de un difusor de multi-canal, lo que significa un conjunto de una pluralidad de elementos de difusión individuales paralelos, cada uno cumpliendo individualmente la condición de la presente invención, que se unen entre sí, por ejemplo, en una configuración en forma de panel, como se muestra en la figura 2, y en la que cada elemento individual está separado de los otros por medio de una superficie de agente oscurecedor, cuyos detalles se muestran en la parte inferior de la figura 2. En esta configuración, la condición para que el filtro sol-color funcione sin enviar fotones dispersados en la dirección de la iluminación coincide con el requisito de que cada elemento funcione libre desde la dispersión múltiple en la dirección ortogonal a la dirección de propagación, que es la condición $T(450\text{ nm}) \geq T_{min}$, $T_{min} = 0,4$, preferentemente $T_{min} = 0,5$, lo más preferentemente $T_{min} = 0,6$ de la presente invención. En particular, usando una fracción de llenado suficientemente alta, esta condición se alcanza con los elementos de difusión muy delgados, y por lo tanto muy cortos en la dirección de propagación, lo que permite desarrollar unos filtros de sol-color multicanales muy compactos. Ya que la característica de la presente invención se refiere a cada uno de los elementos constitutivos del filtro sol-color multicanal, el filtro tiene que desmontarse si la condición de la presente invención tiene que ensayarse por medio de la técnica de medición propuesta en la presente descripción. En particular, todos los matices de la luz natural del sol que varían en las diferentes horas del día pueden obtenerse simplemente añadiendo en serie una pluralidad de filtros de sol-color multicanal desvelados en el presente documento.

En la segunda solución para el filtro sol-color, se obtiene el mismo efecto usando una combinación de una pluralidad de discos de difusión delgados y de estructuras de multi-canal de absorción de tres dimensiones. En el presente documento cada disco elemental debe ser un difusor de acuerdo con la presente invención, y precisamente un difusor operado como un difusor como cielo de mediodía, lo que significa que muestra $T(450\text{ nm}) \leq T_{Máx}$ en la dirección de propagación. Los elementos de absorción comprenden una pluralidad de canales vacíos paralelos delgados, que transmiten perfectamente la luz en la dirección de propagación, pero que absorben todos los componentes de propagación fuera del eje. El dispositivo funciona usando una secuencia alternada de los discos de difusión delgados y unas rejillas de agente oscurecedor en el medio. Por medio de esta configuración, todos los fotones que se dispersan una vez en cada difusor de disco incidirán en una pared de absorción en la rejilla más allá del mismo, evitando de este modo la posibilidad de un segundo evento de dispersión en el elemento de difusión adicional colocado más allá de la rejilla absorbente. Al hacerlo, solo los fotones transmitidos auténticos salen del dispositivo, asumiendo la luz producida el color puro como el del sol. Aumentando el número de difusores y los pares de rejilla, pueden reconstruirse todos los cambios en los matices de la luz del sol en diferentes horas del día con alta fidelidad. Debería observarse que esta disposición permite añadir/eliminar las rejillas por separado de los difusores. Por lo tanto, permite sintonizar la cantidad de fotones dispersados que se envían a la escena de una manera similar a como ocurre en la naturaleza cuando la luz del sol pasa a través de pequeños agujeros en las nubes en el horizonte, lo que se considera para aumentar la saturación del color de la luz del sol. Por lo tanto, esta opción permite la adición de un grado adicional de libertad útil para aumentar la fidelidad en la reproducción de la luz del sol. La disposición relativa a la realización en la que el material de nanodifusor se emite dentro de la estructura multicanal de absorción se muestra en la figura 3A, mientras que la disposición relativa a la realización en la que las rejillas de absorción se colocan entre los discos de nano-difusor convencionales se representa en la figura 3B.

45 A continuación, se desvelan las propiedades estructurales microscópicas del difusor. Se define un conjunto de cuatro parámetros estructurales relevantes que se refieren a las nanopartículas dispersadas en la matriz sólida. También se definen sus intervalos relevantes para los que se garantizan las propiedades ópticas deseadas del difusor de la invención. Dichos parámetros son:

50 (i) m : la relación entre la partícula y los índices de refracción de medio principal, $m \equiv \frac{n_p}{n_h}$. A continuación se

consideran como adecuados estos valores que están comprendidos en el intervalo de $0,5 \leq m \leq 2,5$, preferentemente $0,7 \leq m \leq 2,1$, lo más preferentemente $0,7 \leq m \leq 1,9$, en la que el intervalo de $0,95 \leq m \leq 1,05$ se excluye en todos los casos siendo en este caso el índice de la matriz principal y de la nanopartícula demasiado cercana para proporcionar suficiente dispersión.

55 (ii) D [metros] el diámetro de partícula efectivo, $D = dn_h$, en la que d [metros] es el tamaño de partícula medio definido como el diámetro de partícula medio en el caso de partículas esféricas, y como el diámetro medio de las partículas esféricas equivalentes volumen a superficie en el caso de partículas no esféricas, como se define en [T.C. Grenfell, y S.G. WARREN, "Representation of a nonspherical ice particle by a collection of independent spheres for scattering and absorption of radiation". Journal of Geophysical Research 104, D24, 31,697-31,709. (1999)]. El diámetro de partícula efectivo se da en metros o, cuando así se especifique en nm.

60 (iii) N [metros⁻²]: el número de partículas por unidad de superficie visto por el haz incidente que se propaga en la dirección dada;

(iv) f : la fracción de llenado de volumen ocupado por las nanopartículas, en la que $f = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3 \rho$ y ρ [metros⁻³] es la densidad del número de partículas (número de partículas por unidad de volumen).

Se observa que la longitud del difusor L [metros] no aparece explícitamente pero se determina unívocamente por el

5 conjunto seleccionado de parámetros, siendo $L = N\rho^{-1}$ y
$$\rho = \frac{f}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3}$$

El dominio en el espacio de parámetro m, D para los que $5 \geq \gamma(M, D) \geq \gamma_{\min}$ se trata a continuación.

10 La transmitancia de un nano-difusor en una dirección para la que el haz de luz ve en su trayectoria partículas NA , en la que A [metros²] es la sección transversal del haz, $T(\lambda) = \exp[-Nc_{disp}(\lambda)]$, en la que $c_{disp}(\lambda)$ es la única sección transversal de dispersión de partícula. De acuerdo con la teoría de Miescattering establecida, la única sección transversal de dispersión de partícula depende solo de la longitud de onda, el desajuste de índice, y el diámetro efectivo, $c_{disp}(\lambda, m, D)$. Ya que $\gamma \equiv \text{Log}[T(450 \text{ nm})] / \text{Log}[T(630 \text{ nm})]$, se deduce que también γ depende solo del desajuste de índice, y del diámetro eficaz, siendo
$$\gamma(m, D) = \frac{c_{disp}(450 \text{ nm}, m, D)}{c_{disp}(630 \text{ nm}, m, D)}$$

15 En la figura 4 se representa gráficamente el contorno $\gamma(m, D)$. La curva $\gamma(m, D) = 2,5$ se dibuja en negrita. El dominio representado en este caso es el espacio $1,05 < m \leq 2,1$ y $11 \text{ nm} \leq D \leq 420 \text{ nm}$. La región en la que $5 \geq \gamma(m, D) \geq 2,5$, que se reivindica que es adecuado para el fin de la invención, se destaca como una zona gris en la parte izquierda de la curva $\gamma(m, D) = 2,5$. La curva $\gamma(m, D) = 3,85$, que se corresponde con el límite de Rayleigh, se dibuja como una línea de puntos.

La curva $\gamma(m, D) = 2,5$ se fija con el fin de tener una expresión analítica para los pares m, D en la zona seleccionada que cumple $5 \geq \gamma(m, D) \geq 2,5$. Expresando D en nm el ajuste da:

25 Para $0,7 \leq m \leq 0,95$, $D \leq -132m + 115$; para $1,05 \leq m < 1,35$, $D \leq 240$; para $1,35 \leq m \leq 2,1$, $D \leq -135m + 507$;

30 En un primer ensayo, la cantidad $T(\lambda) = \exp[-Nc_{disp}(\lambda)]$, que da el perfil espectral de la luz transmitida para el caso de una luz incidente con intensidad espectral constante para todas las longitudes de onda, se ha calculado para un número de pares m, D dentro y fuera de zona seleccionada. La distribución espectral resultante se ha transformado en amplitudes RGB de acuerdo con [A.STOCKMAN Y L.T. SHARPE Vision Research vol. 40, 1711-1737 (2000)] para proporcionar una visualización como de ojo del espectro. Mientras que el resultado confirma para $5 \geq \gamma(m, D) \geq 2,5$ en el aumento de N , la luz transmitida cambia su color de blanco, a amarillento, a naranja y finalmente a rojo, de acuerdo con lo que se espera para una reconstrucción correcta de la transmitancia de la atmósfera, para $2,5 \leq \gamma(m, D) \leq 0$ la luz transmitida muestra unos matices mucho menos saturados, destacados por la aparición, por ejemplo, de tonalidades azuladas/rosas.

35 En un segundo ensayo se calcula la sección transversal diferencial de ángulo resuelto $c_{disp}(\theta, \lambda)$. En la condición en la que la dispersión múltiple y los efectos de fracción de alto llenado son insignificantes, esta cantidad proporciona el perfil espectral de la luz dispersada por el difusor para cada ángulo seleccionado, θ . Estos espectros se han transformado en las amplitudes RGB para proporcionar una visualización como de ojo del espectro. Los mapas de color polares correspondientes se vuelven a extraer en la forma de zonas de contorno para permitir la representación de datos en blanco y negro.

45 La figura 5 muestra los mapas de color de dispersión angularmente resueltos y calculados, para cuatro pares m, D . El resultado se presenta solo para ángulos positivos, $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$, es decir, para la dispersión hacia delante, porque las dispersiones hacia delante y hacia atrás del límite de Rayleigh son idénticas, mientras que alejándose de este límite, la dispersión tiende a convertirse casi exclusivamente en el dirección hacia adelante.

50 (i) El primer caso, que se refiere a $m = 1,4$, $D = 50 \text{ nm}$, $\gamma = 3,8$, representa el límite de Rayleigh, ofrecido por la dispersión azul celeste sobre todas las direcciones, siendo la dispersión un poco menos eficiente para ángulos cercanos a 90 grados.

(ii) El segundo caso, que se refiere a $m = 1,8$, $D = 230 \text{ nm}$, $\gamma = 3,5$, representa un caso para el que, a pesar del diámetro efectivo mucho más grande, γ está todavía muy cerca del límite de Rayleigh. Aparte del hecho de que la dispersión se ha convertido un poco más adelante, el resultado muestra una distribución de color apenas distinguible del caso anterior.

55 (iii) El tercer caso, que se refiere a $m = 1,7$, $D = 255 \text{ nm}$, $\gamma = 3$, representa un caso para el que, a pesar del pequeño cambio en los valores de m, D con respecto al caso anterior, γ toma un valor significativamente más

bajo, mientras que sin embargo permanece dentro de la zona seleccionada. El resultado muestra que la distribución del color es todavía esa característica de la difusión de cielo de mediodía, pero la dispersión se ha convertido fuertemente hacia adelante, limitándose esencialmente en el cono $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$. En particular, un número de aplicaciones en las que se usa el nanodifusor de la invención para instalaciones de iluminación artificial, se benefician del hecho de que se inactive la dispersión de ángulo grande, ya que esto puede representar una pérdida para el sistema de iluminación.

(iv) El cuarto caso se refiere a $m = 1,9$, $D = 260 \text{ nm}$, $\gamma = 2$. A pesar del pequeño cambio en los valores de m , D con respecto al caso anterior, γ se ha reducido significativamente, estando ahora fuera de la zona seleccionada. El resultado muestra que los matices azul celeste como el cielo y azul claro desaparecen totalmente. El cono $0^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$, en el que la dispersión es más intensa, está ahora poblado por una luz de color blanca-azulada, en la que la saturación del color es muy pobre. El cono exterior de $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ muestra unos matices verdosos y violetas grisáceos, totalmente incompatibles con el color natural de la luz cenital. Sorprendentemente, en consecuencia con los resultados informados a partir de los dos conjuntos de ensayos numéricos, lo que se descubrió es que, en el intervalo elegido m , D , la condición extremadamente simple $5 \geq (m, D) \geq 2,5$, que se calcula basándose solo en dos valores para la transmitancia de difusor en dos longitudes de onda seleccionadas, permite una discriminación precisa de la calidad del nanodifusor no solo para lo que concierne a la capacidad del difusor de reproducir una transmitancia como el sol de alta fidelidad en todo el espectro visible, sino que también para reproducir un espectro de difusión como el cielo de alta fidelidad, habiéndose verificado de manera selectiva esta última propiedad para cada ángulo de dispersión diferente.

Las condiciones en el número de partículas por unidad de superficie, $N \leq N_{M\acute{a}x}$ y $N \geq N_{m\acute{i}n}$, cumpliendo $T \geq T_{m\acute{i}n}$ y $T \leq T_{m\acute{a}x}$, respectivamente, se tratarán a continuación.

Calculando la transmitancia de difusor, $T(\lambda) = \exp[-Nc_{disp}(\lambda)]$, de acuerdo con la teoría de Mie, se obtiene para $\lambda =$

$$450 \text{ nm y } D \text{ en [metros]} \quad N = -4 \times 10^{-28} \frac{\ln(T)}{D^6} \left| \frac{m^2 + 2}{m^2 - 1} \right|^2 \text{ [metros}^{-2}\text{]}$$

(i) La condición $T(450 \text{ nm}) \geq T_{m\acute{i}n}$, $T_{m\acute{i}n} = 0,4$, preferentemente $T_{m\acute{i}n} = 0,5$, lo más preferentemente $T_{m\acute{i}n} = 0,6$, se

$$\text{traduce en } N \leq N_{M\acute{a}x} = -4 \times 10^{-28} \frac{\ln(T_{m\acute{i}n})}{D^6} \left| \frac{m^2 + 2}{m^2 - 1} \right|^2 \text{ [metros}^{-2}\text{]}$$

$$\text{- por ejemplo, para } T_{m\acute{i}n} = 0,4, \text{ se obtiene } N_{M\acute{a}x} = \frac{3,7 \times 10^{-28}}{D^6} \left| \frac{m^2 + 2}{m^2 - 1} \right|^2 \text{ [metros}^{-2}\text{]}$$

- por ejemplo, la figura 6 muestra el volumen en el espacio (m, D, N) correspondiente al caso $5 \geq \gamma(m, D) \geq 3$ y $0 \leq N \leq N_{M\acute{a}x}$ para el caso de $T_{m\acute{i}n} = 0,6$, (y para $1,05 \leq m \leq 2,1$, $11 \text{ nm} \leq D \leq 410 \text{ nm}$)

(ii) la condición $T(450 \text{ nm}) \leq T_{m\acute{a}x}$, $T_{m\acute{a}x} = 0,9$, preferentemente $T_{m\acute{a}x} = 0,8$, lo más preferentemente $T_{m\acute{a}x} = 0,7$, se

$$\text{traduce en } N \geq N_{m\acute{i}n} = -4 \times 10^{-28} \frac{\ln(T_{m\acute{a}x})}{D^6} \left| \frac{m^2 + 2}{m^2 - 1} \right|^2 \text{ [metros}^{-2}\text{]}$$

$$\text{- por ejemplo, para } T_{m\acute{a}x} = 0,9, \text{ se obtiene } N_{m\acute{i}n} = \frac{4,24 \times 10^{-29}}{D^6} \left| \frac{m^2 + 2}{m^2 - 1} \right|^2 \text{ [metros}^{-2}\text{]}$$

- por ejemplo, la figura 7 muestra el volumen en el espacio (m, D, N) correspondiente al caso $5 \geq \gamma(m, D) \geq 3$ y $N_{m\acute{i}n} \leq N \leq 10^{28} \text{ m}^{-2}$ para el caso de $T_{m\acute{a}x} = 0,8$ (y para $1,05 \leq m \leq 2,1$, $11 \text{ nm} \leq D \leq 410 \text{ nm}$)

La condición en la fracción de llenado de volumen máximo, f se trata a continuación.

El efecto final en este caso considerado es el relacionado con la presencia de la fracción de llenado de gran volumen, f . Al aumentar f , la distribución de las nanopartículas en el nanodifusor pierde su aleatoriedad, y las posiciones de las partículas se convierten en correlacionadas. Como consecuencia, la luz dispersada por la distribución de partículas experimenta una modulación que no solo depende de las características de una única partícula, como se predice por la teoría de Mie, sino que también en el llamado "factor de estructura" $S_\lambda(\theta)$, que es la transformada de Fourier de la función de correlación par. El efecto de la fracción de llenado alta es la de agotar gravemente la eficiencia de dispersión. Por otra parte, especialmente para los tamaños de partícula más pequeños, impacta también la dependencia de la eficacia de dispersión en la longitud de onda y así como en el ángulo. Con el fin de evitar estos efectos de "empaquetamiento compacto", se recomienda trabajar con fracciones de llenado de $f \leq 10^{-1}$, preferentemente de $f \leq 10^{-2}$, lo más preferentemente $f \leq 10^{-3}$.

El nanodifusor de acuerdo con la invención es un elemento óptico sólido que comprende una matriz sólida transparente que integra una dispersión de nanopartículas transparentes, cuyo tamaño medio d está en el intervalo de $10 \text{ nm} \leq d \leq 240 \text{ nm}$. El elemento óptico puede tener cualquier forma, y volumen. Como una lista de posibles ejemplos, se menciona que puede tener la forma de un paralelepípedo, con cualquier relación entre la longitud del eje diferente, incluyendo de este modo el caso de paneles y películas, pero puede tener también la forma de superficies curvadas, es decir, como un cilindro, que puede estar completamente lleno o vacío en el interior. Puede tener la forma de un tubo, que puede ser recto o curvado, o como una fibra. Puede tener también la forma de una lente. Por otra parte, puede comprender un conjunto de diferentes elementos, que pueden comprender diferentes materiales. La dispersión de nanopartículas en la matriz de integración puede ser homogénea, o puede presentar, por ejemplo, unos gradientes en las fracciones de llenado. En el caso de gradientes o no homogeneidades, los límites en la fracción de llenado más alta tratados en la sección de óptica anterior están destinados a referirse a la fracción de llenado más alta presente en el difusor. Obsérvese que todas las otras cantidades definidas en la sección de óptica anterior son cantidades medias, que por lo tanto se refieren al nanodifusor como un todo, y se definen correctamente también en la presencia de una no homogeneidad relevante del difusor considerado.

Específicamente, cuatro realizaciones de conformación preferidas son

1. un componente único macroscópico: un elemento óptico que comprende una matriz orgánica/inorgánica uniforme en la que las nanopartículas inorgánicas/orgánicas se dispersan homogéneamente.

2. un conglomerado heterogéneo: un elemento óptico que comprende una matriz orgánica/inorgánica uniforme en la que se incluyen perlas de un material de nanocompuesto, en la que las perlas pueden tener cualquier forma y dimensión en los intervalos de $1 \cdot 10^3 \mu\text{m}$, preferentemente $1 \cdot 10^2 \mu\text{m}$, lo más preferentemente $10 \cdot 10^2 \mu\text{m}$, y pueden fabricarse usando el mismo o un material de matriz diferente, siempre que la diferencia en el índice de refracción entre las dos matrices integradas sea lo suficientemente pequeña para evitar que las perlas creen una dispersión de luz, una reflexión, una refracción o difracción no deseadas. Por otra parte, la fracción de llenado que presentan las perlas debería ser lo suficientemente baja para evitar que tengan lugar los efectos relacionados con la fracción de llenado alta, ilustrada en la presente descripción.

3. una película: un elemento óptico que comprende una película de material de nanocompuesto, que puede soportarse por un bastidor o un soporte externo,

4. un bi-componente: un elemento óptico que comprende un sustrato en la parte superior del que se deposita una película de material de nanocompuesto.

Unos pocos ejemplos se informan en la figura 8.

La matriz puede ser orgánica o inorgánica.

Las matrices orgánicas adecuadas para los fines de la presente invención son las que incluyen, pero no se limitan a las siguientes:

- polímeros obtenidos por polimerización y copolimerización de uno, dos o más monómeros que pertenecen a las siguientes clases:

clase I monómeros acrílicos monofuncionales tales como los monómeros acrílico: acrilato de metilo (MA), acrilato de etilo (EA), acrilato de butilo (BA), acrilato de n-butilo (nBA), acrilato de iso-butilo (iBA), acrilato de t-butilo (TBA), hexilacrilato 2-etil (EHA), metacrilato de metilo (MMA), metacrilato de etilo (EMA), metacrilato de n-butilo (nBMA), metacrilato de isobutilo (IBMA), metacrilato de t-butilo (tBMA), lauril acrilato (LA), glicol dietileno bis (carbonato de alilo);

clase II monómeros acrílicos bifuncionales tales como: diacrilato dietilenglicol (DEGDA), diacrilato de trietilenglicol (T3EGDA), diacrilato de tetraetilenglicol (T4EGDA), diacrilato glicol polietileno (P9EGDA), diacrilato de etilenglicol (EGDA), diacrilato butanodiol (BDDA), diacrilato hexanodiol (HDDA), diacrilato diol decametilendimetacrilato (DMDDA), diacrilato de neopentilglicol (NPGDA);

clase III monómeros acrílicos trifuncionales tales como: trimetacrilato de trimetilolpropano, triacrilato de trimetilolpropano, triacrilato de pentaeritritol;

clase IV monómeros acrílicos tetrafuncionales tales como: tetraacrilato de pentaeritritol

- otros termoplásticos tales como policarbonatos (PC), poliestireno, polietileno, tereftalato de polietileno,
- otros termoplásticos de especialidad como copolímeros de ciclo-olefina (COC) que contiene etileno, ciclo-penteno, ciclohepteno, cicloocteno, norboneno. Los copolímeros estadísticos son amorfos si más del 10-15 % en moles de cicloolefinas está incorporado en la cadena polimérica. La temperatura de transición vítrea puede variarse a lo largo de un amplio intervalo mediante la selección de un norborneno como la cicloolefina y la variación de la cantidad de norborneno incorporado en la cadena de polímero. Los copolímeros de cicloolefina se caracterizan por una excelente transparencia, unas altas temperaturas de transición vítrea de hasta $200 \text{ }^\circ\text{C}$, y excelentes temperaturas de servicio de larga duración. Son resistentes a los disolventes polares y a los productos químicos y pueden procesarse en estado fundido. Debido a su alta relación hidrógeno/carbono, estos polímeros tienen un índice de refracción alto (1,53 para una incorporación de copolímero de etileno/norborneno al 50 % en moles).

- Otros termoplásticos de especialidad obtenidos por la homopolimerización y la copolimerización de carbonatos de alilo, como el glicol etileno bis (carbonato de alilo) y el carbonato de etoxietilo de alilo.

5 Esta lista puede ampliarse incluyendo posibles copolímeros de los materiales anteriormente mencionados y también polímeros reticulados.

Las matrices inorgánicas adecuadas para el fin de la presente invención son las que incluyen, pero no se limitan a: vidrio de sosa-cal-silíce, vidrio de borosilicato, sílice fundida, etc.

10 La transparencia es fundamental al elegir una matriz apropiada para el difusor cielo-sol de la presente invención. La transparencia de la matriz debería ser preferentemente muy alta con respecto a tanto la cantidad total de pérdida de potencia en la transmisión como con respecto a la distorsión en el perfil espectral transmitido (la matriz no debería absorber preferentemente cualquier longitud de onda, y se prefiere que el material aparezca incoloro para los espesores usados para el nano-difusor en consideración). Un ejemplo relevante es el polimetilmetacrilato (PMMA),
 15 que muestra una absorción en el campo visible de < 0,05 % para 3 mm de espesor, y el policarbonato (PC), para el que se ha medido una absorción del 2 % para 1 mm de espesor (estos datos se refieren a los productos en el mercado y la transmitancia de luz se ha medido con el método de ensayo DIN5036). En función de la aplicación deseada, el requisito real en la transparencia de matriz puede ser más o menos estricto. De hecho, los materiales que tienen la más alta transparencia podrían mostrar limitaciones en otras características, por ejemplo, en relación
 20 con las propiedades mecánicas, una característica retardadora del fuego, etc. En general, lo que se requiere en este caso es que, para un determinado elemento óptico de nanodifusor, la absorción que se produce en el tiempo en la matriz, para una dirección de propagación dada, es pequeña en comparación con la dispersión producida en el mismo haz en la misma dirección de propagación debido a la presencia de la dispersión de nano-partículas, en la que por pequeña se quiere decir que la absorción de luz por la matriz debería ser menor que el 50 %, preferentemente menor que el 20 %, más preferentemente menor que el 5 % de la dispersión producida por la dispersión de nanopartículas. El efecto de la absorción provocada por la matriz no afecta al valor de la transmitancia del nanocompuesto tal como se define por la técnica de medición propuesta en la presente descripción ya que la contribución debida a la absorción está presente tanto en la muestra como en el canal de referencia. El mismo razonamiento se aplica a la contribución de la reflexión de la luz en las superficies de entrada y salida de la muestra.

30 Las propiedades mecánicas de las matrices orgánicas del nanodifusor de la invención deberían estar comprendidas preferentemente dentro del intervalo siguiente:

	MÉTODOS DE ENSAYO		INTERVALOS	UNIDADES
Resistencia a la tracción	ASTM D638	ISO 527 1-4	35-80	MPa a 23 °C
Resistencia compresiva	ASTM D695	ISO 604	100-130	MPa
Módulo de flexión	ASTM D790	ISO 178	1500-3500	MPa
Estrés de flexión en la rotura	ASTM D790	ISO 527	60-130	MPa
Impacto de Charpy (con muesca)	ASTM D6110	ISO 179	1-15	KJ/m ²
Impacto de Izod con muesca	ASTM D256	ISO 180/1 A	1-20	KJ/m ²
Dureza Rockwell	ASTM D785	ISO 2039-2	105-130	Escala R, MPa

35 Estos intervalos de valores se han tomado de los datos técnicos proporcionados por los fabricantes de materiales plásticos tales como Degussa, Rohm, Bayer, Altuglas, etc., y se refieren a las medidas tomadas a una temperatura de 23 °C y para espesores de unos pocos mm.

40 Las nanopartículas deben tener un verdadero índice de refracción n_p suficientemente diferente del de la matriz, con el fin de permitir que tenga lugar la dispersión de luz. Por otra parte, las nanopartículas no deberían absorber la luz visible, al menos en una cantidad que reduzca apreciablemente la potencia y/o el cambio del espectro (es decir, el color) de la luz total que sale del difusor (es decir, la transmitida + la dispersada + la reflejada), con respecto a la incidente. Las nanopartículas pueden ser orgánicas e inorgánicas, en función de la elección del tipo de matriz. En el caso de una matriz orgánica las nanopartículas más adecuadas son las partículas inorgánicas. Las partículas orgánicas, adecuadas para la aplicación, tienen un índice de refracción muy similar al de la matriz orgánica, lo que conduce a una pequeña diferencia entre los índices de refracción de los dos medios y a una baja eficiencia de dispersión.

50 Las partículas inorgánicas adecuadas para este tipo de aplicación son las que incluyen pero no se limitan a ZnO, TiO₂, ZrO₂, SiO₂, Al₂O₃ que tienen un índice de refracción respectivamente $n_p = 2,0, 2,6, 2,1, 1,5, 1,7$ y cualquier otro óxido que sea transparente en la región visible. Estas mismas partículas también se usan como cargas para la matriz inorgánica.

Por otra parte, las partículas orgánicas pueden usarse con una matriz inorgánica y pueden fabricarse a partir de cualquiera de los polímeros anteriormente mencionados.

La forma de la nanopartícula puede ser cualquiera, incluso si se prefieren partículas esféricas. De hecho, la optimización de las propiedades ópticas del difusor a menudo requiere una cuidadosa elección del tamaño de partícula. Cuando se usan partículas con una relación de aspecto grande, la dispersión se comportará en muchos aspectos como polidispersada.

Una lista de posibles métodos de síntesis se describe a continuación.

Los materiales más adecuados para realizar el difusor de la presente invención son los realizados a partir de las matrices orgánicas, en particular PMMA y PC. PMMA y PC son dos plásticos que se producen muy fácilmente usando diferentes métodos. Como ejemplo, el PC puede transformarse por extrusión, termoconformación y moldeo por inyección, mientras que para el PMMA pueden usarse todos los procesos comunes incluyendo moldeo por inyección, moldeo por compresión y extrusión, aunque las láminas de PMMA de más alta calidad se producen por el llamado proceso de fundición de células. También hay muchos otros procesos que pueden usarse para la producción del difusor cielo-sol, dependiendo de la elección del proceso principalmente del tipo de matriz que se está usando. Lo que sigue es una breve lista de procesos por medio de los que puede prepararse el difusor cielo-sol:

(i) *Polimerización a granel radical* de monómeros acrílicos en presencia de las mismas nanopartículas de óxidos inorgánicos, también llamado industrialmente "método de fundición de células". Este método es el que se ha optimizado para la producción de prototipos a escala de laboratorio.

(ii) *Dispersión de mezcla directa por extrusión*. Se espera que esta técnica conduzca a un material más barato y una producción más rápida (la polimerización in situ puede llevar diversos días); puede ser específicamente ventajoso cuando tienen que producirse láminas relativamente delgadas (mm), y es adecuado para la síntesis de nanocompuestos de policarbonato, que puede conducir a unos rendimientos de retardantes del fuego superiores para PMMA y por lo tanto a un mayor impacto en la industria de la construcción.

(iii) *La polimerización en emulsión* es el método más importante de polimerizar industrialmente los monómeros de vinilo y acrílico. La polimerización se realiza en agua en presencia de un iniciador soluble en agua con unas micelas de monómero estabilizadas por agentes tensioactivos. Los productos generados por la polimerización en emulsión encuentran uso como recubrimientos o aglutinantes en pinturas, papel, adhesivos, textiles, cuidado del suelo, y los mercados de artículos de cuero. Debido a sus propiedades de formación de película a temperatura ambiente, la mayoría de los polímeros de éster acrílico comerciales son copolímeros de acrilato de etilo y acrilato de butilo con metacrilato de metilo. Este proceso es útil para la producción de materiales que tienen una morfología de núcleo-corteza que comprende un núcleo que consiste en un óxido y una corteza de polímero, o unidos covalentemente a los agentes de acoplamiento de superficie de óxido por las funciones de polímero o unidos físicamente por un enmallamiento. Estas perlas que encapsulan las nanopartículas se usan entonces en los procesos (i) o (ii) con el fin de producir el nanocompuesto a granel.

(iv) *Polimerización en suspensión*. En este tipo de polimerización, los monómeros se dispersan como gotitas de agua de 0,1 a 5 mm y se estabilizan por coloides protectores o agentes de suspensión. En contraste con la polimerización en emulsión, la iniciación se realiza por medio de un agente de monómero soluble y se produce dentro de la gotita de monómero en suspensión. El agua sirve al mismo doble fin como en la emulsión (eliminación de calor y la dispersión de polímero). El tamaño de partícula del material final se controla a través del control de los niveles de agitación, así como de la naturaleza y el nivel del agente de suspensión. Una vez formados, los microgránulos de polímero de 0,1 a 5 mm pueden aislarse a través de centrifugación o filtración. También en este caso, es posible obtener unos sistemas de núcleo-corteza.

(v) *Recubrimiento por rotación de película delgada*. Las películas delgadas se usan como un recubrimiento para otros elementos ópticos, siempre que se garantice una coincidencia suficiente entre los coeficientes de expansión térmica para la aplicación bajo examen. Este proceso permite producir películas a escala de laboratorio y con un espesor máximo de 10 μm .

(vi) *Polimerización inducida por radiación*. Los nanocompuestos pueden formarse a través de la aplicación de una radiación de alta energía o a un monómero o a una mezcla de oligómeros. El curado ultravioleta es el método más ampliamente practicado de iniciación basado en la radiación; este método encuentra una aplicación en las zonas de recubrimiento, ya que unos objetos relativamente delgados (unos pocos mm) se polimerizan fácilmente usando un fotoiniciador (por ejemplo, benzoina, benzofenona, 2-bencil-2- (dimetilamino)-4'-butirofenona morfolino etc.) bajo radiación UV. Esta técnica ha visto amplios desarrollos en los últimos años, ya que es un proceso muy ventajoso para las aplicaciones industriales. De hecho, el proceso de fotopolimerización está libre de solventes, las tasas de producción son altas y la energía necesaria es mucho menor que en el caso de los procesos de polimerización iniciados térmicamente. Esta técnica se ha convertido en ampliamente usada para la producción de películas y también de recubrimientos sobre una variedad de sustratos. En el caso de una polimerización iniciada por haz de electrones de sistemas gruesos también es posible.

Los difusores cielo-sol de acuerdo con la presente invención que tienen una matriz inorgánica pueden producirse, por ejemplo, por medio del método de sol-gel. Hay dos posibles enfoques diferentes:

i) la producción de películas delgadas que tienen espesores en el intervalo entre los 5-20 μm es posible por medio del proceso del Doctor Blade. Por medio de este proceso, es posible producir solo películas inorgánicas/inorgánicas ya que a las temperaturas implicadas en el proceso de sinterización, los polímeros se queman y se degradan.

ii) los materiales a granel también pueden procesarse usando el proceso sol-gel. Como ejemplo, el material ORMOCER® (<http://www.ormocer.de/EN>) se produce usando un proceso que se inicia creando una red inorgánica mediante una hidrólisis y una condensación controladas de alcóxidos de Si modificados orgánicamente. En una etapa posterior los grupos polimerizables, que están fijados a la red inorgánica, reaccionan entre sí en un proceso térmico o se inician por UV. En este proceso de dos etapas se sintetiza un copolímero inorgánico-orgánico. También es posible durante la producción agregar muchas cargas al material, en una variedad de formas, tales como partículas. Al elegir el precursor más adecuado y la nanocarga deseada es posible, por lo tanto, obtener unos materiales a granel que tienen unas propiedades a medida.

Primera técnica preferida: fundición de célula

La polimerización de fundición de célula se usa, por ejemplo, para la producción del PMMA. Se siguen dos enfoques diferentes para producir el difusor cielo-sol, en este caso descritos como método A y B.

Método A- polimerización directa del monómero

Las etapas necesarias con el fin de obtener una suspensión bien monodispersa de las nanopartículas en el MMA comprenden:

Purificación del monómero

El MMA producido por Sigma Aldrich, que contiene de 0 a 100 ppm de hidroquinona monometil éter se usa como inhibidor (con el fin de dar al producto una vida útil más larga). El inhibidor se elimina, ya que puede perturbar el proceso de polimerización. Con el fin de hacer así el monómero se destila a presión reducida antes de su uso. A continuación, el monómero destilado se somete a al menos un ciclo de congelación y descongelación. Si se mantiene protegido de la luz y a baja temperatura (es decir, en una nevera) el monómero destilado puede durar hasta una semana.

Otro método usado para la purificación de grandes cantidades de MMA es por medio de la filtración en columna. Una columna de vidrio se llena 1/3 con alúmina activada básica. A continuación, se añade el monómero (MMA) desde la parte superior de la columna y el monómero limpio se recoge en un recipiente de vidrio después de haber pasado a través de la alúmina. De esta manera el inhibidor (hidroquinona monometil éter) se elimina.

Modificación de la superficie de las partículas

Las partículas inorgánicas tienen que tratarse en la superficie con el fin de aumentar la compatibilidad entre las dos fases (orgánica/inorgánica) y para reducir la energía de superficie, que debido a la alta relación entre el área superficial de las nanocargas y el de la matriz, juega un papel importante en la estabilidad del sistema. En la literatura se tratan diversas técnicas de modificación de superficies. Los agentes de formación de tapa orgánicos comunes son tioles con cadenas de alquilo largas, que cubren la superficie de las nanopartículas y son altamente compatibles con los monómeros. Otras posibilidades de modificaciones de la superficie son por reacción química de las funcionalidades presentes en la superficie (es decir, la silanización con moléculas de silano), para las nanopartículas de óxidos por lo general son hidroxilos, con moléculas reactivas adecuadas, o cubriendo la partícula con moléculas tensioactivas que pueden adsorberse físicamente en la superficie.

Un enfoque complementario para aumentar la compatibilidad entre las nanopartículas inorgánicas y los polímeros orgánicos es cubrir la superficie de nanopartículas con un recubrimiento de polímero. Este recubrimiento puede hacerse usando unos monómeros acrílicos disfuncionales tales como: 2-hidroxietil acrilato (HEA), 2-hidroxipropil acrilato (HPA), butanodiol monoacrilato (BDMA), metacrilato de glicidilo (GMA), diglicidil éter de bisfenol A (DGEBA), metacrilato de dimetilaminoetilo, acrilato hidroxietilo de DMAEMA (HEA), acrilato de dimetilaminoetilo (DMAEA). De hecho unos grupos de amino, glicidilo o hidroxilo pueden interactuar fuertemente con la superficie de las nanopartículas inorgánicas y la polimerización de los grupos acrílicos puede crear una red rígida alrededor de la partícula.

Las partículas inorgánicas pueden comprarse ya que tienen una superficie modificada. Ejemplos de tales partículas son: Degussa TEGO® SUN Z800 (ZnO), Degussa VP AdNano® Z805 (ZnO), Degussa AEROXIDE® TiO₂ T805.

Dispersión de las nanopartículas.

Las nanopartículas se añaden al monómero destilado con el fin de formar una suspensión con una concentración de nanopartículas del 1 % en peso o más. Con el fin de romper los grupos en las partículas primarias, la suspensión está sujeta tanto a un tratamiento con ultrasonidos como, posteriormente, a una centrifugación. La suspensión

altamente concentrada se trata con ultrasonidos en primer lugar usando un aparato de ultrasonidos de 20 kHz durante 15 min. Grandes grupos de partículas se rompen de este modo y se obtiene una suspensión blanquecina. Ya que no es posible romper todos los agregados por medio del tratamiento con ultrasonidos, se necesita una centrifugación con el fin de eliminar las partículas grandes de la suspensión y los agregados que tienen tamaños medios de partículas que no están comprendidos dentro del intervalo de tamaños medios de acuerdo con la presente invención.

De hecho, existe una relación entre el tamaño medio de partícula y el tiempo necesario para que las partículas que tienen tal tamaño medio se asienten en el fondo de un tubo de ensayo de una cierta altura. Por medio de esta relación se ha calculado el tiempo de centrifugación necesario para que todas las partículas que tienen un tamaño medio más grande que un cierto valor sedimenten en el fondo del tubo de ensayo.

Los ensayos de dispersión de luz dinámica (DLS) confirmaron que las nanopartículas en la suspensión centrifugada que tienen un tamaño medio mayor que el valor límite elegido se eliminan, y por lo tanto que la técnica de centrifugación es adecuada para seleccionar las partículas en los intervalos de acuerdo con la invención.

Rellenar el iniciador de la reacción

El iniciador se necesita para activar el proceso de polimerización. En la presente invención la reacción que tiene lugar se llama *polimerización por crecimiento de cadena*. En esta reacción, unas moléculas de monómero insaturadas se añaden a una cadena de polímero en crecimiento de una en una. El proceso puede dividirse en tres etapas principales:

1. El iniciador se necesita en esta primera etapa, ya que es el responsable del inicio de la cadena polimérica. El iniciador necesario debe ser de la familia de iniciadores de radicales libres térmicos, que puede pertenecer a la familia de los peróxidos orgánicos tales como el nBPO (peróxido de benzoilo) o a la familia de compuestos de azo como el AIBN (azobisisobutironitrilo). Estos compuestos, cuando se tienen a no muy altas temperaturas (por debajo de 100 °C) pueden dividirse en dos radicales. Estos radicales forman a continuación un enlace estable con un átomo de carbono en el MMA y se inicia la reacción. Esta primera etapa se llama *iniciación de la cadena*.
2. *Propagación* de la reacción, las cadenas largas se forman debido a los radicales libres que se combinan con las moléculas de monómero.
3. *Terminación*, la polimerización llega a su fin debido a los procesos de combinación o desproporción.

El iniciador de radicales usado en la presente invención es peróxido de benzoilo (BPO, C₁₄H₁₀O₄). Esta opción es conveniente ya que a 54 °C (esta es la temperatura a la que la reacción se lleva a cabo) el BPO tiene una vida media de 156 h y una tasa de descomposición de $1,23 \cdot 10^{-6}$, por lo que es posible realizar la reacción de polimerización del nanocompuesto teniendo una matriz de PMMA a una temperatura muy lejos de la temperatura de ebullición del MMA y en cantidades razonables de tiempo (alrededor de 1 día).

La suspensión se vierte en un molde de vidrio y la reacción se realiza en un reactor, precalentado a una temperatura de 54 °C, en un flujo continuo de nitrógeno.

Después de la polimerización el nanodifusor está sujeto a un proceso de curado que puede durar hasta 3 días a una temperatura de 94 °C con el fin de eliminar cualquier monómero residual presente dentro del nanocompuesto y para descomponer cualquier BPO restante.

Las superficies del nanodifusor se tratan con unas herramientas de pulido apropiadas y unos productos químicos abrasivos con el fin de eliminar las impurezas superficiales que podrían comprometer las propiedades ópticas del difusor.

Método B- polimerización de dos etapas

Este método permite controlar mucho mejor el efecto de aceleración automática y el problema de la contracción, proporcionando de este modo un producto final que tiene una calidad mucho mayor. Este procedimiento comprende dos etapas: una etapa de pre-polimerización y una etapa de polimerización. Para una descripción detallada del proceso industrial se hace referencia a Martin Rivera-Toledo et al. "Dynamic Modeling and Experimental Validation of the MMA Cell-Cast Process for Plastic Sheet Production" Ind. Eng. Chem. Res. 2006, 45, 8539-8553. En la etapa de prepolimerización se establecen unas condiciones experimentales de manera que se obtienen los valores de conversión de monómeros modestos (15-20 %), el producto así obtenido es un líquido muy viscoso llamado un jarabe. El jarabe se obtiene añadiendo una pequeña cantidad de iniciador al monómero y calentando el sistema a una temperatura por debajo de 100 °C y por encima de 50 °C, que depende de la vida media del iniciador. El sistema se mantiene a esta temperatura hasta que se alcanza el grado deseado de conversión. Después de esta etapa las nanopartículas se añaden al sistema. Un iniciador de radicales es responsable de iniciar la polimerización. Una cantidad de aproximadamente un 0,2 % de un segundo iniciador de radicales se disuelve en aproximadamente un 10 % (calculado sobre el peso de jarabe que está disponible) de monómero destilado puro. Esta mezcla se añade al jarabe que contiene las nanopartículas y el sistema se mantiene en agitación durante aproximadamente 1 hora con

el fin de obtener una mezcla perfecta de las dos fases. La dispersión se vierte en un molde y la reacción de polimerización tiene lugar en un baño de agua a una temperatura de aproximadamente 60 °C.

Segunda técnica preferida: extrusión

Para producir nanodifusores de acuerdo con la presente invención por polimerización de extrusión se ha considerado un proceso de dos etapas. En una primera etapa unos microgránulos de PMMA y unas pequeñas cantidades de nanopartículas, se mezclan entre sí usando un extrusor de doble tornillo para producir nuevos microgránulos que contienen las nanopartículas, la denominada mezcla básica. Por lo tanto, el tornillo no solo se usa para fundir el plástico, sino que también para romper las nanopartículas y a continuación mezclarlas con el plástico fundido. La mezcla básica está por lo general en una concentración muy alta de nanopartículas, mucho más alta que el 0,01 % que se requiere. En una segunda etapa, las cantidades adecuadas de mezcla básica se mezclan con el PMMA con el fin de producir unos microgránulos con la concentración deseada. A continuación, estos microgránulos de nanocompuestos se formarán de la manera deseada a través del proceso de moldeo.

Tercera técnica preferida: el método híbrido por colada y extrusión

Otro método que puede usarse para la producción de los difusores de acuerdo con la presente invención hace uso tanto de las técnicas de fundición como de extrusión de células. En primer lugar, por medio del proceso de fundición de células (ya sea el procedimiento A o B como se ha descrito anteriormente) se prepara una muestra gruesa que contiene un gran número de partículas. Por gran número se quiere decir que la muestra funciona en un régimen de gran dispersión múltiple, si se usa tal como es. Sin embargo, la concentración de partículas (la fracción de llenado de volumen) no debería exceder el valor por encima del cual, para el tamaño de partícula dado, la distribución de posición de partícula resultante pierde su aleatoriedad (véase la sección sobre las propiedades ópticas). En particular, la muestra no debería contener un número significativo de agregados de partículas, o grupos en el que la concentración local es mayor que el límite impuesto por la fracción de llenado máximo de conjunto, ya que esta circunstancia deteriorará la calidad óptica final del material compuesto. Este nanocompuesto se rompe a continuación en trozos pequeños y se alimenta en la extrusora junto con una cantidad adecuada de microgránulos de PMMA con el fin de conducir al desarrollo de un difusor final cuyo número total de partículas vistas por el haz de luz de ensayo tenga el valor deseado (por ejemplo, que está por debajo del límite para la dispersión múltiple, si este proceso tiene que obstaculizarse con respecto a la dirección de iluminación considerada). Este método conduce a un difusor final, que parece homogéneo en la escala macroscópica (mm-m), pero que es no homogéneo, no solo a nivel de nm, sino que también a una escala intermedia, μm -mm. Debería observarse que, siempre que la posición de la partícula permanece no correlacionada, las propiedades de dispersión del difusor se determinan por la distribución de partícula media, siendo el número total de partículas en la trayectoria del haz lo que determina la dispersión, no importa si estas partículas se distribuyen uniformemente o no uniformemente en el difusor. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, es más fácil preparar unos nanodifusores ópticamente gruesos libres de agregados (o libres de partículas grandes, grupos demasiado densos, etc.) por medio de la técnica de fundición de células cuidadosamente controlada, que simplemente dispersa las nanopartículas en la extrusora. El uso de las perlas de material de nanocompuesto puede implementarse también para la producción de fundición de células industrial del nanodifusor, en la que se desarrollan unos difusores de nano-compuesto de gran volumen.

MÉTODO: La medición de la "transmitancia colineal normalizada monocromática, $T(\lambda)$ "

El procedimiento de medición experimental descrito a continuación está destinado a definir la "transmitancia colineal normalizada monocromática, $T(\lambda)$ " del difusor en la longitud de onda y la dirección de propagación seleccionados. Intuitivamente, la cantidad es la relación entre la transmitancia del difusor en la dirección de propagación, que no tiene en cuenta la contribución de la luz dispersada, y la transmitancia de una muestra de referencia idéntica al difusor excepto por el hecho de que no contiene las nanopartículas transparentes. De manera más precisa, considerando un haz de ensayo un haz de luz colimada y casi-monocromático no polarizado, con una longitud de onda central λ , un ancho de banda espectral $\Delta\lambda < 10 \text{ nm}$ y una divergencia angular $\Delta\theta < 5 \text{ mrad}$, que atraviesa el difusor en una dirección de propagación dada, y definiendo como "transmitancia colineal monocromática" de una muestra a la longitud de onda λ en la dirección seleccionada la relación entre (i) la potencia radiante que se propaga más allá de la muestra en la misma dirección y dentro del mismo ángulo sólido de divergencia $\Delta\theta < 5 \text{ mrad}$, y (ii) la potencia radiante del haz incidente, el procedimiento de medición propuesto proporciona la relación entre: (i) la transmitancia colineal monocromática del complemento difusor: (ii) la transmitancia colineal monocromática de una muestra de referencia idéntica al difusor excepto por el hecho de que no contiene las nanopartículas transparentes, siendo dicha relación la cantidad que en este caso se define como: "la transmitancia colineal normalizada monocromática del difusor en longitud de onda dada para la dirección de propagación dada".

El aparato experimental, ilustrado en la figura 9 y en la figura 10, comprende:

1. Una fuente de láser azul que emite a $450 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$
2. Un despolarizador y un filtro interferencial que transmite solo a un ancho de banda amplio de 10 nm centrado a 450 nm

3. Una fuente de láser rojo que emite a $630 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$
4. un despolarizador y un filtro interferencial amplio de 10 nm que transmite solo a un ancho de banda amplio de 10 nm centrado a 630 nm
5. Un espejo cinemático
6. Una lente de enfoque acromática
7. Un orificio colocado en el punto focal de la lente para filtrar espacialmente el haz
8. Una lente de colimación acromática
9. Un divisor de haz de ancho de banda al 50%
10. La muestra de referencia
11. Un filtro de densidad neutra
12. Una lente acromática de enfoque
13. Un orificio colocado en el punto focal de la lente para filtrar espacialmente el haz
14. Un detector
15. El difusor a caracterizarse
16. Un filtro de densidad neutra
17. Una lente acromática de enfoque
18. Un orificio colocado en el punto focal para filtrar espacialmente el haz
19. Un detector
20. La muestra de referencia con una superficie posterior reflectante
21. El difusor a caracterizarse con una superficie posterior reflectante

La radiación administrada ya sea por el láser de 450 nm o el láser de 630 nm , que pueden seleccionarse de manera independiente conmutando la posición del espejo cinemático, después de haber pasado a través de un elemento de despolarización y un filtro interferencial para eliminar los componentes espectrales que pueden estar presentes fuera del ancho de banda aceptado de 10 nm , se envía a un filtro espacial, que también actúa como un expansor y colimador de haz, que garantiza la divergencia del haz $< 5 \text{ mrad}$ para las dos fuentes. A continuación, el haz se divide en dos brazos iguales, que se envían a las muestras. A continuación, se llama canal 1 (arriba en la figura) al usado para la referencia, y canal 2 (abajo) al usado para el nanodifusor. Los componentes transmitidos se enfocan por unas lentes acromáticas (12, 17) en dos orificios (13, 18), cuyo tamaño se establece para seleccionar solo la radiación transmitida por las muestras dentro de un ángulo divergencia de 5 mrad . La elección de dicho ángulo sólido pequeño garantiza que la luz dispersada por la muestra en cualquier ángulo no contribuye a la señal que se detecta después del orificio. Los filtros de densidad neutra (11, 16) se usan para adaptar óptimamente el intervalo dinámico del detector. Si sucede que la muestra tiene un alto recubrimiento de reflectividad en una cara, de manera que la luz no se transmite a través de la muestra, la técnica a usarse se muestra en la figura 10. El aparato es idéntico al anterior, con la única diferencia de que el haz se transmite, se refleja y a continuación se transmite de nuevo a través de la muestra antes de enviarse al filtro y a la detección espacial.

El principal problema en averiguar la contribución a la atenuación provocada por la dispersión es el de aislarla de las otras dos contribuciones provocadas por la reflexión en las interfaces del difusor de aire de entrada y salida, y por la posible absorción provocada por la matriz u otros componentes no esenciales en la muestra. Este problema se resuelve por el método propuesto en el presente documento debido a que el difusor se ensaya frente a una muestra de referencia que es prácticamente idéntica a la del difusor con la única excepción de que no contiene las nanopartículas.

45 PROCEDIMIENTO

Para cada una de las dos longitudes de onda, el procedimiento se repite de manera idéntica, cambiando únicamente la fuente de luz. Cada procedimiento de medición se realiza en dos etapas.

50 ETAPA 1: calibración del sistema

Esta etapa está encaminada a eliminar cualquier posible contribución debido a la asimetría existente entre los dos canales. Con este fin se colocan dos muestras de referencia idénticas 10 y 15 en su lugar, donde existen unos soportes adecuados para garantizar la máxima reproducibilidad en la colocación de la muestra. Si P_0 es la potencia del láser usado, T_A es la transmitancia que la muestra de referencia tendría en presencia del único efecto de absorción y T_R la transmitancia que la muestra de referencia tendría en presencia de la única reflexión, los dos detectores medirían ahora las dos señales:

60 $V_1 = c_1 P_0 T_R T_A$ y $V_2 = c_2 P_0 T_R T_A$, en la que c_1 y c_2 son dos constantes que no dependen de la muestra, sino del aparato, y que pueden ser un poco diferentes ya que representan todas las posibles asimetrías en la distribución, como por ejemplo las debidos a la potencia desequilibrada en los dos brazos, la sensibilidad del detector ligeramente diferente, las dimensiones del orificio, etc. El resultado de la medición de calibración proporciona:

65 $c_1/c_2 = V_1/V_2$

ETAPA 2: medición

En la segunda etapa la muestra de referencia en el canal 2 se sustituye por el nano-difusor que debería caracterizarse. Si ahora la potencia del láser es P_0 , que podría ser la misma o diferente que P_0 , se define como la transmitancia colineal normalizada monocromática de la muestra a la longitud de onda dada la cantidad $T \equiv V_2 / (c_2 P_0 T_R T_A)$. En esta etapa, los dos detectores darán por lo tanto las señales $V_1 = c_1 P_0 T_R T_A$ y $V_2 = c_2 P_0 T_R T_A$. Usando $c_1/c_2 = V_1/V_2$, se obtiene finalmente $T = (V_2 V_1) / (V_2 V_1)$. Repitiendo la medición con las dos fuentes láser, se obtiene finalmente $T(450 \text{ nm})$ y $T(630 \text{ nm})$.

Nota. Si la muestra es macroscópicamente homogénea, el procedimiento implica tomar la transmitancia medida mínima si el objetivo es determinar T_{\min} , y la transmitancia medida máxima si el objetivo es determinar T_{\max} .

Ejemplos

EJEMPLO 1.

Producción de un difusor a granel de PMMA/TiO₂

Un difusor cielo-sol se produce por medio de una técnica de polimerización a granel in situ.

En una realización preferida se usa metacrilato de metilo (MMA) para la matriz y Degussa AEROXIDE TiO₂ T805 para las nanopartículas, que tienen una dimensión nominal de 21 nm (como proporciona el fabricante). Las partículas, tal como se reciben desde el fabricante, están en forma de macro aglomerados con dimensiones de hasta 1 μm. Con el fin de usarlas los aglomerados se separan en las partículas primarias. Una primera etapa para alcanzar este objetivo consiste en el tratamiento con ultrasonidos de una suspensión de alto concentrado (aproximadamente 1 % en peso) de las nanopartículas de TiO₂ en el MMA. La duración de este proceso depende de la potencia del instrumento empleado y del volumen de la dispersión. En el presente ejemplo, la suspensión de nanopartículas de TiO₂ en MMA se trata con ultrasonidos durante 15 minutos. Este proceso por sí solo no es suficiente para separar todos los aglomerados y obtener una distribución de partículas que tengan un tamaño medio de menos de 80 nm. Una etapa adicional necesita realizarse. En esta segunda etapa solo aquellas partículas que tienen la dimensión deseada (≤ 80 nm) se seleccionan y se descartan las que tienen tamaños más grandes. Esto se realiza usando una centrifugadora que alcanza una aceleración de aproximadamente 3421 g durante 14 minutos con el fin de obtener una suspensión que contenga solo las nanopartículas de TiO₂ con tamaños de 69,5 nm. El tamaño medio de partícula se mide usando la técnica de dispersión de luz dinámica (DLS). La suspensión que contiene las nanopartículas que tienen los tamaños seleccionados se diluye con el fin de obtener 30 ml de suspensión con una concentración que varía de 100 a 400 ppm en peso de nanopartículas de TiO₂. Con el fin de reducir la formación de burbujas de aire dentro del polímero durante la reacción, la suspensión se somete a tres ciclos de congelación y descongelación. Ya que los ciclos térmicos provocan la agregación de partículas, es necesario tratar con ultrasonidos la suspensión una vez más (5 min) antes de la siguiente etapa. Para iniciar la reacción de polimerización se usa el peróxido de benzoilo (BPO) como el iniciador en una cantidad de 1 mmol/l. La polimerización se realiza en un reactor en una atmósfera de nitrógeno, usando un Becker de 150 ml, diámetro = 54 mm como el molde. La reacción está durante 36 horas a la temperatura de 54 °C. Después de la polimerización los difusores a granel se someten a un proceso de curado a una temperatura de 94 °C durante 3 días con el fin de aumentar el grado de polimerización y para descomponer cualquier BPO residual. El difusor a granel se trata a continuación con el fin de eliminar las impurezas de la superficie, lo que podría degradar la calidad óptica del difusor.

Los nanodifusores cielo-sol producidos usando este método tienen un grosor de 1 cm. En la siguiente tabla se muestran los valores de γ y $T(450 \text{ nm})$. La concentración se varía con el fin de mostrar el impacto de un aumento en el número de partículas en las propiedades de transmisión del difusor cielo-sol. Como era de esperar de los resultados presentados en la figura 5, debido al tamaño de partícula elegido y al desajuste del índice de refracción, la dispersión se comporta muy cerca del límite de Rayleigh para todas las concentraciones, confirmando de este modo que no se han producido agregaciones de partículas

TAMAÑO EFECTIVO DE PARTÍCULA, D [nm]	m	CONCENTRACIÓN (PPM)	γ	T_{450}
98	1,9	30	3,87	0,82
98	1,9	100	3,87	0,52
98	1,9	300	3,86	0,14

Por lo que se refiere al aspecto visual del difusor, la figura 11 (arriba) describe el efecto de la retrodispersión de Rayleigh cuando tres discos de nanodifusor cielo-sol se iluminan por delante mediante un LED blanco de InGaN comercial, y se ven contra un fondo oscuro. El resultado muestra que el color de la luz retrodispersada es azul celeste, similar al del cielo de mediodía. La figura 11 (abajo) muestra un collage (aumentando el tiempo de exposición de derecha a izquierda) de instantáneas obtenidas cuando los mismos discos se iluminan por el mismo

LED desde el lado derecho, de manera que la luz se guía en el interior de los discos debido a la reflexión interna total en la superficie del disco. La dispersión de Rayleigh se difunde ahora fuera de los discos primero los colores azul celeste luego el amarillo y finalmente el naranja y el rojo.

- 5 Usando el mismo procedimiento como anteriormente pero para el caso de partículas de TiO_2 compradas en Sigma Aldrich, que no tienen un recubrimiento hidrófobo, y sin realizar el proceso de centrifugación, no es posible obtener nanodifusores cielo-sol con los parámetros correctos. De hecho, las mediciones DLS en la suspensión de las nanopartículas y el MMA antes de la polimerización muestran que las partículas en el difusor tienen un tamaño medio de 300 nm, que está fuera del intervalo de diámetro medio de partícula de acuerdo con la presente invención.
- 10 Después de la polimerización, el nanodifusor aparece blanquecino para todas las concentraciones investigadas.

Producción de un difusor a granel de PMMA/ZnO

- 15 En este ejemplo se usa el mismo procedimiento descrito anteriormente, con la excepción del TiO_2 que se sustituye por nanopartículas de ZnO hidrofobizadas compradas en Degussa (TEGO® SUN Z 800). Además, se usan diferentes tiempos de centrifugación. Las mediciones de DLS en la suspensión de nanopartículas y el MMA antes de la polimerización muestran que las partículas en el difusor tienen un tamaño medio de 160 nm. Para una concentración en volumen del 0,0017 % y un nano-difusor de espesor de 7 mm, la medida de la transmitancia colineal normalizada monocromática proporciona $T(450 \text{ nm}) = 0,83$ y $\gamma = 2,8$, que están comprendidos dentro del intervalo aceptable definido. El nanodifusor cuando se ilumina en una configuración de retrodispersión aparece el azul celeste.
- 20

- 25 Se han descrito algunas realizaciones de la invención, pero es evidentemente susceptible a numerosas modificaciones y variantes dentro del alcance del concepto inventivo, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un difusor óptico sol-cielo sólido capaz de reproducir, cuando se ilumina con luz blanca visible, la presencia simultánea de dos componentes cromáticos diferentes: una luz cenital difusa, en la que el azul es dominante, y una luz del sol transmitida, con un componente de azul bajo; comprendiendo dicho difusor óptico una matriz sólida transparente que integra una dispersión de nanopartículas transparentes que tienen un tamaño medio d en el intervalo de $10 \text{ nm} \leq d \leq 240 \text{ nm}$; en el que:
- 5
- 10 - la relación entre las densidades ópticas de dispersión azul y roja $\gamma = \text{Log} [T (450 \text{ nm})] / \text{Log} [T (630 \text{ nm})]$ de dicho difusor óptico está comprendida en el intervalo $5 \geq \gamma \geq 2,5$, en la que $T (\lambda)$ es una transmitancia colineal normalizada monocromática del difusor óptico, definida como la relación entre la transmitancia de difusor óptico en la dirección de propagación, sin la contribución de la luz dispersada, y la transmitancia de una muestra de referencia idéntica al difusor óptico excepto en que no contiene las nanopartículas transparentes; en el que la transmitancia colineal normalizada monocromática del difusor a una longitud de onda de medición y a lo largo de una dirección de medición se mide:
- 15
- a) atravesando el difusor un haz de luz casi monocromático no polarizado que tiene una longitud de onda central igual a la longitud de onda de medición, un ancho de banda espectral menor que 10 nm y una divergencia angular menor que 5 mrad ;
- 20 b) midiendo una primera potencia radiante del haz de luz incidente sobre el difusor;
- c) midiendo una segunda potencia radiante del haz de luz que se propaga más allá del difusor, a lo largo de la dirección de medición y dentro de dicha divergencia angular;
- d) determinando una primera relación entre dichas potencias radiantes segunda y primera;
- 25 e) iterando las etapas a) a d) en la muestra de referencia, con el fin de determinar una segunda relación, en relación con la muestra de referencia; y
- f) determinando una tercera relación entre las relaciones primera y segunda, siendo la transmitancia colineal normalizada monocromática igual a la tercera relación;
- 30 - a lo largo de al menos una primera dirección de propagación, la transmitancia colineal normalizada monocromática del difusor óptico es $T (450 \text{ nm}) \geq 0,4$;
- a lo largo de al menos una segunda dirección de propagación la transmitancia colineal normalizada monocromática del difusor óptico es $T (450 \text{ nm}) \leq 0,9$, en la que dicha segunda dirección de propagación es la misma que, o diferente que, la primera dirección de propagación.
- 35
2. El difusor de acuerdo con la reivindicación 1, en el que a lo largo de dicha segunda dirección, la transmitancia colineal normalizada monocromática del difusor óptico es $T (450 \text{ nm}) \leq 0,8$.
- 40
3. El difusor de acuerdo con la reivindicación 1, en el que a lo largo de dicha segunda dirección, la transmitancia colineal normalizada monocromática del difusor óptico es $T (450 \text{ nm}) \leq 0,7$.
4. El difusor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que dicha segunda dirección es la misma que dicha primera dirección.
- 45
5. El difusor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que dicha segunda dirección es ortogonal a dicha primera dirección, y en el que a lo largo de dicha segunda dirección la transmitancia colineal monocromática del difusor óptico es $T (\lambda) \leq 0,5$ para $\lambda \leq 570 \text{ nm}$.
- 50
6. El difusor de acuerdo con la reivindicación 5, en el que a lo largo de dicha segunda dirección la transmitancia colineal monocromática del difusor óptico es $T (\lambda) \leq 0,3$ para $\lambda \leq 570 \text{ nm}$.
7. El difusor de acuerdo con la reivindicación 5, en el que a lo largo de dicha segunda dirección la transmitancia colineal monocromática del difusor óptico es $T (\lambda) \leq 0,1$ para $\lambda \leq 570 \text{ nm}$.
- 55
8. El difusor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que el índice de refracción relativa $m \equiv \frac{n_p}{n_h}$, en la que n_p es el índice de refracción de dichas nanopartículas y n_h es el índice de refracción de dicha matriz sólida transparente, están comprendidos en el intervalo de $0,7 \leq m \leq 2,1$ a excepción de los valores que están comprendidos en el intervalo de $0,95 \leq m \leq 1,05$, y el diámetro de partícula efectivo, $D \equiv dn_h$, cumple $D [nm] \leq 132 m + 115$ si $0,7 \leq m \leq 0,95$; $D [nm] \leq 240$ si $1,05 \leq m < 1,35$ y $D [nm] \leq -135 m + 507$ si $1,35 \leq m \leq 2,1$.
- 60
9. El difusor de acuerdo con la reivindicación 8, en el que, a lo largo de al menos la primera dirección, el número de nanopartículas por unidad de superficie es

$$N \leq N_{\text{máx}} = \frac{3,7 \times 10^{-28}}{D^6} \left| \frac{m^2 + 2}{m^2 - 1} \right|^2 \text{ [metros}^{-2}\text{]}, \text{ estando } D \text{ dado en metros}$$

10. El difusor de acuerdo con la reivindicación 8, en el que, a lo largo de al menos la segunda dirección, el número de nanopartículas por unidad de superficie es

$$N \geq N_{\text{mín}} = \frac{4,24 \times 10^{-29}}{D^6} \left| \frac{m^2 + 2}{m^2 - 1} \right|^2 \text{ [metros}^{-2}\text{]}, \text{ estando } D \text{ dado en metros}$$

5

11. El difusor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, caracterizado por que:

i. siendo

$$m \equiv \frac{n_p}{n_h},$$

10

se cumple $0,7 \leq m \leq 2,1$, a excepción de $0,95 \leq m \leq 1,05$;

ii. siendo $D \equiv dn_h$, se cumple $D [nm] \leq 132 m + 115$ para $0,7 \leq m \leq 0,95$

$D [nm] \leq 240$ si $1,05 \leq m < 1,35$, y

15

$D [nm] \leq -135 m + 507$ si $1,35 \leq m \leq 2,1$;

iii. siendo N [metros⁻²], el número de partículas por unidad de superficie y D dado en metros, a lo largo de al menos la primera dirección, se cumple

$$N \leq N_{\text{máx}} = \frac{3,7 \times 10^{-28}}{D^6} \left| \frac{m^2 + 2}{m^2 - 1} \right|^2 \text{ [metros}^{-2}\text{]} ; y$$

20

iv. siendo N [metros⁻²] el número de partículas por unidad de superficie y D dado en metros, a lo largo de al menos la segunda dirección, se cumple

$$N \geq N_{\text{mín}} = \frac{4,24 \times 10^{-29}}{D^6} \left| \frac{m^2 + 2}{m^2 - 1} \right|^2 \text{ [metros}^{-2}\text{]} ; y$$

25

12. El difusor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que la fracción de llenado máxima es $f \leq 10^{-2}$.

13. El difusor de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la fracción de llenado máxima es $f \leq 10^{-3}$.

30

14. El difusor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5-7, que se forma además como un panel en forma de paralelepípedo en el que la relación entre la dimensión más grande L y la dimensión más pequeña W es $L/W \geq 20$.

35

15. El difusor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5-7, que se forma además como un cilindro que tiene una longitud mayor que diez veces el diámetro.

16. El difusor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, que se forma además como un elemento óptico de refracción.

40

17. Un sistema óptico que comprende un difusor de acuerdo con la reivindicación 1 o 14 y una fuente de luz acoplada a un lado del difusor de tal manera que la luz producida por la fuente se guía parcialmente dentro del difusor por reflexión interna total y se dispersa parcialmente fuera del difusor debido a la acción de las nanopartículas dispersadas.

45

18. Un sistema óptico que comprende un difusor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-16 y una superficie de espejo, aplicándose el difusor a la superficie de espejo.

19. Un sistema óptico que comprende un difusor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-16 y un recubrimiento de alta reflectividad, teniendo dicho difusor dos caras más grandes, depositándose dicho recubrimiento sobre una de las dos caras más grandes.

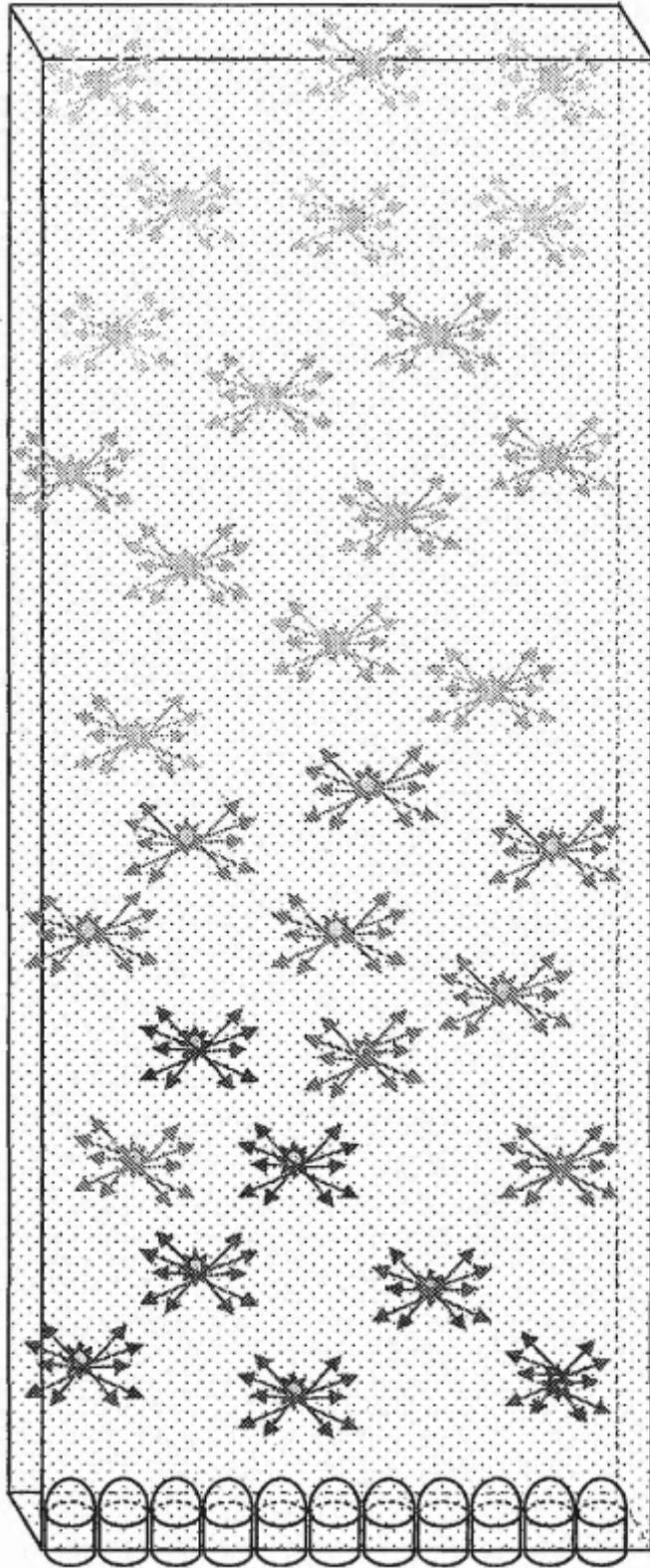


FIG. 1

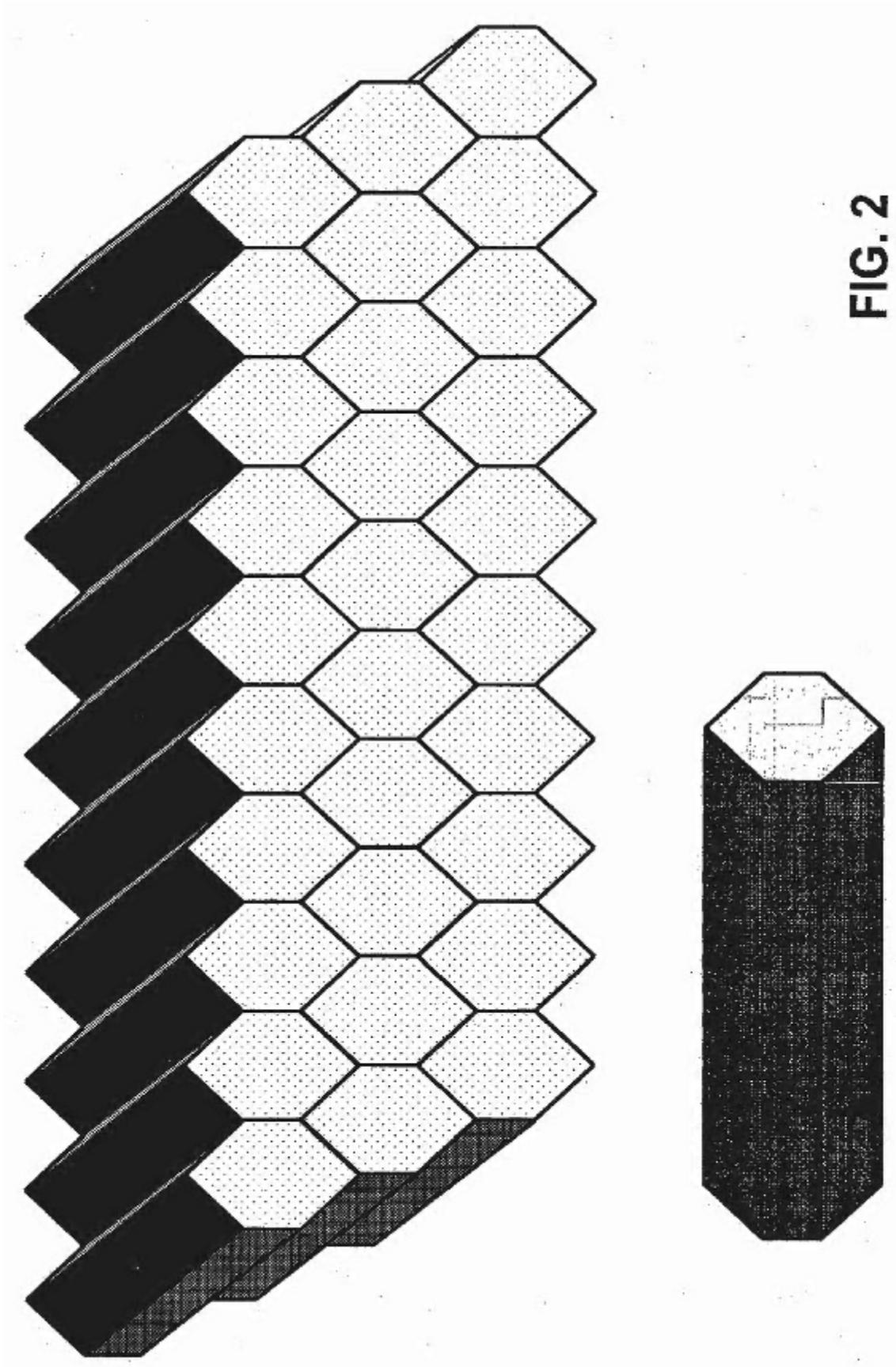


FIG. 2

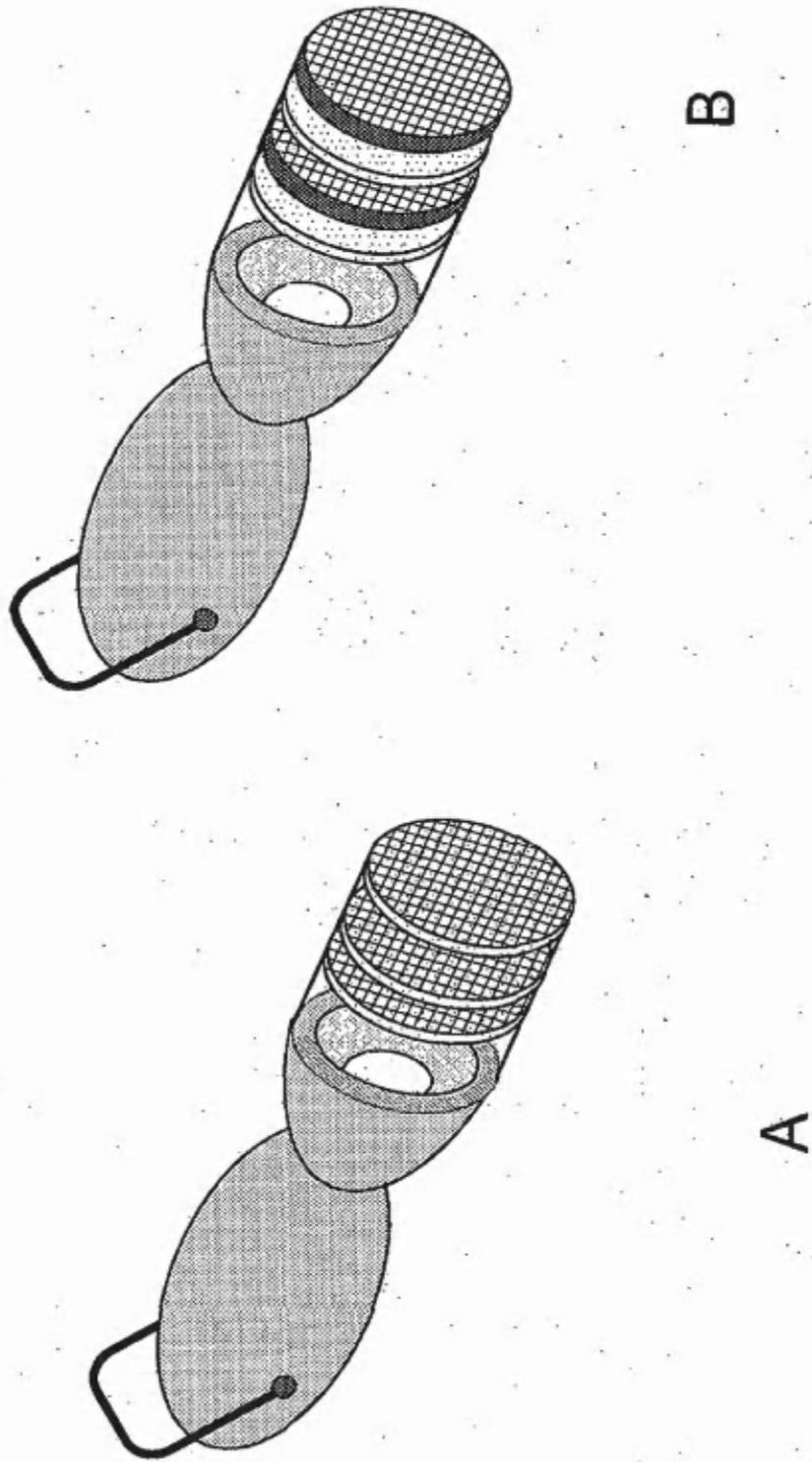


FIG. 3

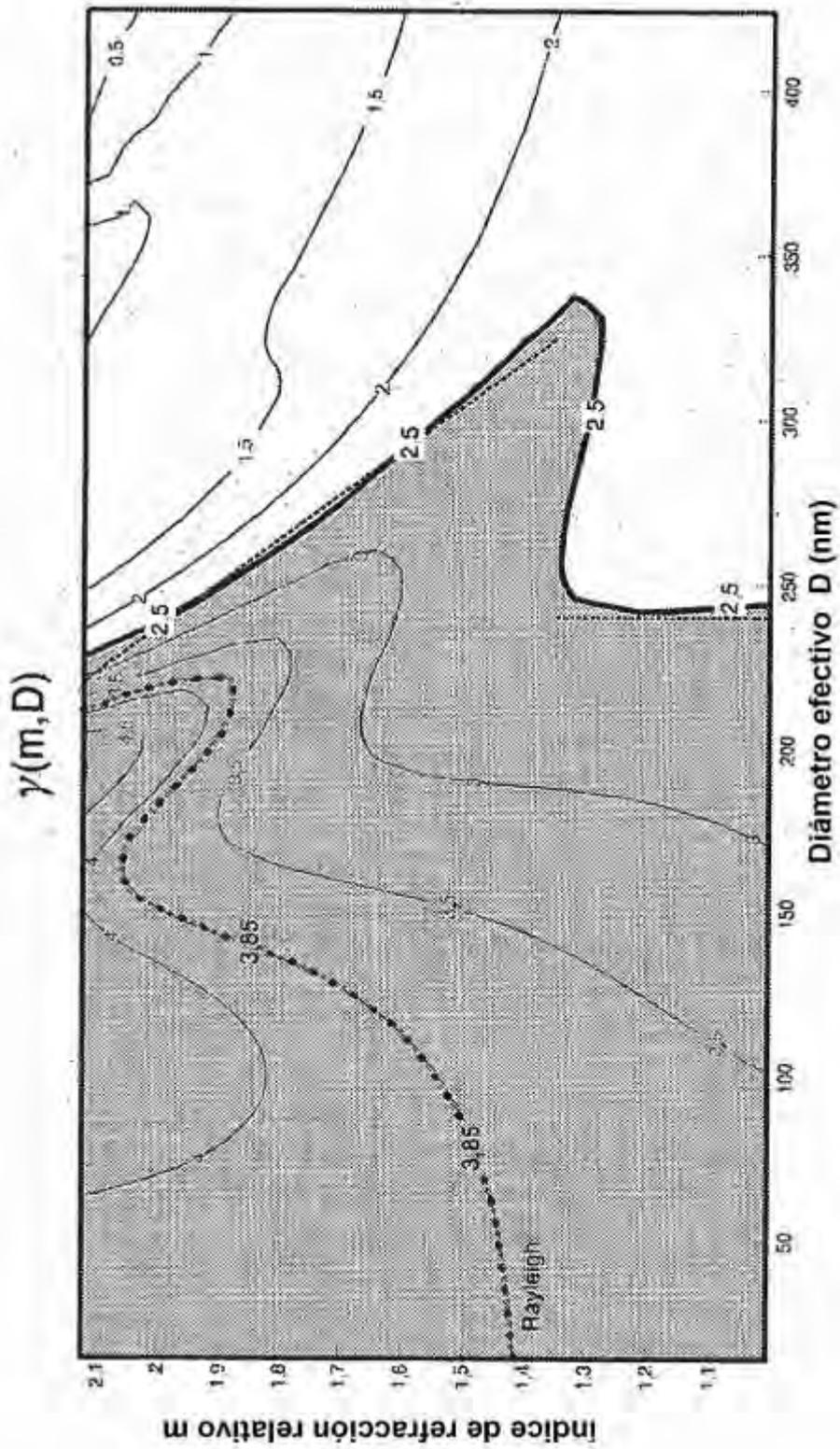


FIG. 4

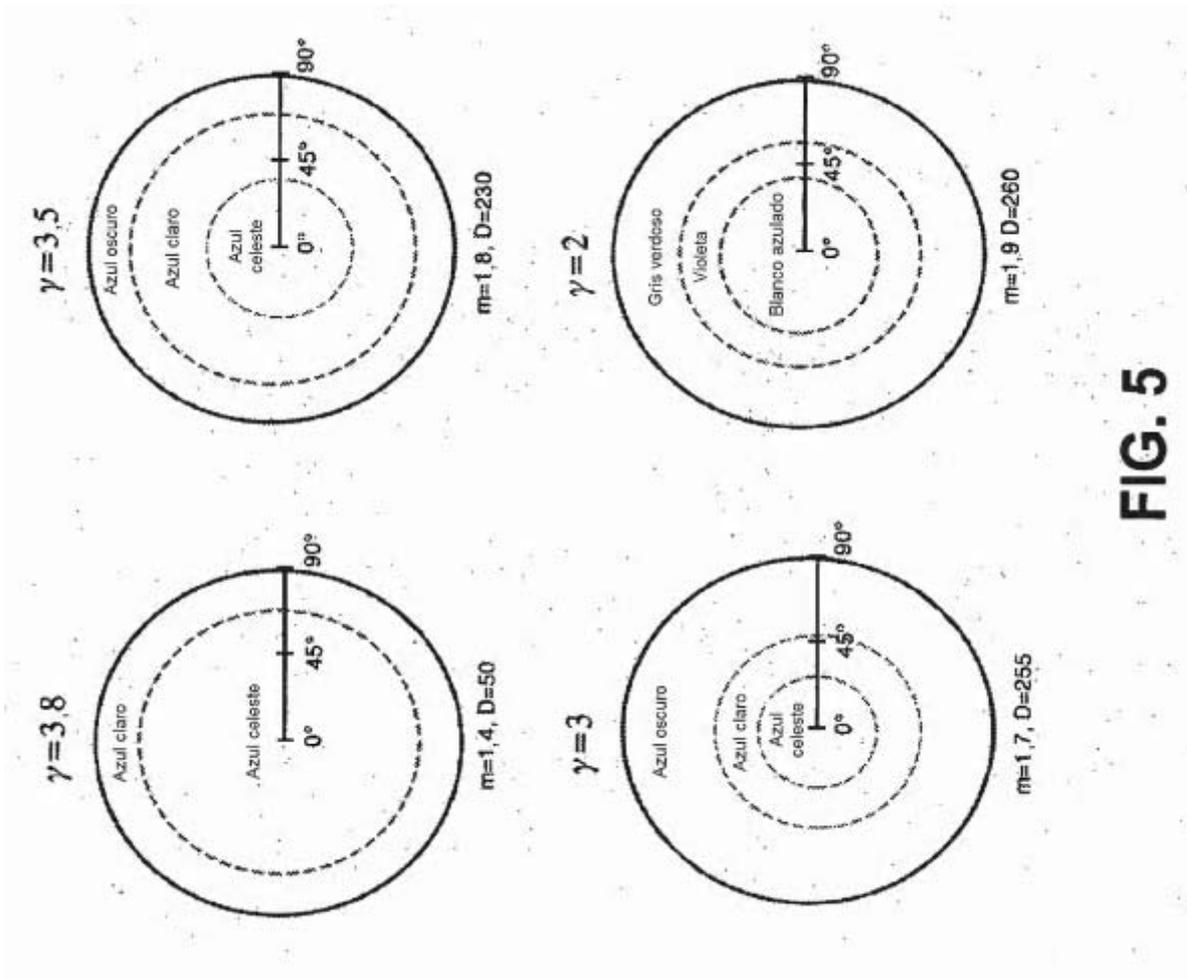


FIG. 5

$$T \geq T_{\min} = 0,6$$

$$0 \leq N \leq N_{\max}$$

$$5 \geq \gamma(m, D) \geq 3$$

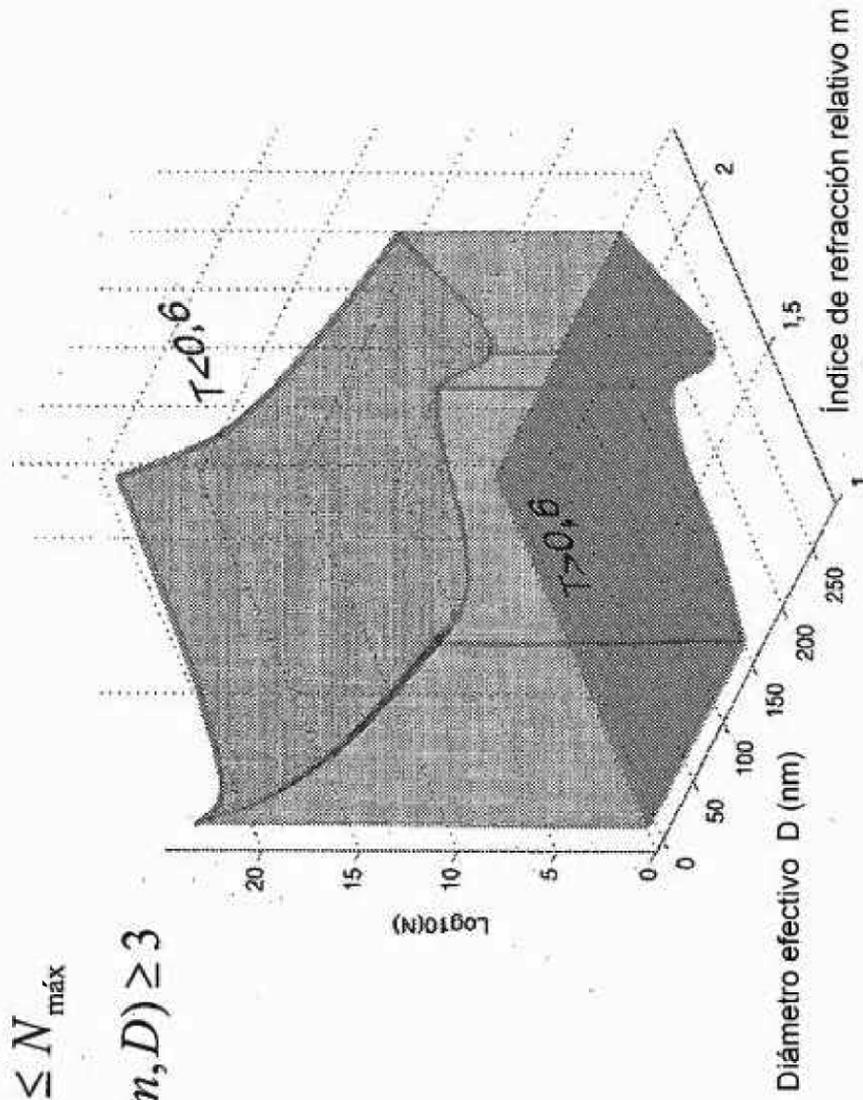


FIG. 6

$$T \leq T_{M\acute{e}t} = 0,8$$

$$N_{\min} \leq N \leq 10^{28} m^{-2}$$

$$S \geq \gamma(m, D) \geq 3$$

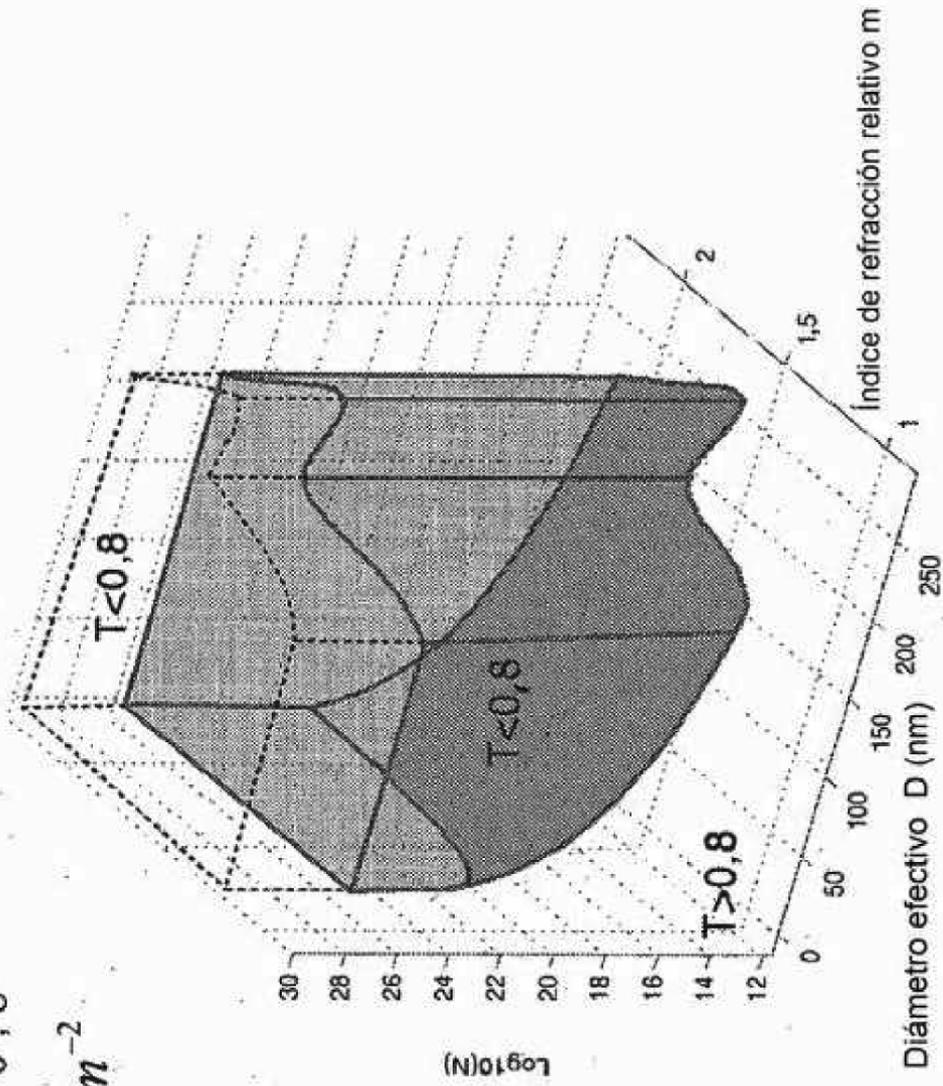


FIG. 7

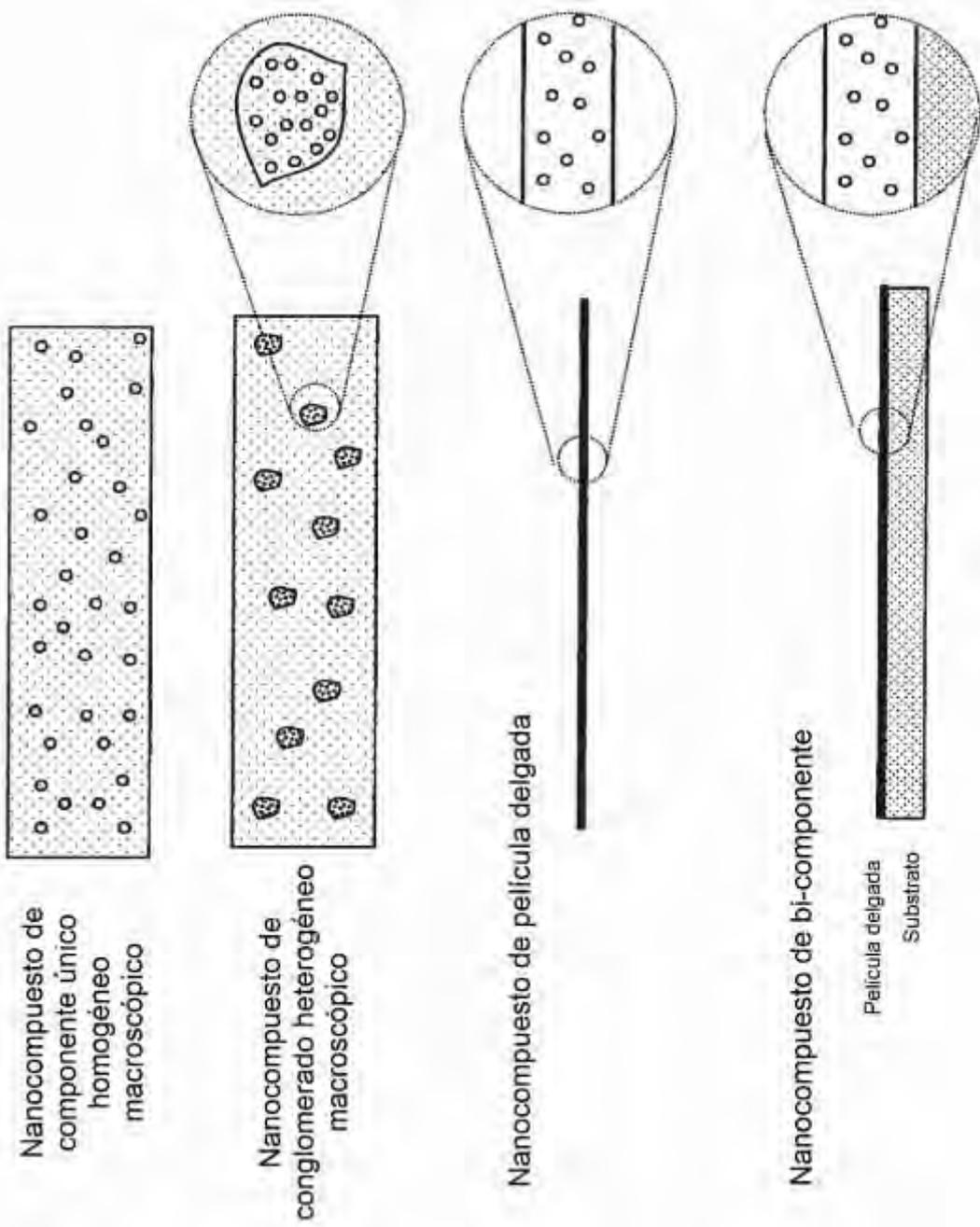


FIG. 8

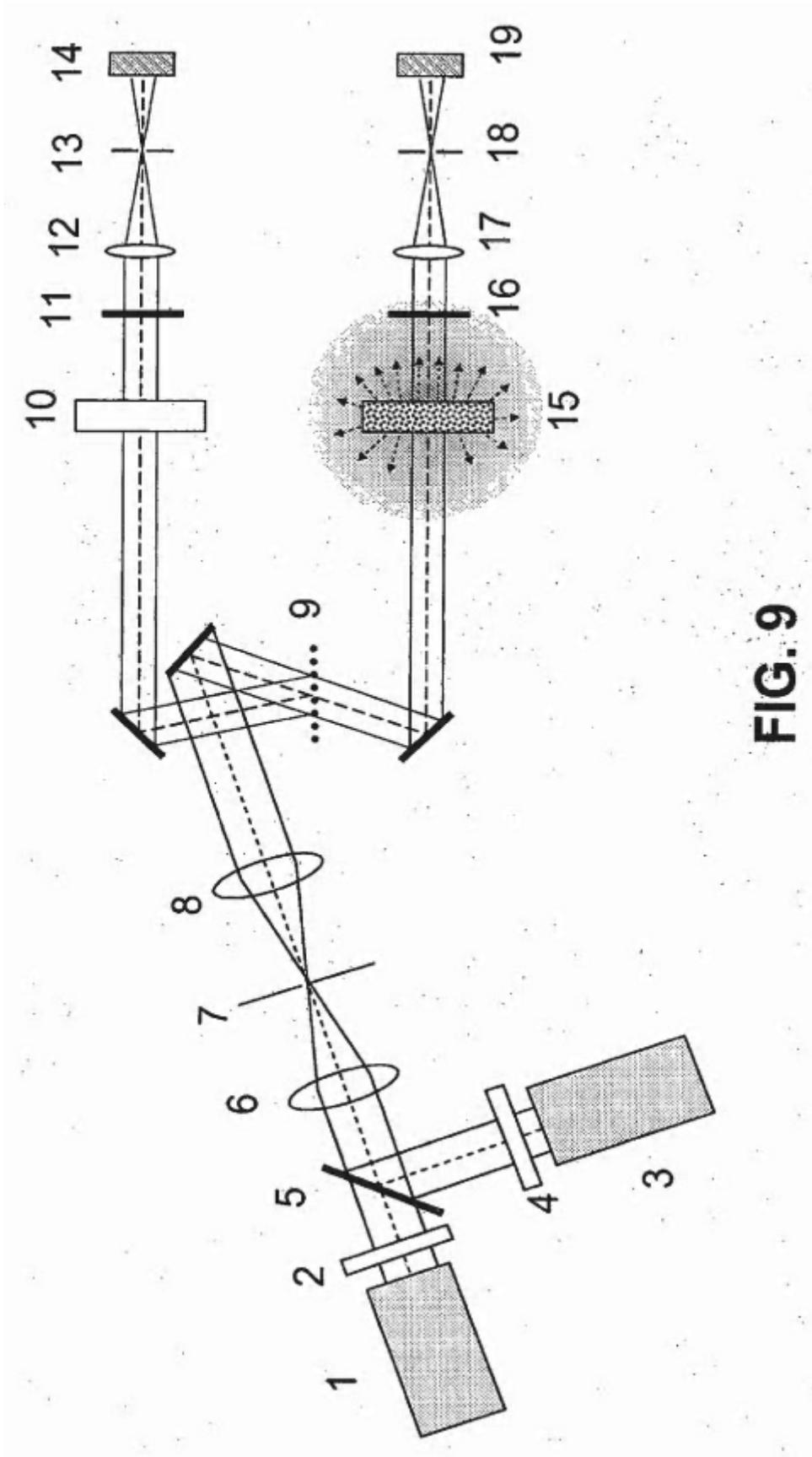


FIG. 9

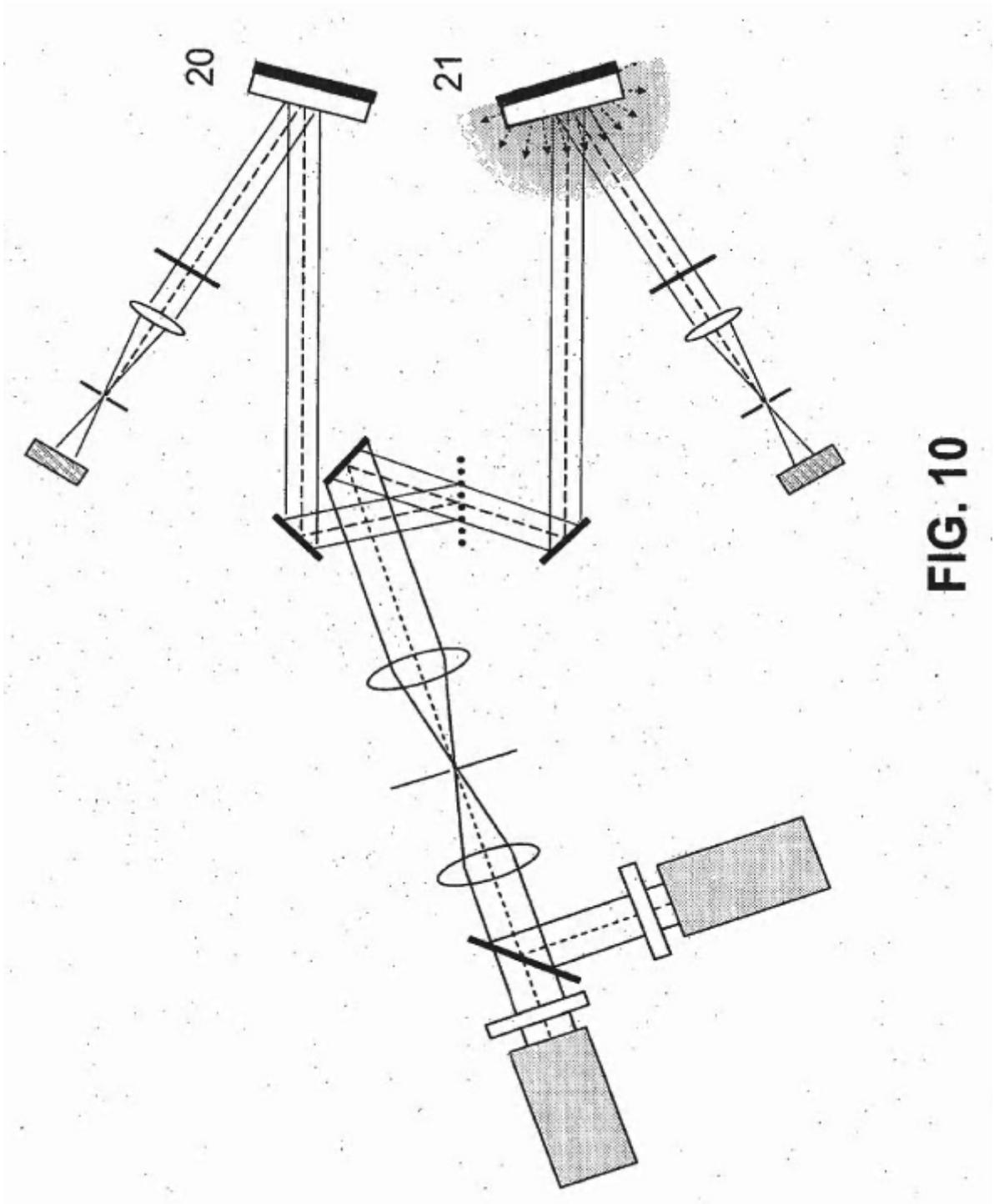


FIG. 10

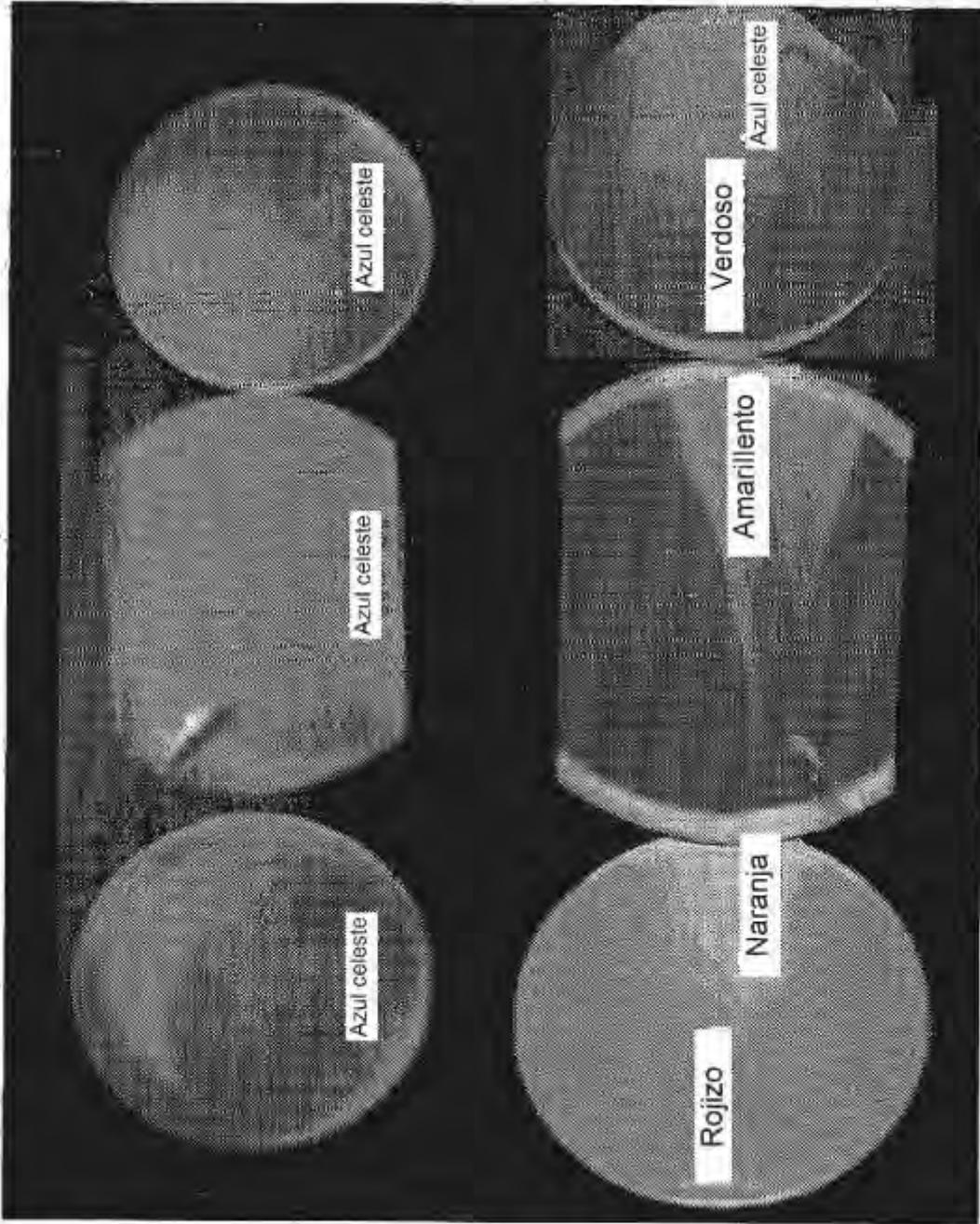


FIG. 11