

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 785**

51 Int. Cl.:

**G02B 6/00** (2006.01)

**F21V 9/02** (2006.01)

**G02B 5/02** (2006.01)

**H01L 51/52** (2006.01)

**H01L 33/00** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.06.2009 E 09769196 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2015 EP 2304480**

54 Título: **Dispositivo de iluminación**

30 Prioridad:

**24.06.2008 IT MI20081135**

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

**15.09.2015**

73 Titular/es:

**COELUX S.R.L. (100.0%)**

**Via Giuseppe Ferrari 14**

**22100 Como, IT**

72 Inventor/es:

**DI TRAPANI, PAOLO y**

**PIGAZZINI, MARTA CECILIA**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 545 785 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

Dispositivo de iluminación

- 5 La presente invención se refiere a un dispositivo de iluminación. Más en particular, la invención se refiere a un dispositivo de iluminación artificial capaz de reproducir en entornos interiores la luz y los colores del sol y del cielo, mediante la combinación de una fuente de luz artificial de banda ancha y un difusor cromático nanoestructurado particular.
- 10 El objeto de la invención es producir un tipo innovador de iluminación artificial capaz de reproducir un aspecto fundamental y hasta la fecha descuidado de la iluminación natural, es decir, la presencia simultánea de dos fuentes de luz diferentes, a saber, la luz del cielo y la luz solar, que difieren en color, intensidad, dirección y extensión espacial. De hecho, el cielo es responsable de la presencia de una luz dispersa con el azul como componente dominante, es decir "fría" en términos comunes, emitida desde una superficie extendida y, por lo tanto, capaz de iluminar sombras. En lugar de ello, el sol es responsable de la presencia de una luz con un componente azul limitado, es decir, "caliente", que se emite desde una zona que subtiende un ángulo sólido limitado, ilumina los objetos solo con luz directa.
- 15 La mejora en la calidad de la iluminación artificial es hoy un requisito de máxima prioridad. De hecho, cada vez hay más casos en los que el hombre se encuentra gastando una gran parte de su vida en condiciones de iluminación artificial. Esto se debe a las características de construcción de muchos espacios industriales, hospitales, grandes almacenes, ferrocarriles subterráneos, aeropuertos y similares, cuyas áreas interiores no están expuestas a la luz solar y a la luz del cielo directa. Por otra parte, en diversas regiones del planeta, las condiciones de baja temperatura (por ejemplo, en Canadá) o, a la inversa, de alta temperatura y humedad (por ejemplo, en Singapur), que caracterizan largos períodos del año, animan cada vez más al desarrollo de una planificación urbana subterránea, ya que es mucho más fácil de lograr un control de clima subterráneo satisfactorio. Finalmente, la calidad de la iluminación artificial tiene un impacto considerable en la calidad de vida de las poblaciones que viven en latitudes altas, donde hay poca o nada de luz solar durante largos períodos del año.
- 20 Por otro lado, la cuestión de la energía hoy coloca la necesidad de reducir los consumos de energía utilizados para la iluminación a la vanguardia. Como puede verse a partir de la legislación reciente, esta necesidad prevé la eliminación, dentro de unos pocos años, de la iluminación incandescente convencional, que produce un espectro de emisión de cuerpo negro similar a la luz solar, pero que disipa la mayor parte de la energía en calor, a favor de nuevas tecnologías, como LEDs y diodos láser. La tecnología LED, ya ampliamente utilizada para pantallas de retroiluminación y paneles, en señales de tráfico y en vehículos de motor, se está preparando hoy para entrar en el mercado de la iluminación interior y exterior. Una de las principales dificultades en este caso está constituido por la calidad de la iluminación, sobre todo para los tipos de fuentes de bajo coste, que exhiben un menor consumo. Este es el caso, por ejemplo de LEDs InGaN-GaN que emiten en la región azul (en 430-470 nm) completada por la presencia de un fósforo que emite una radiación de banda ancha en la región amarilla (alrededor de 580 nm). Estas fuentes tienen un perfil espectral que difiere sustancialmente del de un cuerpo negro, presentando un pico de intensidad máxima en la longitud de onda de emisión del LED, y un segundo pico de menor intensidad en el máximo rendimiento de la emisión de fósforo. La dificultad ligada a este tipo de fuente está relacionada con la temperatura de color muy alta ( $\approx 7000\text{K}$ ), tal como se describe en el documento US 7.259.400, lo que da a la luz el color azulado característico, y a la falta de componentes verde y rojo en el espectro. Aunque esta falta no se nota al iluminar un objeto blanco, dado que el componente amarillo producido por el fósforo excita, de una manera equilibrada, los conos en el ojo sensibles al rojo y al verde, se vuelve importante cuando se iluminan entornos de color, dado que los objetos verdes o rojos aparecen oscuros.
- 30 En el ámbito del desarrollo tecnológico actual, la mayoría de los esfuerzos dirigidos a mejorar la calidad de la iluminación se concentran en las características espectrales de la luz producidas, con el objeto de hacer que se perciba como lo más cercano posible a la luz solar. En el contexto de la definición anterior, este enfoque, sin embargo, no incluye el aspecto antes mencionado fundamental que caracteriza la iluminación natural, es decir, la presencia en la naturaleza no de una, sino de dos diferentes fuentes de luz: el cielo y el sol. El efecto puede ser entendido considerando la diferente CCT (temperatura de color correlacionada) de las dos fuentes, definida como la temperatura del radiador de Planck (radiación de cuerpo negro), que se percibe por el ojo como un color más cercano al de la fuente en cuestión. Si tenemos en cuenta, por ejemplo, la iluminación natural en la tarde, cuando el cielo, casi tan luminoso como el sol, tiene una CCT de más de  $9000\text{K}$ , y el sol tiene una CCT por debajo de  $4000\text{K}$ , es evidente que el espectro resultante de la suma de las dos fuentes es en absoluto un espectro de cuerpo negro. No obstante, este tipo de iluminación es muy agradable a la vista. Por lo tanto, la presencia de este dicromatismo particular asociado con luz directa y difusa es un elemento importante, nunca considerado previamente, que se añade a los anteriores para evaluar la calidad y lo placentero de la iluminación creada artificialmente.
- 35 También es importante tener en cuenta que un método de iluminación basado en un único tipo de fuente puede simular a lo sumo, en el caso de un perfil espectral similar al del sol, una iluminación "lunar". En este contexto, como las sombras son muy oscuras, no son agradables. Por esta razón, la iluminación artificial a menudo utiliza muchas fuentes, o reflejos sobre paredes o en el techo, para minimizar las sombras.
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

Una primera propuesta para la iluminación artificial basada en la reconstrucción de interior de la iluminación natural como compuesta del cielo y del sol se presentó en una obra expuesta por los presentes inventores en diversas exposiciones de ciencia y de arte, también presentada en el Festival de Ciencia de Génova en 2003 y 2005 y en la estación de tren de Vilnius (Lituania) en 2007 ([www.diluceinluce.eu](http://www.diluceinluce.eu)). En estos contextos se produjeron varias instalaciones y diversos aparatos experimentales, incluyendo la reconstrucción "interior" del cielo, es decir, la reconstrucción del proceso de dispersión de Rayleigh causado por las fluctuaciones de densidad nanométricas de un medio transparente que, en el caso de la atmósfera, determina la luz y el color del cielo y del sol. Como medio de dispersión, se utilizó una dispersión acuosa de nanopartículas de sílice, con un diámetro de alrededor de 20 nm. Esta dispersión, que presenta fluctuaciones del índice de refracción de considerable amplitud (aproximadamente 15%) en longitudes de escala debajo de 1/10 de la longitud de onda, permitió la producción de un buen difusor que opera en régimen de Rayleigh. A las concentraciones máximas usadas, es decir, para una fracción en volumen de sílice del 2% del volumen de dispersión, resultó capaz de producir, en un haz de luz que pasa a través del mismo durante unos metros, la misma variación de color que, en la atmósfera, requiere cientos de kilómetros de distancia. La dispersión así producida se colocó en recipientes transparentes de PMMA para contención. Fuentes de luz "blanca" se utilizaron entonces para simular el sol, es decir, lámparas halógenas con filtros de calibración o lámparas de descarga de vapor de mercurio. Mediante el uso de diferentes concentraciones de dispersión, diferentes volúmenes de cielo, diferentes geometrías de instalación, que comprenden combinaciones de los contenedores de diferente forma y dimensiones, diferentes posiciones del cielo y el sol, y la presencia de pantallas absorbentes o reflectantes para simular nubes, se obtuvieron reconstrucciones espectaculares de efectos de luz debido a la presencia del cielo y del sol en diferentes momentos del día.

Sin embargo, la dispersión de nanopartículas en agua presenta numerosos problemas que hacen que su uso en la esfera de la iluminación casi imposible. De hecho, debido al diferente peso específico  $P_s$ , entre el agua y las nanopartículas, que típicamente aumenta con el valor del índice de refracción de las nanopartículas,  $n_1$ , (por ejemplo,  $P_s = 2,2 \text{ g/cm}^3$  y  $n_1 = 1,5$  para  $\text{SiO}_2$ , mientras que  $P_s = 4,23 \text{ g/cm}^3$  y  $n_1 = 2,7$  para  $\text{TiO}_2$ ), las nanopartículas tienden a depositarse través de la gravedad en la parte inferior del contenedor, ya que se mantienen en suspensión solo a través de movimiento browniano. Por esta razón, la suspensión debe agitarse periódicamente. Por la misma razón la concentración de nanopartículas no es constante, sino que disminuye con la altura. El problema se puede reducir, pero no eliminar, usando nanopartículas de muy pequeño diámetro, para maximizar el efecto del movimiento browniano. En este caso, sin embargo, la eficiencia de dispersión está influenciada negativamente, un hecho que implica necesariamente el uso de difusores de muy altas profundidades (al menos en el orden de decenas de cm). Por otra parte, la suspensión en un líquido es algo inestable desde el punto de vista bacteriológico, especialmente si está continuamente expuesto a la luz. A continuación se presenta el riesgo de congelación, lo que impide su uso para instalaciones al aire libre. Por otra parte, el medio líquido presenta el problema de la contención, que es importante en el caso de los difusores de dimensiones medianas y grandes, y la necesidad de luchar contra la presión debida a la altura del líquido, lo que implica el uso de contenedores producidos en material grueso (varios cm) en el caso de alturas de más de un metro lineal.

El documento US 6791259 B1 describe un sistema de iluminación de luz blanca que comprende un LED o diodo láser, un material difusor de luz y un material de fósforo o de colorante luminiscente. El material difusor comprende preferiblemente partículas dispersas en un sustrato. Las partículas que dispersan la luz tienen un diámetro entre 50 y 500 nm, preferiblemente un diámetro de entre  $\lambda/3$  y  $\lambda/2$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda del pico de emisión de la fuente de radiación. En esta aplicación, sin embargo, el color del nanodifusor está integrado en el nivel del elemento activo de la fuente, es decir, que se coloca antes del fósforo o en el fósforo, para dispersar preferiblemente el componente azul producido por el LED o diodo láser, de otro modo con baja divergencia, y uniforme con el componente amarillo disperso por el fósforo, en vez de producido con un amplio ángulo de divergencia. El hecho de que los dos componentes amarillo y azul se encuentren dispersos desde centros difusores prácticamente coincidentes es una condición necesaria para eliminar el fenómeno de "halo", que se caracteriza por la presencia de un color azul dominante en la dirección de máxima emisión, y de un color amarillo dominante en la zona periférica del cono de luz producida por la fuente, es decir, para la distribución de color uniforme de la radiación en diferentes ángulos.

El documento WO 02/089175 describe fuentes de luz basadas en UV con una dispersión reducida de la radiación UV. Las fuentes de luz son LEDs que emiten en la UV y que se combinan con reflectores UV constituidos por partículas dispersas en un material sólido transparente a la luz visible. Un material fosforescente se aplica a la fuente de UV para convertir la radiación UV en luz visible. En una realización particular, se aplica el material fosforescente a la superficie del LED UV y una capa de material difusor se aplica a la capa fosforescente. El objetivo de esta estructura del dispositivo de iluminación es reducir la cantidad de radiación UV que no se convierte en luz visible y no aborda el problema de la reproducción de una luz similar a la luz natural producida por el sol y el cielo.

Otro documento que se ocupa de las fuentes de luz es el documento US2006/0091779, que describe un dispositivo emisor de luz que incluye un elemento emisor de luz, que emite luz en el intervalo visible, y un primer y un segundo fósforo. Tras la recepción de la luz generada por el elemento emisor de luz o luz que se origina a partir del segundo fósforo, el primer fósforo emite luz que tiene una longitud de onda que difiere de la de la luz generada por el elemento emisor de luz y la luz generada por el segundo fósforo, pero que cae dentro de la región visible.

El documento EP 1919000 divulga un dispositivo semiconductor emisor de luz que tiene un chip semiconductor para emitir luz en azul a las regiones ultravioleta, y una porción de sellado que incluye material de sellado que es un material compuesto que incluye un material de matriz hecho de una resina y nanopartículas. Además, el dispositivo emisor de luz incluye un material fluorescente.

5 Un objeto de la presente invención, en sus numerosas variantes, es producir un nuevo tipo de dispositivo de iluminación artificial capaz de reproducir la presencia simultánea de dos componentes de color diferentes: luz del cielo, en la que el azul (fría) es dominante, y la luz solar, con un bajo componente azul ("caliente"), que ilumina los objetos con la luz directa. Por lo tanto, mientras que el objetivo de los dispositivos de iluminación conocidos es producir luz blanca uniforme, un resultado a veces obtenido a través de la mezcla apropiada y homogénea de fuentes de diferente color, la presente invención propone el objeto opuesto de "separar" componentes de color diferentes de una fuente con un amplio ancho de banda espectral. Sin embargo, esta separación de color no tiene lugar de forma genérica, como, por ejemplo, mediante el uso de un refractor (tal como un prisma) que desvía diferentes longitudes de onda en diferentes ángulos, o de un filtro que absorbe una porción del espectro de la fuente y transmite la porción complementaria, o de un espejo que refleja y transmite otras porciones. Por el contrario, tiene lugar como resultado del mismo mecanismo que provoca la separación de colores en la naturaleza, creando la característica de distribución espectral correcta de la luz del cielo y la luz solar.

Las ventajas antes mencionados se logran mediante un dispositivo de iluminación cromáticamente no uniforme, que comprende: una fuente de luz de banda ancha artificial que comprende una fuente de luz blanca o una fuente de luz con un ancho de banda espectral superior a 100 nanómetros en el intervalo de longitudes de onda entre 400 nanómetros y 700 nanómetros, comprendiendo la fuente de luz artificial uno o más elementos activos que emiten fotones o que absorben los fotones y luego los vuelven a emitir en una longitud de onda superior; y un difusor cromático situado aguas abajo de la fuente de luz artificial. El difusor cromático está diseñado para no emitir luz y cambiar la dirección de propagación de la luz emitida por la fuente de luz artificial, y se compone de elementos de un primer material no líquido transparente a la luz visible y con un índice de refracción  $n_1$ , dispersándose los elementos del primera material no líquido en un segundo material no líquido transparente a la luz visible y que tiene un índice de refracción  $n_2$ , en el que  $|n_2/n_1-1| > 0,1$ , y en el que una dimensión lineal típica  $d$  de los elementos dispersos del primer material no líquido satisface la condición  $5\text{nm} \leq d \leq 300\text{nm}$ . Por otra parte, una dimensión máxima  $L_{\text{max}}$  del difusor cromático es igual o mayor que cinco veces la dimensión mínima  $d_{\text{min}}$  de una proyección del más grande de los elementos activos en un primer plano perpendicular a una primera dirección, en el que:

- en caso de que la fuente de luz artificial sea anisotrópica, la primera dirección es la máxima dirección de emisión ( $I_{\text{max}}$ ) de la fuente de luz artificial; de otra manera
- en caso de que la fuente de luz artificial sea isotrópica, la primera dirección se define por una línea recta ( $I_{\text{prox}}$ ) que une los dos puntos más cercanos de la fuente de luz artificial y el difusor cromático;

y la dimensión máxima  $L_{\text{max}}$  se define como la mayor entre: a) una dimensión transversal definida como la distancia máxima entre parejas de puntos que pertenecen a una proyección del difusor cromático en el primer plano; y b) una dimensión longitudinal, definida como la distancia máxima entre parejas de puntos que pertenecen a una proyección del difusor cromático en un segundo plano paralelo a la primera dirección. De esta manera, el difusor cromático es capaz de separar la radiación azul, que se dispersa por el propio difusor cromático, de la radiación de color amarillo, que se transmite por el propio difusor cromático.

El fenómeno según el cual el dispositivo propuesto es capaz de producir la separación y la distribución diferente entre los componentes "fríos" y "calientes" de la luz producida originalmente por la fuente es el proceso de dispersión de la luz en materiales transparentes nanoestructurados en régimen "Rayleigh", que es, en condiciones en las que el aumento de la eficacia de dispersión es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda. Este fenómeno es el mismo que determina, en la naturaleza, el color y la luminosidad del cielo, el color de las sombras como áreas iluminadas por la luz que vienen del cielo, el color de la luz directa del sol después de que haya pasado a través de la atmósfera, y sus variaciones según la hora del día, las estaciones, etc.

Cuando un haz de luz colimada se desplaza a través del espacio vacío, o uno perfectamente transparente, es decir, que no absorbe en la región espectral de interés, y un medio homogéneo, se propaga sin perturbaciones, de modo que el ojo solo puede percibir su presencia si está directamente en a su trayectoria. Sin embargo, si el medio transparente no es homogéneo, de manera que presenta fluctuaciones espaciales del índice de refracción, entonces la trayectoria del haz está "perturbada", y parte de la luz se desvía de su trayectoria inicial. El método de acuerdo con el que aparece el fenómeno depende fundamentalmente de las dimensiones y de las formas de estas fluctuaciones.

- (i) Si las dimensiones de las heterogeneidades son muy grandes con respecto a la longitud de onda, se obtiene "refracción".
- (ii) Si las dimensiones de las heterogeneidades son solo ligeramente mayores con respecto a la longitud de onda, en su lugar se obtiene "difracción".

(iii) Si las dimensiones de las heterogeneidades son comparables o ligeramente inferiores con respecto a la longitud de onda, la luz se dispersa de una manera sustancialmente homogénea con respecto a sus componentes espectrales, al menos para la radiación integrada angularmente, y se dispersa principalmente en pequeños ángulos con respecto a la dirección incidente. El efecto, a menudo llamado dispersión de Mie, es el producido por la niebla y la bruma.

(iv) Finalmente, si las dimensiones de las no homogeneidades son mucho menores que la longitud de onda de la luz, se obtiene el fenómeno en que se basa la presente invención, es decir, la "dispersión de Rayleigh". Este es un proceso según el cual la luz no polarizada se dispersa sustancialmente en todas las direcciones con la máxima amplitud en 0 y 180 grados con respecto a la dirección incidente, y con un aumento en la eficiencia inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda.

El ejemplo más espectacular de dispersión de "Rayleigh" en la naturaleza es la dispersión que se produce cuando la luz del sol pasa a través de la atmósfera. En este caso la dispersión se produce por las fluctuaciones del índice de refracción asociados con fluctuaciones de la densidad de los gases que forman esta atmósfera. Estas fluctuaciones se producen a una escala mucho más corta que las longitudes de onda de la luz solar y, especialmente en el caso de la alta atmósfera, están separadas por una gran distancia con respecto a la longitud de la escala de estas fluctuaciones, y por lo tanto, están dispuestas aleatoriamente. Como resultado del proceso de dispersión, el componente de la radiación solar con la longitud de onda más corta (es decir, azul, dado que el ultravioleta cercano, con la longitud de onda aún más corta, se absorbe sustancialmente y apenas se percibe debido a la baja sensibilidad del ojo humano en esta región espectral) es la más dispersa. El componente azul (a 430 nm), en realidad se dispersa cerca de seis veces más que el componente rojo (a 670 nm). Esta diferencia importante en la eficiencia de dispersión es la razón principal para determinar el color azul del cielo.

Para comprender mejor la naturaleza y la importancia del proceso de dispersión de la luz en el cielo, cuya reconstrucción en el interior representa parte del objeto de la presente invención, es útil recordar el inventario de fotografías que describen lo que sucede en la Luna, donde no hay atmósfera. El cielo es negro en la luna, incluso cuando el sol está al mediodía. El ambiente lunar está iluminado por una sola fuente, el sol, cuya luz es y sigue siendo blanca en todo momento del día. Las áreas de sombra, iluminadas solo por la luz reflejada por los objetos circundantes, son casi tan oscuras durante el día como por la noche. En cambio, en la Tierra, el medio ambiente está iluminado no solo por el sol, sino también por el cielo. La luz solar directa, cuando no tiene el componente azul dispersa, tiene un color que varía de amarillo pálido a naranja a rojo, dependiendo de la profundidad diferente de la atmósfera que cruza en las diferentes horas del día. El color "caliente" de la luz solar directa se observa sobre todo cuando se ilumina un objeto a través de una estrecha ventana, cuya apertura limitada se expone por completo a la luz solar, pero protege de la mayoría de la luz del cielo. El cielo, a su vez, ilumina la escena con azul. El efecto puede observarse examinando cuidadosamente las sombras. En la Tierra "en la sombra" no significa "en la oscuridad", como lo hace en la luna, sino en la luz del cielo.

Al aire libre, con el sol en el cenit, en total ausencia de reflejos, sombras, ventanas, etc., la luz del cielo se suma con la luz del sol, obteniendo una luz no muy diferente a la luz que se obtendría en ausencia de atmósfera. Sin embargo, la sombra, aunque solo la de la persona que observa, está siempre presente, y se percibe más luminosa cuanto más bajo está el sol en el cielo.

Para definir los parámetros característicos de la invención, es recomendable tomar como referencia los intervalos que caracterizan la naturaleza en (i) la relación entre la potencia de la luz solar y la luz del cielo y (ii) los valores de temperatura de color de las dos fuentes diferentes, durante las diferentes horas del día, la estación, etc. En un día típico de primavera, temprano por la tarde, con cielos claros y en una latitud subalpina en Italia, los presentes inventores midieron que el cielo contribuye alrededor del 20% de la luminosidad total, producida por el cielo + sol. La medición se realizó comparando la potencia de la radiación que incide sobre un objeto en la sombra de una pantalla que cubre el sol, pero no el cielo, con la potencia golpeando el mismo objeto sin la pantalla. Suponiendo que la radiación dispersada por la atmósfera hacia la Tierra tiene la misma potencia que la que se dispersa hacia el exterior de la atmósfera, e ignorando el efecto de la curvatura de la Tierra, se obtuvo que el cielo dispersa la radiación incidente con una dispersión de la eficiencia  $\eta = 1/3$ , donde  $\eta$  es la fracción de energía de la luz incidente dispersada por toda la profundidad del cielo. Valores ligeramente más bajos se obtienen cuando el sol está en el cenit. Los valores más altos se obtuvieron, por el contrario, temprano por la mañana o por la noche. Una hora antes de la puesta del sol, en el mismo lugar y temporada, una eficiencia de dispersión de  $\eta = 2/3$  fue medida. Por último, hay que señalar que al amanecer o al atardecer se dispersa casi toda la luz incidente ( $\eta = 1$ ).

Con respecto a la evaluación del color-temperatura de las dos fuentes, es aconsejable referirse a la CCT (*Temperatura de color correlacionada*), que es la temperatura del radiador de Planck (radiación de cuerpo negro) percibida por el ojo como un color más cercano al de la fuente en cuestión. La CCT en relación con la resultante del cielo y el sol al mediodía en un día despejado es de alrededor de 5500K, es decir, un valor de alrededor del 10% menos que la CCT de la radiación solar fuera de la atmósfera (la diferencia se debe, al menos en parte, a la radiación azul dispersa en el exterior). La luz producida por el cielo claro tiene una CCT normalmente de entre 9000 y 12000K, con valores mucho más altos en la mañana temprano o tarde en la noche. Con respecto a la CCT de la radiación solar directa, puede alcanzar 5200 K en condiciones con el sol en el cenit, pero por lo general varía entre 4700K (al mediodía) y 3500K (una hora después del amanecer o antes del atardecer). Los valores más bajos de la

TMC incluso se obtienen a la salida y a la puesta del sol, a través del efecto conjunto de la dispersión de Rayleigh y la refracción atmosférica.

5 En el contexto de la presente invención, el concepto de sombra se revoluciona dado que, tal como al aire libre, en la sombra no significa en la oscuridad, sino con luz del cielo. Como este enfoque es capaz de reconstruir el contraste de color entre la luz y la sombra, permite la particular belleza que caracteriza la naturaleza de la luz del día en la Tierra para reproducirse en ambientes interiores.

10 La invención se ilustrará ahora con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

- La figura 1 es un diagrama que ilustra la definición de ancho de banda espectral de una fuente de luz de acuerdo con la invención;
- Las figuras 2A, 2B y 3 ilustran la definición de dimensión de la fuente de luz de acuerdo con la invención;
- La figura 4 ilustra la definición de la dimensión del difusor de acuerdo con la invención;
- 15 - Las figuras 5A-5E ilustran esquemáticamente una primera realización del dispositivo de iluminación de acuerdo con la invención;
- La figura 6 ilustra esquemáticamente una segunda realización del dispositivo de iluminación de acuerdo con la invención;
- La figura 7 ilustra esquemáticamente el tipo de iluminación producida por la realización del dispositivo de iluminación de acuerdo con la figura 6;
- 20 - La figura 8 ilustra esquemáticamente una tercera realización del dispositivo de iluminación de acuerdo con la invención;
- La figura 9 ilustra esquemáticamente el tipo de iluminación producida por un dispositivo de iluminación según la técnica anterior;
- 25 - La figura 10 ilustra esquemáticamente el tipo de iluminación producida por un dispositivo de iluminación de acuerdo con la invención en la forma descrita en las figuras 6 y 8;
- La figura 11 ilustra esquemáticamente una cuarta realización del dispositivo de iluminación de acuerdo con la invención;
- Las figuras 12A, 12B, 12C ilustran esquemáticamente una quinta realización del dispositivo de iluminación de acuerdo con la invención;
- 30 - Las figuras 13A, 13B ilustran esquemáticamente una sexta realización del dispositivo de iluminación de acuerdo con la invención;
- Las figuras 14A, 14B, 14C, 14D, 14E, 14F ilustran esquemáticamente realizaciones adicionales del dispositivo de iluminación de acuerdo con la invención;
- 35 - La figura 15 muestra una realización de la invención en el que la fuente de luz y el difusor cromático están totalmente separados y espaciados; y
- La figura 16 es un diagrama en relación con las características espectrales de la radiación dispersada y transmitida por un material difusor de "nanogel" empleado de acuerdo con la invención.
- La figura 17 es un es un diagrama en relación con las características espectrales de la radiación dispersada y transmitida por un difusor nanocompuesto de PMMA/TiO<sub>2</sub> empleado de acuerdo con la invención.
- 40 - La figura 18 muestra una realización de un dispositivo de acuerdo con la invención en la configuración "después de la puesta del sol".

45 El dispositivo de iluminación de acuerdo con la invención se produce en dos realizaciones principales diferentes, que no son alternativas, sino que también se pueden combinar:

(i) La primera, denominada en lo sucesivo "mediodía", tiene el objeto de reproducir la condición de iluminación natural típica de las horas centrales del día. Se caracteriza por la presencia de dos componentes, cielo y sol, de diferente color, pero cada uno de los cuales es de color inequívocamente definido. De hecho, al mediodía el sol es amarillo-blanquecino, y el todo cielo tiene el mismo color azul más o menos. Por otra parte, al mediodía el sol domina la escena, siendo directamente visible desde la mayor parte de la misma. Si una zona está expuesta únicamente a la luz solar, o luz del cielo, o ambas, se ilumina con luz de color amarillento, azul o blanco.

(ii) La segunda, denominada en lo sucesivo "puesta de sol", tiene el objeto de reproducir la condición de iluminación natural típica de la noche. En este caso, todo el cielo no tiene el mismo color, debido a la larga trayectoria de la luz solar que tiene que desplazarse a través de la misma, que permite la dispersión no solo del azul, pero también de los otros colores. Además, por la tarde el sol no es necesariamente visible directamente, ya que está por debajo del horizonte y, por lo tanto, a menudo bloqueada por una montaña o un edificio, o nubes lejanas. Su presencia es percibida como resultado de la "reflexión" o "dispersión" de su luz directa mediante las nubes, o las cimas de las montañas.

(iii) La tercera, denominada en lo sucesivo "después de la puesta del sol", tiene el objeto de reproducir la condición de iluminación natural típica de cuando el sol ha desaparecido bajo el horizonte. En este caso, el único color que queda que tinte el cielo y la escena es el azul,

65 La realización "mediodía" requiere la presencia de un difusor cuya dimensión máxima  $L_{max}$  es la "dimensión transversal", definida como la distancia máxima entre dos puntos que pertenecen a la proyección del difusor en el plano perpendicular a la dirección de máxima emisión  $I_{max}$  o la dirección definida por la línea recta que une los dos

puntos más cercanos ( $I_{prox}$ ) de la fuente y del difusor. De hecho, solo esta condición permite la producción de un elemento extendido, que emite luz difusa del color azul uniforme, capaz de colorear las sombras. También permite la visión directa de la fuente desde el resto de la escena. Como en la naturaleza, cuando no tiene componente azul, la luz directa asume un color amarillento.

5 La configuración de "mediodía" tiene dos variantes diferentes.

10 i) Una primera variante de "panel" con el objetivo de obtener la iluminación mediante el difusor de sombras creadas por la presencia de objetos específicos presentes en la escena. Para ello, la dimensión transversal del difusor debe ser grande, no solo con respecto a la de la fuente, sino también con respecto a la de los objetos cuya sombra ha de iluminarse. Cabe señalar que las sombras son porciones de la escena a partir de las cuales la visión directa de la fuente (por ejemplo, el sol en la naturaleza) está cubierta por la presencia de un obstáculo, pero no la visión total o parcial del difusor (por ejemplo, del cielo). Debido a la gran dimensión del difusor, las zonas de la escena para las que la iluminación directa mediante la fuente está impedida por un obstáculo en cualquier caso pueden estar expuestas a la luz generada por el difusor, que así colorea las sombras de los mismos.

15 Cabe señalar que para que se produzca el efecto, la dimensión transversal del difusor debe ser grande con respecto a la de la fuente (por lo menos en una dirección transversal), para obtener zonas de sombra iluminadas por el difusor, pero no directamente por la fuente. También hay que señalar que el difusor es un elemento separado de la fuente, de la que se puede separar cualquier distancia grande arbitraria. De hecho, las simulaciones ideales de la iluminación natural por la luz directa y difusa del sol y del cielo requerirían que la fuente se colocara muy lejos del difusor para garantizar que todas las sombras tengan la misma orientación. Sin embargo, realizaciones prácticas podrían beneficiarse de distancias más cercanas para optimizar la eficiencia global del dispositivo.

20 ii) Una segunda variante de este tipo, denominada en lo sucesivo "punto", con el objetivo de obtener la iluminación por el difusor de porciones de la escena fuera del cono de luz que la fuente podría emitir en ausencia del difusor. Este objetivo se consigue utilizando una fuente que genera, en ausencia del difusor, un cono de luz con una apertura limitada y un difusor con una dimensión transversal arbitrariamente pequeña con respecto a la dimensión del medio ambiente, siempre que sea siempre mayor que el doble de la fuente. En esta configuración, la fuente de "punto" genera dos conos de luz, de diferente apertura, diferente intensidad (mayor en el interior y menor en el exterior) y diferente temperatura de color, "más caliente" en el interior y "más fría" en el exterior. Cuanto más nítida sea la transición entre la luz y la oscuridad en ausencia del difusor más nítida será la transición en la intensidad y el color de temperatura entre los dos conos de luz. El efecto que este dispositivo crea en la escena, en relación con la diferencia en la intensidad de la iluminación y la coloración producida por los dos conos de luz, es similar al efecto de la iluminación producida por el sol y por el cielo. El cono interior ("caliente") ilumina la escena como ocurre en la naturaleza de un objeto expuesto a la suma de la luz solar y la luz del cielo por la tarde. El cono exterior ("frío") ilumina la escena tal y como ocurre en la naturaleza de un objeto en la sombra, expuesto solo a la luz del cielo. De esta manera, estas zonas aparecen a la vista como áreas "en la sombra", incluso si el objeto real (por ejemplo, el obstáculo) que genera esta sombra no se encuentra en la escena. A diferencia de la primera variante "panel", la fuente de "punto", no es capaz de iluminar las sombras de los objetos reales presentes en la escena.

25 Cabe señalar que para que se produzca el efecto es necesario también en este caso que el difusor tenga una gran dimensión transversal con respecto a la fuente (por lo menos en una dirección transversal), para obtener conos de luz transmitidos y dispersos de diferente apertura. Este resultado se puede obtener, por ejemplo, mediante la colocación del difusor extendido inmediatamente aguas abajo de una lente de recogida capaz de colimar la luz directa en el interior del cono en cuestión, y dicha lente, para funcionar correctamente, debe tener direcciones transversales más grandes a los de dicha fuente. Alternativamente, el elemento difusor se puede incorporar en esta matriz de elementos ópticos.

30 Por el contrario, la realización "puesta de sol" requiere necesariamente un difusor cuya dimensión máxima  $L_{max}$  es la longitudinal, definida como la distancia máxima entre dos puntos que pertenecen a la proyección del difusor en un plano paralelo a las direcciones  $I_{max}$  o  $I_{prox}$  definidas anteriormente. De hecho, solo en este caso puede ser transmitida radiación luminosa en el difusor para una trayectoria considerablemente mayor que la anchura del difusor en el plano transversal, como por otra parte ocurre en la naturaleza en la noche. De hecho, al atardecer (y también en la salida del sol) la profundidad de la atmósfera atravesada por la luz del sol, con el sol bajo en el horizonte, se encuentra a pocos cientos de kilómetros, por lo tanto, mucho mayor que la altura de la atmósfera, en el orden de decenas de km. Esta condición geométrica permite que todos los componentes espectrales de la luz de la fuente, empezando desde el azul, a continuación, verde, amarillo, naranja, etc., se dispersan efectivamente mediante el "cielo", hasta que solo el componente rojo, que representa la luz solar directa al atardecer, alcanza objetos lejanos.

35 A diferencia de la condición de "mediodía", en la cual el observador mira en el panel difusor de acuerdo con una dirección en la región de  $I_{max}$  o  $I_{prox}$ , en la configuración de "puesta de sol", el observador mira al difusor desde una dirección perpendicular.

60

Cabe señalar que para que diferentes porciones del difusor emitan luz de diferentes colores hacia el observador, es esencial que el difusor tenga una gran dimensión longitudinal, y en particular mayor (al menos el doble) que la dimensión transversal (que a su vez es mayor que o igual a la de la proyección de la fuente). De hecho, de lo contrario, la luz dispersa en el interior de una porción de difusor se dispersa de nuevo por otras porciones antes de desacoplarse en el exterior, de acuerdo con el proceso conocido como "dispersión múltiple". Este proceso causaría la mezcla entre los componentes dispersos y de transmisión de la luz, y por lo tanto, la mezcla de los diversos componentes del color, que pondrían en peligro el funcionamiento del dispositivo de acuerdo con el objeto propuesto.

"Fuente de luz artificial de banda amplia" pretende ser cualquier dispositivo que transforme la corriente eléctrica en radiación luminosa con un ancho de banda espectral visible  $\Delta\lambda > 100$  nm, preferiblemente  $\Delta\lambda > 170$  nm, lo más preferiblemente  $\Delta\lambda > 250$  nm, tal como una fuente de luz blanca, o percibida como tal por el ojo, tal como una lámpara incandescente, una lámpara fluorescente, una lámpara de descarga de vapor de mercurio, un LED o un diodo láser de luz blanca (es decir, de tal manera que la fuente primaria se combina con un fósforo o varios fósforos), o una combinación de LEDs o diodos de láser de color diferente, y similares.

La anchura de la banda espectral visible  $\Delta\lambda$  se define como la amplitud del intervalo de longitudes de onda en la región del espectro visible entre 400 y 700 nm, más allá del cual el espectro de la fuente asume un valor por debajo de  $1/e^2$  del valor pico, donde  $E = \exp(1)$ . Cabe señalar que la presencia de picos de emisión más allá de la región visible del espectro no contribuye a la presente definición de anchura espectral (figura 1).

La fuente de luz de la invención puede comprender una pluralidad de elementos activos, idénticos o diferentes entre sí, opcionalmente agrupados y/o asociados con elementos ópticos tales como lentes, filtros, pantallas, difusores acromáticos, y similares, capaces, por ejemplo, de distribuir la luz de manera uniforme en un amplio ángulo sólido, o de concentración de la misma dentro de una abertura angular pequeña y bien definida.

"Elemento activo" pretende ser un elemento que emite fotones, tales como un filamento incandescente, un gas ionizado, un LED o diodo láser, o un elemento que absorbe fotones y luego los vuelve a emitir a una longitud de onda superior, tal como un fósforo o un elemento luminiscente, pero no un difusor, ya que este último no emite luz, sino que simplemente cambia la dirección de propagación de la misma.

"Dimensión de fuente" pretende ser la dimensión mínima del elemento activo más grande que contenido en el mismo,  $d_{\min}$ , definida como la dimensión del lado más corto del rectángulo que circunscribe la proyección de este elemento activo en un plano perpendicular a:

- a. en el caso de la fuente de luz con emisión anisotrópica, la dirección de máxima emisión ( $I_{\max}$ ) de dicha fuente;
- o
- b. en el caso de una fuente de luz con emisión isotrópica, la dirección definida por la línea recta que une los dos puntos más cercanos ( $I_{\text{prox}}$ ) de dicha fuente y de dicho difusor,

La figura 2A ilustra la definición de dimensión mínima ( $d_{\min}$ ) de una fuente isotrópica en el plano perpendicular a la dirección  $I_{\text{prox}}$ , correspondiente al plano de un nanodifusor. En este caso  $L_{\max}$  es aproximadamente  $5 d_{\min}$ .

La figura 2B ilustra la definición de la dimensión mínima ( $d_{\min}$ ) de una fuente anisotrópica constituida por un LED o diodo láser y un fósforo en un plano perpendicular a la dirección  $I_{\max}$ .

La figura 3 ilustra la definición de la dimensión mínima ( $d_{\min}$ ) para una fuente de forma elíptica. En este caso, la dimensión mínima se define como el lado más corto del rectángulo dentro del cual puede inscribirse la proyección de la fuente en un plano perpendicular a la dirección  $I_{\max}$ .

En el dispositivo de acuerdo con la invención, la fuente y el difusor están concebidos como dos elementos separados, es decir, el difusor no se superpone a un elemento activo, o interpuesto entre diferentes elementos activos, sino que se coloca aguas abajo del elemento más alejado activo de esta fuente.

"Difusor cromático nanoestructurado" pretende ser un objeto que comprende elementos de un primer material no líquido transparente a la luz visible y que tiene un índice de refracción  $n_1$  disperso en un segundo material no líquido transparente a la luz visible y tiene un índice de refracción  $n_2$ , con lo que  $|n_2/n_1 - 1| > 0,1$  y en el que la dimensión lineal típica,  $d$ , de los elementos dispersos del primer material satisface la condición  $5 \text{ nm} < d < 300 \text{ nm}$ , preferentemente entre 10 y 200 nm, más preferiblemente entre 50 y 100 nm. En el caso de un difusor de grandes dimensiones, un intervalo de interés para la dimensión lineal típica,  $d$ , de los elementos dispersos es de  $30 \text{ nm} < d < 50 \text{ nm}$ . Este material es capaz de producir una separación eficaz entre los componentes con una menor longitud de onda de la radiación incidente, que se encuentran dispersos, y aquellos con mayor longitud de onda, que se transmiten en su lugar.

En el difusor cromático de acuerdo con la invención, los elementos dispersos del primer material pueden ser:



- nanopartículas sólidas con un índice de refracción  $n_1$  en el caso en el que el segundo material sea una matriz sólida con un índice de refracción  $n_2 < n_1$ .
- nanoburbujas de gas con un índice de refracción  $n_1$  en el caso en el que el segundo material es una matriz sólida con un índice de refracción  $n_2 > n_1$ .
- 5 - nanovolúmenes de aire en el caso en el que el segundo material esté constituido por una sólida estructura dendrítica de sílice de ultra baja densidad, a su vez está compuesto por grupos de nanopartículas, que en presencia de la dispersión antes mencionada, toman el nombre de nanogel o aerogel.

10 Posibles ejemplos de difusores cromáticos de este tipo son nanogeles de sílice, o una dispersión de un material con un alto índice de refracción, tal como un óxido como  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{BaTiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , Como se describe en el documento US 6791259 B1, solo como algunos de los materiales enumerados en el documento WO 02/0891, en una matriz de material transparente con un índice de refracción bajo, tal como vidrio, plástico o material polímero, tal como resinas epoxi, silicona o urea, o una dispersión de burbujas de aire de dimensiones nanométricas en matrices transparentes similares.

15 "*Dimensión del difusor*" pretende ser el tamaño más grande entre la *dimensión transversal* y la *dimensión longitudinal*, como se define anteriormente.

20 La figura 4 ilustra la definición de  $L_{\max}$  como "*dimensión transversal*" del difusor en el caso de una fuente de emisión anisotrópica, 40, combinado con un difusor 46 curvado. En este caso la distancia máxima  $L_{\min}$  entre dos puntos que pertenecen a la proyección del difusor en un plano paralelo a la dirección  $I_{\max}$  es menor que la distancia máxima entre dos puntos que pertenecen a la proyección del difusor en un plano perpendicular a la dirección  $I_{\max}$ , por lo tanto  $L_{\max}$  se define como la "*dimensión transversal*" del difusor.

25 El dispositivo de acuerdo con la invención se caracteriza preferiblemente porque  $L_{\max} \geq 5 d_{\min}$ , más preferiblemente en el que  $L_{\max} \geq 10 d_{\min}$ . Generalmente, el dispositivo de acuerdo con la invención se caracteriza preferiblemente porque  $L_{\max}$  está en el intervalo entre 2 y 100  $d_{\min}$ .

30 El dispositivo propuesto se ideó (i) para iluminación de interiores, tales como viviendas, oficinas, almacenes, centros comerciales, entornos de trabajo, decoraciones de teatro, (ii) para la iluminación al aire libre, tales como carreteras, plazas, campos deportivos, parques, patios, (iii) para la iluminación de objetos expuestos, tales como plásticos, productos en escaparates, y (iv) como objetos luminosos separados, por ejemplo, una lámpara de suministro o instalación luminosa al aire libre.

35 Una característica del mismo es ser capaz de mejorar la calidad de la iluminación que se puede obtener mediante fuentes de baja energía de "luz fría", tal como LEDs InGaN-GaN que emiten en la región azul (por ejemplo, a 430nm) completado por la presencia de un fósforo que emite radiación de banda ancha en la región amarilla (por ejemplo, alrededor de 580 nm). La resultante de los dos componentes de color es percibida por el ojo casi como luz blanca. Sin embargo, la correspondiente "temperatura de color" es mucho mayor que la de la luz solar, así como para hacer de este tipo de fuente algo inadecuada para la iluminación interior. La invención propuesta permite que una gran parte del componente azul de la luz se dirija hacia las sombras, donde es agradable a la vista, ya que simula el efecto de la luz del cielo, dirigiendo el componente más caliente producido por el fósforo hacia las áreas expuestas a iluminación directa, para simular la luz del sol de "la tarde".

45 El uso de materiales transparentes nanoestructurados en aplicaciones inherentes al tratamiento de la luz es una solución considerada en la actualidad en un número creciente de esferas tecnológicas.

50 Con referencia a la utilización de la combinación de fuentes artificiales y difusores de Rayleigh obtenidos a través de la dispersión acuosa de nanopartículas de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), el elemento innovador está constituido aquí por el uso de materiales sólidos.

Ahora se describirán en detalle las características de los materiales y de los difusores para ser producidos con estos materiales. El término "*material del difusor nanoestructurado*" en este contexto se refiere a un material no líquido que exhibe variaciones espaciales en el índice de refracción en longitudes de escala entre 5 y 300 nm. El término "transparente" se refiere a las características del espectro de absorción del material. La profundidad  $L$  del material, en la dirección de propagación de la luz, depende del tipo de aplicación, y puede variar desde unos pocos micrones (para aplicaciones en microcomponentes ópticos) a decenas de metros (en el caso de grandes instalaciones). Las principales características que describen las propiedades del material son la dimensión típica de la nanoestructura (o las dimensiones si, como en el caso de nanogeles, las fluctuaciones tienen diferentes longitudes de escala) y la concentración, es decir, el número de fluctuaciones por unidad de volumen. A continuación, el material se describe en términos de una matriz homogénea y de una dispersión de nanopartículas con un diámetro  $d$ , con la intención, en este caso también, de incluir nanogeles. Dimensiones de la nanoestructura. Estas deben permitir, en caso necesario, la dispersión eficiente para obtener la relación deseada entre la luz dispersa y transmitida, y por lo tanto, por ejemplo, entre la luminosidad de las zonas "en la sombra" y de las áreas "en el sol", utilizando profundidades mínimas de difusor. Esta eficiencia, sin embargo, debe obtenerse manteniendo el proceso de dispersión tanto como sea posible en régimen de Rayleigh, para obtener el máximo contraste de color o, más precisamente, la variación

máxima de la temperatura de color calibrada (CCT) entre la luz dispersa y transmitida. Esto implica, en sentido estricto, la elección de las nanopartículas con un diámetro de menos de 50 nm, es decir,  $d < \lambda/10$ . De hecho, cuando el diámetro aumenta, hay una disminución considerable en el valor de la relación entre la amplitud de la dispersión en la región azul ( $\lambda = 450$  nm) y, por ejemplo, en la región roja ( $\lambda = 630$  nm). Teniendo en cuenta, por ejemplo, el caso de una dispersión de nanopartículas con un índice de refracción  $n_1 = 2,7$  en un material uniforme con índice  $n_2 = 1,5$ , se obtiene que en el régimen de dispersión múltiple insignificante, más específicamente en el límite de un número muy pequeño de partículas,  $\tau_{450}/\tau_{630} = 3,86, 3,95, 3,68, 1,56, 0,63$  para diámetros de nanopartículas  $d = 20, 50, 100, 200, y 500$  nm, respectivamente, donde  $\tau_\lambda$  se define como la fracción de la luz dispersa en una longitud de onda dada  $\lambda$  [H.C. van de Hulst, "Light Scattering by Small Particles", Dover Publications, Nueva York 1981]. Además, como el diámetro aumenta, la eficiencia de la dispersión se vuelve anisotrópica, aumentando en ángulos pequeños (dispersión hacia adelante). Sin embargo, a medida que aumenta con la sexta potencia del diámetro de las partículas,  $\tau d^6$ , dada la misma concentración numérica, es evidente que grandes diámetros hacen que el proceso de dispersión sea mucho más eficiente. Por lo tanto, es necesario evaluar, caso por caso, el compromiso óptimo entre la eficiencia y el color de contraste deseado. Las mediciones resueltas de ángulo y de frecuencia y las simulaciones numéricas muestran que para las dimensiones lineales de los elementos dispersos hasta  $d \approx 100$  nm, la dispersión varía poco del régimen de Rayleigh ideal. Los valores  $d \approx 200$  nm por el contrario implican una variación considerable. Sin embargo, los elementos dispersos de estas dimensiones pueden ser útiles si desea simular el efecto de un cielo con una ligera neblina, es decir, que dispersa en ángulos pequeños (es decir, desde las zonas cercanas al sol) la luz con una cierta blancura. Con respecto a los valores mínimos aceptables para la dimensión lineal de los elementos dispersos, debe mencionarse que en los valores de la literatura  $d < 20$  nm ya se consideran como para hacer que el fenómeno de dispersión sea casi despreciable, para las profundidades material considerado típicamente. Por ejemplo, en el documento US 2008/0012032, donde se considera el uso de una dispersión de nanopartículas en un medio transparente para variar el valor medio del índice de refracción del material compuesto, el requisito de evitar la dispersión se traduce en un requisito en el diámetro de las nanopartículas  $d < \lambda/20$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación incidente. Teniendo en cuenta el hecho de que la disminución de la eficacia de dispersión en relación a la disminución de la dimensión lineal de los elementos dispersos puede compensarse por el aumento en la concentración de estos elementos y/o en la profundidad del difusor, se establece que la dimensión lineal de los elementos dispersos,  $d$ , útiles para propósitos prácticos para la presente invención, está dentro del intervalo de  $5 \text{ nm} < d < 300 \text{ nm}$ , teniendo en cuenta que el intervalo ideal es de  $50 \text{ nm} < d < 100 \text{ nm}$ .

Concentraciones y profundidades. La segunda cantidad que determina la eficiencia de la dispersión es la concentración de las nanopartículas, siendo la fracción de la luz dispersa proporcional al número de partículas por unidad de volumen,  $\tau \propto n$ , para una longitud de muestra fija y en el límite de baja concentración. Hay dos factores que limitan principalmente al valor máximo de concentración utilizable. El primero es un límite conceptual, debido al hecho de que cuando las partículas están a una distancia media entre sí de unos pocos diámetros, un hecho que se produce para las concentraciones de más de unos pocos %, comienzan a organizarse con un orden espacial de corto alcance, dando lugar a efectos de interferencia que perturban el proceso de dispersión. Un segundo límite, de tipo práctico, se refiere a la posible ocurrencia del fenómeno de agrupamiento de las nanopartículas en altas concentraciones, debido a la presencia de un potencial atractivo de corto alcance. Debido a la dependencia  $\tau \propto d^6$ , incluso un porcentaje mínimo de partículas agrupadas (grande  $d$  efectiva) es capaz de crear un efecto dominante en el proceso de dispersión. En el caso de materiales con profundidades de unos pocos mm, las concentraciones necesarias para obtener los valores de dispersión deseados son, sin embargo, muy bajos. Teniendo en cuenta, por ejemplo, el caso de partículas con un índice de refracción  $n_1 = 2,7$  en un medio transparente con la profundidad  $L = 5$  mm y con un índice de refracción  $n_2 = 1,49$ , a la dispersión obtenida eficiencia  $\eta = 0,5$  en el caso de diámetros  $d = 20, 50 y 100$  nm, las concentraciones numéricas de  $n = 4,7286 \cdot 10^{14}, 1,9368 \cdot 10^{12}, 3,0263 \cdot 10^{10}$  partículas por  $\text{cm}^3$  son necesarias, que corresponden a una fracción de volumen del 0,1981%, 0,0127%, 0,0016%, respectivamente. Si, por el contrario, se van a utilizar concentraciones altas, por ejemplo del 1% en volumen, que requieren un alto control del proceso de fabricación del material difusor para evitar el agrupamiento, el mismo valor de eficiencia ( $\eta = 0,5$ ), se puede obtener para el mismos diámetros ( $d = 20, 50 y 100$  nm), utilizando profundidades del difusor de hasta solo unos pocos micrómetros, es decir, 990  $\mu\text{m}$ , 63  $\mu\text{m}$ , y 7,92  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Esto indica la posibilidad de producir la tecnología descrita, en determinados regímenes, también en películas delgadas.

Absorción. El material debe absorber una parte mínima de la radiación total incidente, para mantener la eficiencia máxima del dispositivo en términos de consumo de energía. Además, no debe exhibir absorción selectiva en ninguna región particular del espectro visible, para no introducir, por lo tanto, efectos de color no deseados y no naturales. Por ejemplo, la absorción selectiva en la región azul reduciría la coloración de las sombras, mientras que la absorción selectiva en la región roja haría que el color de la luz en las zonas directamente iluminadas menos "calientes".

Reflexión. La reflexión de la luz de la fuente en la cara de entrada y de salida del difusor puede representar una desventaja en relación con la eficiencia energética del aparato. En el caso de una matriz con un índice  $n_2 = 1,5$ , esto equivale a alrededor del 8% de incidencia normal, pero el valor aumenta considerablemente en relación al aumento en el ángulo de incidencia, para luz no polarizada. Cabe señalar que el problema también existe para nanogeles, a pesar del hecho de que para estos  $n_1 = 1$ , ya que debido a su fragilidad requieren para estén contenidos en un elemento transparente. Además del problema de la eficiencia, el problema de la calidad de la iluminación producida

también debe considerarse. De hecho, en la naturaleza, la pureza de los colores del cielo y la belleza de los contrastes de color entre la luz y la sombra están estrechamente vinculados a la presencia de un fondo oscuro (el espacio interestelar) detrás del cielo. En el interior, por lo tanto, es esencial evitar que la luz de la fuente reflejada por el difusor ilumine las paredes (por ejemplo, los techos), desde la que a continuación se redireccionarán a la escena.

5 En la presente invención el problema de reflexión, en los casos en los que existe, se resuelve mediante la introducción de pantallas que absorben luz o, donde la eficiencia del dispositivo es un parámetro crucial, usando tratamientos anti-reflectantes apropiados.

Un sector de particular interés es el sector de "aerogel o nanogel". A pesar de su nombre, se trata de materiales sólidos, secos (sin contenido líquido), y esponjosos porosos, típicamente obtenidos a través de la evaporación supercrítica en autoclaves del componente líquido de un gel (o de un líquido sustituido para esto después de la formación del gel). A diferencia de la evaporación convencional, este proceso mantiene sin cambios la estructura del componente sólido del gel, que forma una espuma rígida con ultra-baja densidad. De hecho, más del 99,8% del volumen del material final puede ser ocupado por aire. El material así producido presenta una estructura dendrítica microscópica, con características fractales, formada por nanopartículas con diámetro típico de 2-5 nm, agrupadas en grupos separados entre sí por espacios vacíos, pudiendo tener dichos huecos dimensiones medias de menos de 100 nm. Los primeros aerogeles desarrollados, y que siguen siendo los más ampliamente utilizados, son los obtenidos a partir de gel de sílice (SiO<sub>2</sub>). Sin embargo, existen aerogeles obtenidos a partir de otros materiales, tales como óxido de aluminio, óxido de cromo, dióxido de estaño, óxido de carbono, etc. A pesar de su masa extremadamente baja, el material presenta características considerables de rigidez, tanto es así que se utiliza en las tecnologías espaciales, para equipamiento deportivo, etc. La limitación de análisis para aerogeles de sílice, de mayor interés para las aplicaciones de iluminación inherentes a la presente invención, es transparente (es decir, que absorbe una cantidad mínima de la luz), y dispersa parte del componente azul por la dispersión de Rayleigh. De hecho, la nanoestructura de la cual se constituye tiene dos escalas de longitud típicas: la de los grupos de nanopartículas y la de los huecos entre estos grupos, que pueden estar ambas muy por debajo de la longitud de onda de la luz. Por esta razón, los aerogeles son también llamados "humo sólido" en la jerga. Debido a su transparencia, a su aislamiento de calor óptimo y también a su capacidad para dispersar la luz, los aerogeles de sílice hoy en día también se utilizan en la construcción, para producir claraboyas y ventanas capaces de bloquear el calor de la luz solar, o de retener el calor en el edificio, y al mismo tiempo de distribuir de manera muy eficaz la luz del sol que les golpea en el interior. Para estas aplicaciones, se utilizan principalmente gránulos de aerogel, es decir, fragmentos de unos pocos milímetros de espesor, contenidos dentro de las ventanas, de material transparente. El uso ilustrado es capaz de producir una coloración azul de las sombras. Con referencia a la invención que aquí se propone, es importante observar que la utilización de aerogeles de iluminación con luz artificial nunca se ha considerado previamente.

Como se ha indicado anteriormente, el dispositivo de iluminación de la presente invención propone un objeto contrario al objeto típico de los dispositivos de iluminación de la técnica anterior, es decir, para hacer una fuente (que es típicamente, pero no necesariamente, cromáticamente uniforme) cromáticamente no uniforme, con un tipo de no uniformidad (azul dispersa y amarillo transmitido) contraria a la generada "espontáneamente" por LEDs fluorescentes. Una característica del dispositivo de la invención es proporcionar un nanodifusor mucho más grande que el último elemento activo (por ejemplo, fósforo), y colocarlo aguas abajo de este elemento activo, preferiblemente separado del mismo. Esta diferencia en las dimensiones, el posicionamiento y la separación espacial entre la fuente y el difusor son los factores que rompen la simetría "esférica" del sistema, con el objetivo de romper la distribución angular uniforme de los colores, así como para permitir la separación de los dos componentes de color disperso (azul) y transmitido (amarillo), como se puede entender a partir de las descripciones de las diferentes realizaciones ilustradas a continuación.

#### Realizaciones del dispositivo de iluminación en la configuración de "mediodía"

Un primer ejemplo del dispositivo de acuerdo con la invención se ilustra en la figura 5A, donde una fuente de luz blanca anisotrópica 52 emite luz de espectro uniforme sobre un amplio ángulo sólido, iluminando el elemento nanodifusor 56 subtendiendo este ángulo. En presencia del nanodifusor, el componente amarillo 57 se dispersa menos que el componente azul 55. El resultado desde el punto de vista del método de iluminación de un objeto en la escena se ilustra en las figuras 5B-D. En la figura 5B, un objeto 53 está iluminado por la luz directa (amarilla) y por la luz dispersa por el panel (azul); en la figura 5C, un objeto 53c está iluminado principalmente por la luz directa (amarilla), en este caso, está provisto de una pantalla 58 que elimina la mayor parte de la luz que viene desde el panel difusor 56, en tanto que el objeto 53cc está iluminado solo por la luz de fondo difuso (azul) desde el panel difusor 56; finalmente, en la figura 5D un objeto 53d está iluminado principalmente por la luz dispersa (azul), ya que la luz directa se elimina mediante una pantalla 58d que genera sombra sobre este objeto.

El efecto en el caso de la iluminación de un entorno por medio de una fuente 52e combinada con un difusor 56e se muestra en la figura 5E. Aquí la escena está parcialmente iluminada por la suma de luz directa y dispersa 51 y en parte solamente por la luz dispersa 59. Cabe señalar que el área iluminada por la luz dispersa 59 comprende la sombra de un objeto 53e situado en el centro de la escena. También comprende un área exterior que no sería iluminada por el cono de luz producido por la fuente en ausencia del elemento difusor.

Un segundo ejemplo del dispositivo se muestra en la figura 6, donde una fuente de luz blanca anisotrópica está constituido por un LED azul o diodo láser 60 asociado con un fósforo 64 que emite en la región amarilla. La fuente se incorpora en un cuerpo de contención transparente 62, donde el nanodifusor 66 se incorpora en una lente colectora 63, que forma la parte inferior del cuerpo 62 transparente. La lente 63 tiene el objetivo de colimar la radiación generada por la fuente constituida por un LED o diodo láser 60 y un fósforo 64, o de reducir el ángulo de divergencia de los mismos. En la configuración convencional, es decir, en ausencia del nanodifusor 66, la lente 63 colimaría la luz blanca producida por la fuente, creando un cono de divergencia angular dada y el gradiente de transición determinado entre la luz y la oscuridad. Por el contrario, el dispositivo 72 de acuerdo con la invención, como se muestra en la figura 7, produce un cono interior estrecho de luz amarilla 71 y un cono más amplio de luz azul 75.

En una tercera realización mostrada en la figura 8, se introducen dos modificaciones técnicas, también por separado, para mejorar la eficiencia del dispositivo. En el primero, el elemento óptico de colimación, es decir, la lente 83, está situada a una cierta distancia de la fuente y separada de la misma. En este caso, esta lente, que contiene el nanodifusor 86, está provista de un tratamiento anti-reflectante. El objeto de este tratamiento es optimizar la transmisión del componente "caliente" de la radiación emitida por una fuente constituida, por ejemplo, mediante un LED o diodo láser 80 y un fósforo 84, evitando reflexiones que podrían reducir la eficiencia del dispositivo y parte directa de este componente a la zona exterior, reduciendo el contraste. El objeto del reflector es recuperar el componente "frío" retrodispersado por el elemento nanodifusor. De hecho, en régimen de dispersión de Rayleigh, la eficiencia de dispersión es idéntica en las dos medias esferas que comprenden la dirección desde la que proviene la luz, y hacia la cual se propaga la luz, lo que implica que una cantidad de luz dispersa idéntica a la indicada en la escena se dirige de nuevo hacia la lámpara. Una forma de resolver, o al menos reducir considerablemente el problema, es la inserción de la lente y de la fuente dentro de un reflector 87 (ya sean esférico, parabólico o de forma diferente, con una superficie lisa u ondulada) que redirige la luz retrodispersada hacia el exterior. A medida que la luz dispersa es generada por un elemento extendido y en direcciones aleatorias, la presencia de un reflector en la proximidad del difusor no altera en gran medida la divergencia de la radiación acoplada de ese modo en el exterior. En el caso en el que la geometría del sistema exija una considerable distancia entre la lente y el reflector, el uso de superficies corrugadas para las paredes reflectantes asegura el mantenimiento de la divergencia deseada en la luz dispersa.

Un ejemplo esquemático del tipo de iluminación obtenible con el dispositivo propuesto aquí se puede entender a partir de los diagramas presentados en las figuras 9 y 10. En el primer caso, un proyector 90 convencional ilumina con un cono definido de luz blanca 91 una región particular de un ambiente, dejando el resto en la oscuridad. En el segundo caso, un foco de luz 100 de acuerdo con la invención, por ejemplo del tipo mostrado en la figura 8, genera un cono de luz "más cálido" 101 que el cono de luz "blanca" de la figura anterior, de la misma abertura, después de haber retirado del mismo el componente "más frío", que se distribuye en el cono exterior 103. Las regiones externas del entorno, que estaban previamente en la oscuridad, en cambio ahora están expuestas a la luz azul dispersa, como ocurre en el caso de las sombras en ambientes al aire libre en la Tierra. Es importante observar que los términos "azul" y "amarilla", o "frío" y "caliente" que hacen referencia a la luz son solo indicativos, y se utilizan para indicar simbólicamente un concepto. El parámetro cuantitativo que determina las características y, por lo tanto, la "calidad" del dispositivo es la "temperatura de color calibrada" (CCT) descrita previamente. Las mediciones tomadas con un nanodifusor de material nanogel con una profundidad de 12 mm y un LED con fósforo amarillo con azul con CCT = 5296K, producido para el componente "caliente" transmitió un valor de CCT = 4334K, que corresponde a un valor típico para la luz solar directa temprano por la tarde, y para el componente "frío" dispersa un valor de 9433K. Los resultados se muestran en la figura 16.

Las mediciones realizadas utilizando un nanodifusor de material PMMA/TiO<sub>2</sub> con una profundidad de 12 mm y un LED con fósforo amarillo con CCT = 5296K, producido para el componente "caliente" transmitido con un valor de CCT = 4417,9K, correspondiente a un valor típico de la luz solar directa en la tarde, y para el azul el componente de "frío" dispersa un valor de 7447,2K. Los resultados se muestran en la figura 17

A partir de los datos en las figuras 16 y 17 es evidente que la disminución del pico azul asociado con el LED que se obtiene en el componente de transmisión como resultado de la dispersión de Rayleigh hace que el espectro de este componente, que es el que ilumina el escena directamente, sea mucho más similar al perfil en forma de campana del espectro del cuerpo negro, por lo que es más similar al producido por la luz solar directa.

En una cuarta realización de la figura 11a se han usado una pluralidad de fuentes de luz, designadas con 110, situadas aguas abajo de los cuales hay un nanodifusor 116.

El tipo de dispositivo que se muestra en las figuras 6 y 8 no se limita al uso de LEDs o diodos de láser, sino que puede hacer uso de cualquier tipo de fuente de luz caracterizado por un ancho de banda espectral suficientemente amplio. El dispositivo es adecuado para la iluminación de interior, tal como habitaciones de hotel, o áreas de estudio en apartamentos, etc., es decir, todos aquellos entornos en los que se prefiere la iluminación de una sola área, o para crear un efecto escenográfico, o para reducir el consumo. Una segunda área de interés es la de la iluminación de una carretera, que se beneficiaría de la posibilidad preferente de iluminar un área a la luz directa (por ejemplo, la calle), con un componente espectral (por ejemplo, amarillo) donde el ojo es particularmente sensible, el

mantenimiento de un iluminación más débil y dispersa en las áreas circundantes. Todo ello con la coloración natural de la luz solar y tragaluz.

Realizaciones del dispositivo de iluminación en la configuración de "puesta de sol"

5 Un ejemplo de dispositivo de acuerdo con la invención en la configuración de "puesta de sol" se muestra en las figuras 12A y 12B, donde una fuente de luz blanca 120, constituida por una pluralidad de LEDs de luz blanca o diodos láser (por ejemplo, LEDs UV o diodos láser combinados con los fósforos de diferentes colores, o combinaciones de LEDs o diodos láser que emiten en la región roja, verde y azul) del tipo mostrado en la figura 11, se produce de forma esquemática en la forma de un paralelepípedo alargado. La figura 12A muestra la fuente 120 en un alzado lateral, mientras que la figura 12B muestra la fuente 120 en una vista en planta superior. La fuente 120 está contenida en una estructura transparente en el lado 120a, desde el que la radiación emitida se dirige hacia un nanodifusor 126. La fuente, adecuadamente colimada en el plano horizontal, envía la luz de banda ancha producida de esta manera dentro del nanodifusor 126. Este difusor está configurado como un panel cuya longitud en la dirección de propagación de la luz es mucho mayor que su profundidad. La altura del panel nanodifusor puede tener diferentes valores de acuerdo a las diferentes necesidades. Para permitir que la luz transmitida se propague dentro de toda la longitud del panel, a pesar del hecho de que puede ser muy delgada, es importante que actúe como una guía de ondas, es decir, no para acoplar la luz transmitida en el exterior (o para acoplar una mínima parte de los mismos) en ausencia de los elementos dispersos. En otros términos, el elemento difusor sin la nanoestructura debe ser tal que no se acopla a la luz en el exterior. Un método para lograr este objetivo es utilizar, como material difusor, una dispersión de nanopartículas en material plástico o polímero vítreo transparente, cuyo índice de refracción  $n_2 \approx 1,5$ , que es mayor que el índice de refracción del aire ( $n_{\text{aire}} \approx 1$ ), proporcionando un ángulo límite para la reflexión interna, con respecto a la normal de la superficie, de  $\theta_{\text{lim}} \approx 42$  grados. Por esta razón, el panel de material transparente y sin nanopartículas incorporadas que actúan como una excelente guía de ondas, capaz de transmitir desde una parte a la otra la luz de la fuente por reflexión interna total, como se muestra mediante las líneas 122 y 123. En presencia de nanopartículas, la luz dispersa así a  $-42$  grados  $< \theta_{\text{Scat}} < 42$  grados se desacopla de la guía, de modo que se hace visible para el observador, como se muestra en la figura 12B. La luz dispersa en mayores ángulos por el contrario, se acopla, para luego dispersarse en caso necesario en un evento de dispersión posterior. De esta manera, la porción de difusor más cercana a la fuente dispersa casi todo el componente azul; la porción posterior dispersa prevalentemente el verde, ya que es el componente restante con la longitud de onda más corta, y se dispersará con una eficiencia de dispersión ligeramente inferior (dada la mayor longitud de onda) que la dispersión de caracterización del azul en la región anterior. Esto implica una disminución de la luminosidad progresivamente a lo largo de todo el difusor, hasta que solo permanece el componente de la radiación roja, que se dispersa en la porción de extremo del difusor.

35 En una variante de esta realización, que se muestra en la figura 12C, los objetos 127 se pueden incorporar en el panel nanodifusor 126, por ejemplo, los objetos blancos, capaces de dispersar localmente todos los componentes de la luz incidente, y por lo tanto la simulación de nubes. En otra variante, los paneles de diferente longitud, o que se caracterizan por diferentes coeficientes de dispersión, se pueden colocar lado a lado en la instalación (en la dirección de la profundidad del difusor, es decir, en la dirección de observación), para simular la dispersión de diversos procesos que tienen lugar a diferentes alturas en la atmósfera. Esto permite la reconstrucción, por ejemplo, del hecho de que la parte baja de la atmósfera en la puesta del sol es invertida por el componente de color naranja o incluso rojo de la radiación solar, ya que todos los otros componentes han sido dispersados o refractados, mientras que la parte alta de la atmósfera permanece iluminada por la luz blanca del sol, y por lo tanto, dispersa la luz de color azul hacia nosotros.

50 Una realización adicional del dispositivo de iluminación en la configuración de "puesta de sol" se muestra en alzado vertical en la figura 13A y en una vista en planta inferior en la figura 13B. En esta realización, el elemento difusor nanoestructurado 136 tiene la forma de un cilindro. El principio de funcionamiento es el mismo que el caso anterior: una fuente 130 ilumina el cilindro desde abajo (o, equivalentemente, desde arriba) y la luz, que se propaga guiada a lo largo del eje del cilindro, dispersa todos los componentes de color, empezando desde el azul a través de al rojo. Este dispositivo está diseñado como una lámpara de interior, o, en el caso de dimensiones considerables, como una instalación al aire libre.

55 Una realización adicional del dispositivo de iluminación de la invención, susceptible de operar en la configuración de "mediodía" y en la configuración de "puesta de sol", se muestra en las figuras 14A, 14B, 14C, 14D, 14E y 14F.

60 La figura 14A muestra en alzado vertical una fuente de luz 140 que ilumina desde abajo un cilindro 146 de material transparente nanoestructurado similar al anterior, pero perforado en el interior, como se muestra en la figura 14B. La porción "sólida" del cilindro nanoestructurado 146 una vez más actúa como una guía de onda, si se ilumina mediante una fuente colocada en un extremo y que tiene la forma de un anillo, como se muestra en la figura 14C (visto desde arriba). En este modo de funcionamiento el dispositivo actúa a la vista de una manera análoga al dispositivo en la figura 13, ajustando la escena con los colores del cielo al atardecer, como se muestra en la figura 14A.

65 A diferencia del caso anterior, la figura 14D muestra una fuente de luz constituida por una lámpara de forma alargada 140a tubular, o un cilindro difusor blanco iluminado desde abajo, capaz de generar luz blanca que se

propaga hacia el exterior, diseñada para insertarse en el orificio del difusor nanoestructurado 146, como se muestra en la figura 14E, cuya luz, por lo tanto, también es dispersada por el cilindro difusor nanoestructurado hueco. En el caso de este segundo tipo de iluminación, un observador situado frente al cilindro verá el tubo interior luminoso, que emite luz blanca, sin el componente azul disperso. Por lo tanto, este tubo luminoso aparecerá amarillo, es decir, el color del sol, como se muestra en la figura 14F. En cuanto a las partes laterales del cilindro, el observador verá el componente azul de la luz generada por el tubo central disperso hacia el mismo, es decir, va a ver el color y la luz del cielo. Es interesante observar que el observador verá la misma distribución de colores, independientemente de su posición con respecto a la fuente, es decir, desde todos los lados. Este hecho permite descubrir que los diferentes colores no están vinculados a las diferentes coloraciones del objeto, sino que son inherentes a la diferencia existente entre la luz transmitida y la luz dispersa. Otras variantes posibles de la presente realización proporcionan una estructura con una base cuadrada, rectangular o elíptica. En este caso, la falta de simetría crea en los colores tonos diferentes de acuerdo a los diferentes ángulos visuales. Las dos fuentes de luz 140 y 140a se utilizarán alternativamente entre sí. La desconexión de la primera fuente 140 y la conexión de la segunda 140a, la transición se hace desde la condición del cielo al atardecer a la condición del cielo y del sol al mediodía. La espectacular transición entre el paisaje del día y de la noche reforzará la prueba del papel desempeñado por los procesos de dispersión en la determinación del color de la luz.

Con respecto al acoplamiento de la luz producida por la fuente con el panel en las realizaciones con configuración de "puesta de sol", se producirá por la instalación de elementos ópticos adecuados, en el caso en el que la fuente o las fuentes utilizadas no tienen la divergencia angular deseada. La característica requerida para la optimización de acoplamiento es que la fuente produce una divergencia suficientemente baja en la dirección de la profundidad del panel difusor para permitir la propagación guiada de la luz en el material. La fuente, por ejemplo, compuesta por una batería de LEDs o diodos láser, también se extiende en la dirección vertical, en el caso del dispositivo de la figura 12A, para iluminar uniformemente toda la extensión del panel 126, o circular, en el caso del dispositivo de la figura 14A para iluminar la base del cilindro difusor tubular 146. Con respecto a las características espectrales de la fuente, es importante tener en cuenta que una fuente que es de color blanco a la vista, ya que excita de una manera equilibrada adecuadamente los tres tipos de detectores (es decir, RGB), puede ser que carezca de partes importantes del espectro, en relación a la producida por un cuerpo negro a la misma CCT. Esta fuente puede resultar inadecuada para el propósito, ya que es incapaz de generar luz dispersa del color esperado en porciones espaciales específicas del difusor, lo que sería oscuro. Si tenemos en cuenta, por ejemplo, el caso de un LED azul con fósforo que emite en la región amarilla, es evidente que esta fuente no será capaz de crear el color rojo brillante que se espera para iluminar la porción de extremo del difusor, para simular la luz del sol que ilumina las nubes al atardecer, simplemente porque la fuente no tiene ese componente espectral. Las fuentes ideales son, por lo tanto, las que tienen espectro del cuerpo negro, o las producidas por combinación apropiada de LEDs o diodos de láser y fósforos de diferentes colores. Cabe señalar que, en el caso de una combinación de diferentes fuentes, éstas no necesariamente requieren integrarse en un solo elemento, sino que pueden colocarse simplemente lado a lado, siempre que este posicionamiento sea suficientemente compacto no ser percibido como heterogeneidad de colores dispersos en el plano vertical del difusor.

El dispositivo de acuerdo con la invención se puede utilizar como objeto de mobiliario luminoso, capaz de establecer la escena con la belleza de los colores del cielo. En este caso, se utiliza como objeto a observar, en lugar de como una fuente que ilumina una escena. Sin embargo, es posible producir ambas funciones en el caso de un panel, o un sistema de paneles, de grandes dimensiones, que cubren, por ejemplo, todo el techo, o toda una pared de una habitación, o incluso varias paredes. En este caso, el dispositivo podría sustituir a la iluminación convencional, proporcionando, al igual que el cielo, la iluminación dispersa por todo el medio ambiente. Una ventaja importante con respecto al tipo de iluminación propuesto en las realizaciones anteriores es que en este caso no es necesario colocar ninguna fuente detrás del panel, a una cierta distancia, un hecho que reduce considerablemente las dimensiones.

#### Realizaciones del dispositivo de iluminación en la configuración "después de la puesta del sol"

Un ejemplo de dispositivo de acuerdo con la invención en la configuración "después de la puesta del sol" se muestra en la figura 18, donde dos fuentes de luz blanca 180, colocadas a una altura de 2/3 con respecto a la altura total desde el suelo hasta el techo, emiten luz de espectro uniforme en un cierto ángulo hacia el techo, iluminando el elemento nanodifusor 186. Parte de la luz se difunde hacia atrás por el difusor cromático 186 e ilumina uniformemente la escena en un color azul. La luz que pasa a través del elemento difusor 186 es absorbida por un panel negro 182 colocado detrás del elemento 186.

En una realización adicional de la invención, la fuente de luz está totalmente separada y apartada del difusor cromático. En este caso, el término "dispositivo" se entiende como la combinación de una fuente de luz y un difusor cromático, con independencia de si están estructuralmente integrados o no. Un ejemplo de esta realización se muestra esquemáticamente en la figura 15, en el que el difusor cromático es un panel 156 integrado en una pared de un edificio 158, y la fuente de luz está integrada dentro de una lámpara externa 150, por ejemplo, una lámpara de calle. El difusor cromático puede estar incorporado en la estructura de una ventana, y en realidad reemplazar el vidrio(s) de una ventana. En tal realización, el espacio interior del edificio está iluminado de acuerdo con los principios descritos anteriormente. En otro ejemplo de dicha realización, el difusor cromático es un panel 156 similar

al de la figura 15, integrado en una pared de un edificio 158, y la fuente de luz se integra dentro de una lámpara colocada en el interior del edificio. En este caso, el espacio interior del edificio está iluminado por la luz de fondo dispersada desde el panel 156.

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

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo de iluminación cromáticamente no uniforme, que comprende:

- 5 - una fuente de luz artificial de banda ancha (52; 60,64; 80,84) que comprende una fuente de luz blanca o una fuente de luz con un ancho de banda espectral superior a 100 nanómetros en el rango de longitudes de onda entre 400 nanómetros y 700 nanómetros, comprendiendo la fuente de luz artificial uno o más elementos activos que emiten fotones o que absorben fotones y luego los vuelven a emitir en una longitud de onda superior;
- un difusor cromático (56; 66; 86) situado aguas abajo de la fuente de luz artificial;

10 el difusor cromática está configurado para no emitir luz y cambiar la dirección de propagación de la luz emitida por la fuente de luz artificial; y en el que el difusor cromático comprende elementos de un primer material no líquido transparente a la luz en el rango de longitudes de onda entre 400 nanómetros y 700 nanómetros, y que tiene un índice de refracción  $n_1$ , dispersándose los elementos del primer material no líquido en un segundo material no líquido transparente a la luz en el rango de longitudes de onda entre 400 nanómetros y 700 nanómetros, y que tiene un índice de refracción  $n_2$ , en el que  $|n_2/n_1 - 1| > 0,1$ , y en el que una dimensión lineal típica  $d$  de los elementos dispersos del primer material no líquido satisface la condición  $5 \text{ nm} \leq d \leq 300 \text{ nm}$ ; y en el que una dimensión máxima  $L_{\text{max}}$  del difusor cromático es igual o mayor que cinco veces la dimensión mínima  $d_{\text{min}}$  de una proyección del mayor de dichos elementos activos en un primer plano perpendicular a una primera dirección, en el que:

- 20 - en caso de que la fuente de luz artificial sea anisotrópica, dicha primera dirección es la máxima dirección de emisión ( $I_{\text{max}}$ ) de dicha fuente de luz artificial; de otra manera
- en caso de que la fuente de luz artificial es isotrópica, dicha primera dirección está definida por una línea recta ( $I_{\text{prox}}$ ) que une los dos puntos más cercanos de dicha fuente de luz artificial y difusor cromático;

25 y en el que dicha dimensión máxima  $L_{\text{max}}$  de dicho difusor cromático se define como el mayor entre:

- 30 - una dimensión transversal definida como la distancia máxima entre parejas de puntos que pertenecen a una proyección del difusor cromático en el primer plano; y
- una dimensión longitudinal, definida como la distancia máxima entre parejas de puntos que pertenecen a una proyección del difusor cromático en un segundo plano paralelo a la primera dirección;

estando así configurado el difusor cromático para separar la radiación azul, dispersada por el difusor cromático, desde la radiación amarilla, transmitida por el difusor cromático.

35 2. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha dimensión longitudinal se define como la distancia máxima entre parejas de puntos que pertenecen a una proyección del difusor cromático (56; 66; 86) en dicha primera dirección.

40 3. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que  $L_{\text{max}} \geq 10 d_{\text{min}}$ .

4. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que los elementos dispersos del primer material son nanopartículas sólidas con un índice de refracción  $n_1$  y el segundo material es una matriz sólida con un índice de refracción  $n_2 < n_1$ .

45 5. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que los elementos dispersos del primer material son nanoburbujas de gas con un índice de refracción  $n_1$  y el segundo material es una matriz sólida con un índice de refracción  $n_2 > n_1$ .

50 6. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que los elementos dispersos del primer material son nanovolumen de aire y el segundo material está constituido por una sólida estructura dendrítica de sílice de ultra baja densidad, a su vez comprende grupos de nanopartículas.

55 7. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que dicho difusor cromático es un panel en forma de un paralelepípedo (126) y la fuente de luz artificial (120, 120a) está colocado en la cara más pequeña de dicho panel.

8. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que dicho difusor cromático tiene la forma de un cilindro (136) y la fuente de luz artificial (130) está situada en un extremo de dicho cilindro.

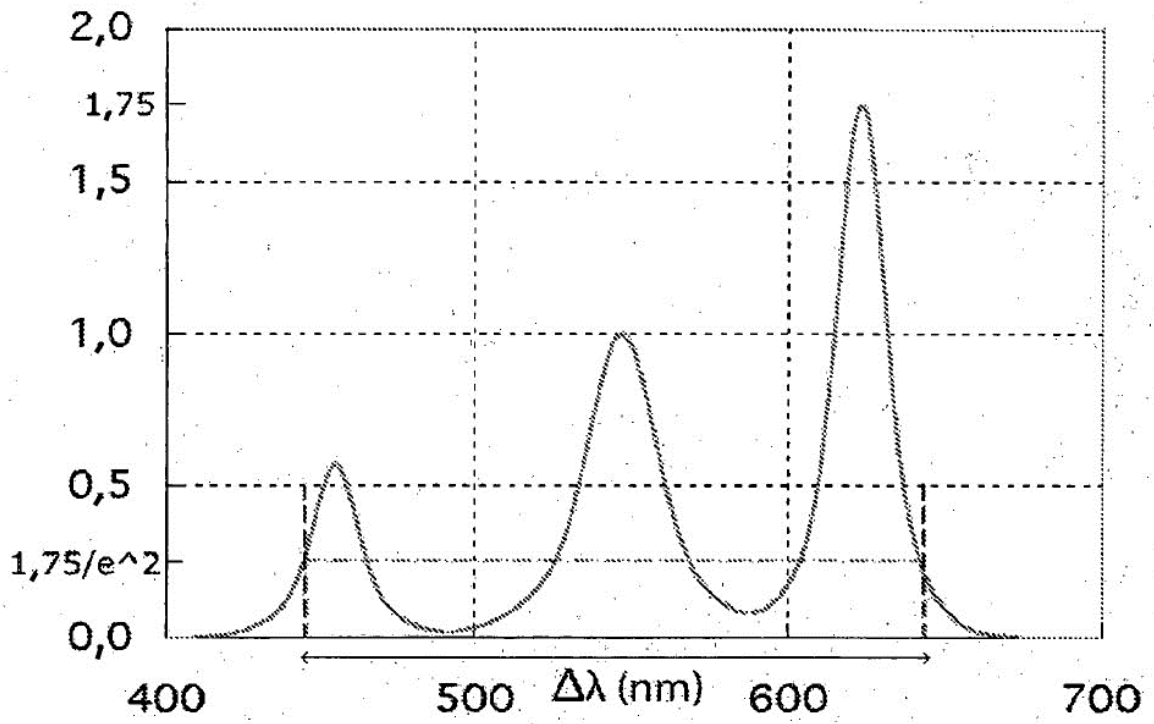
60 9. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el difusor cromático tiene la forma de un cilindro hueco (146) y la fuente de luz artificial comprende una primera fuente de luz (140) con forma de corona circular y situado coaxialmente en la proximidad de un extremo de dicho cilindro.

65 10. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la fuente de luz artificial comprende además una segunda fuente de luz (140a) que tiene una forma alargada y colocada coaxialmente dentro de dicho cilindro hueco.

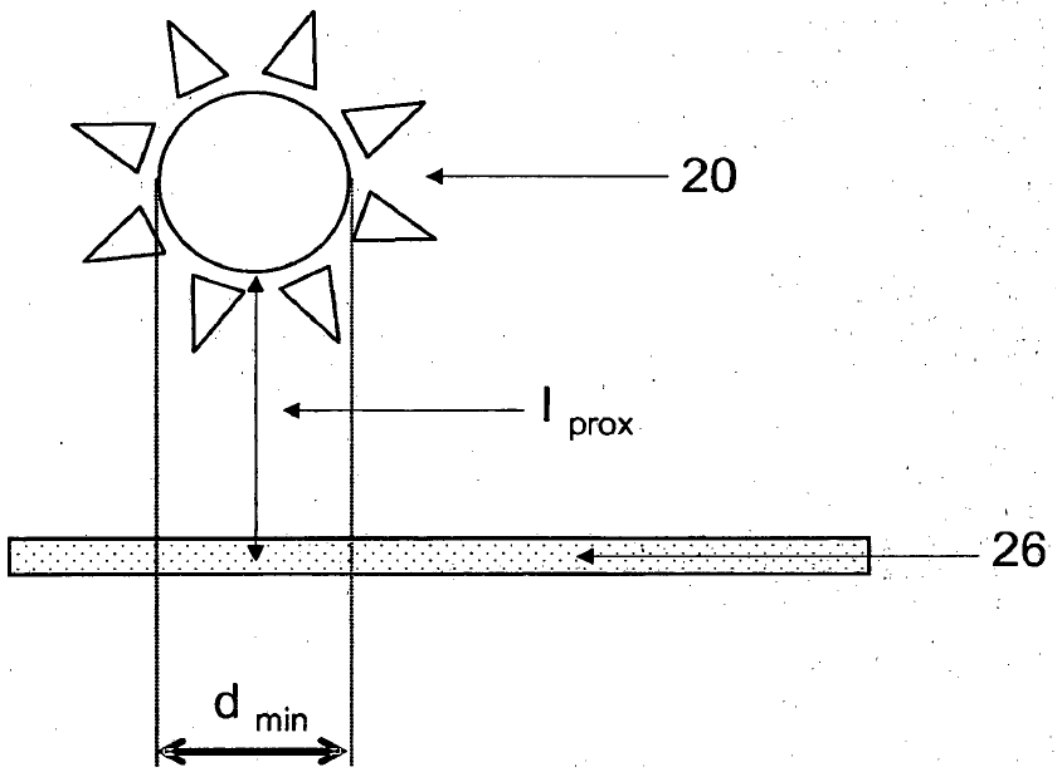


## ES 2 545 785 T3

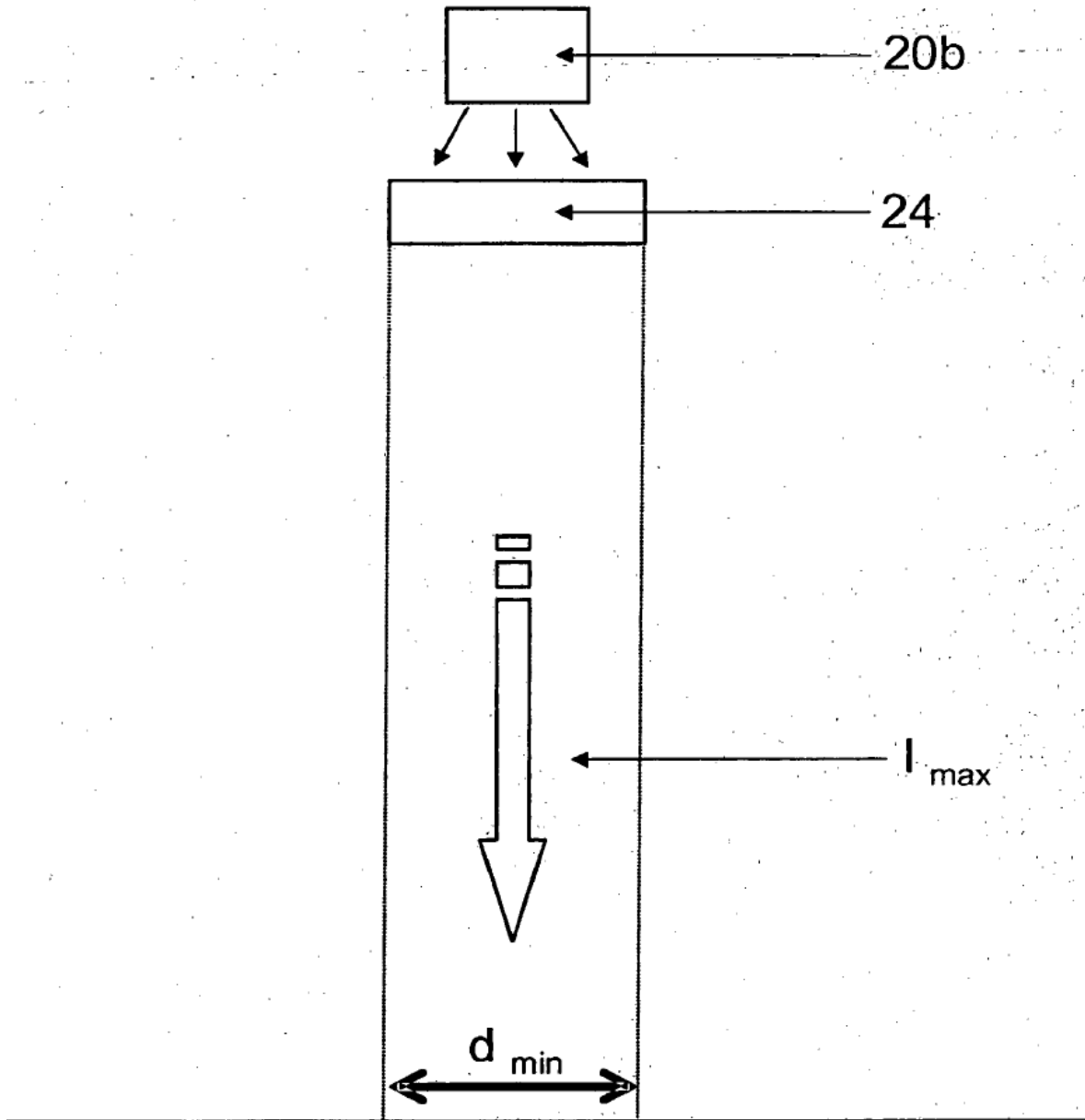
11. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que dicho difusor cromático está separado estructuralmente de dicha fuente de luz artificial.
- 5 12. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 11, en el que dicho difusor cromático es un panel (156) integrado en una pared de un edificio (158).
13. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 11, en el que dicha fuente de luz artificial está integrada dentro de una lámpara externa (150).
- 10 14. El dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, y en el que dicha fuente de luz artificial (120; 130; 140) y dicho difusor cromático (126; 136; 146) están configurados de manera que dicha dimensión longitudinal es mayor que dicha dimensión transversal.
- 15 15. El dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, y en el que dicha fuente de luz artificial (52) y dicho difusor cromático (56) están configurados de manera que dicha dimensión transversal es mayor que dicha dimensión longitudinal.



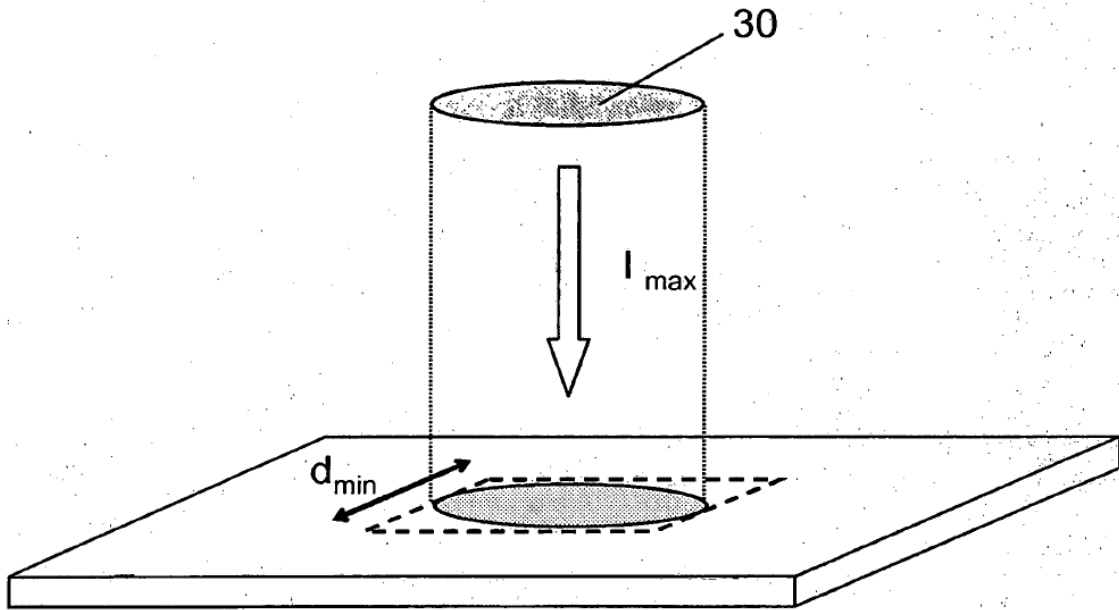
**FIG. 1**



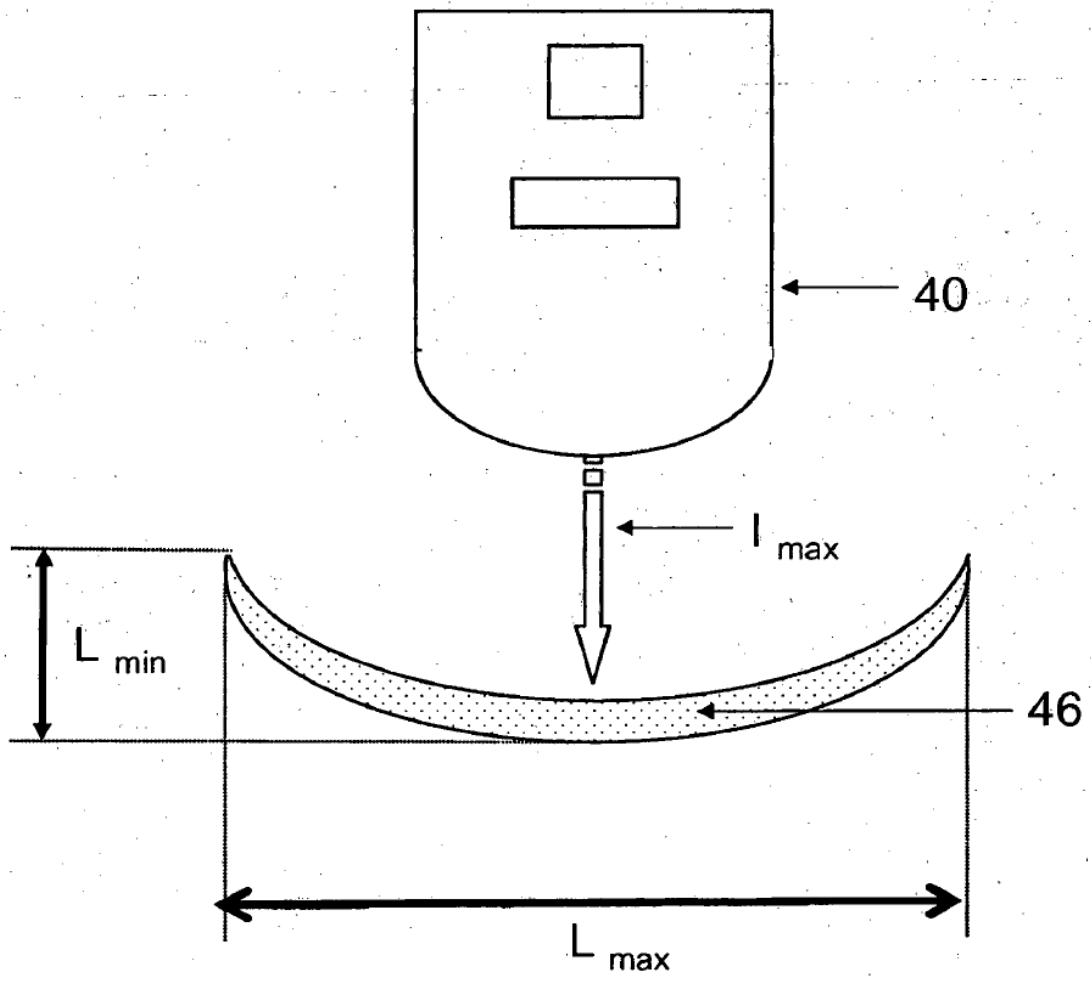
**FIG. 2A**



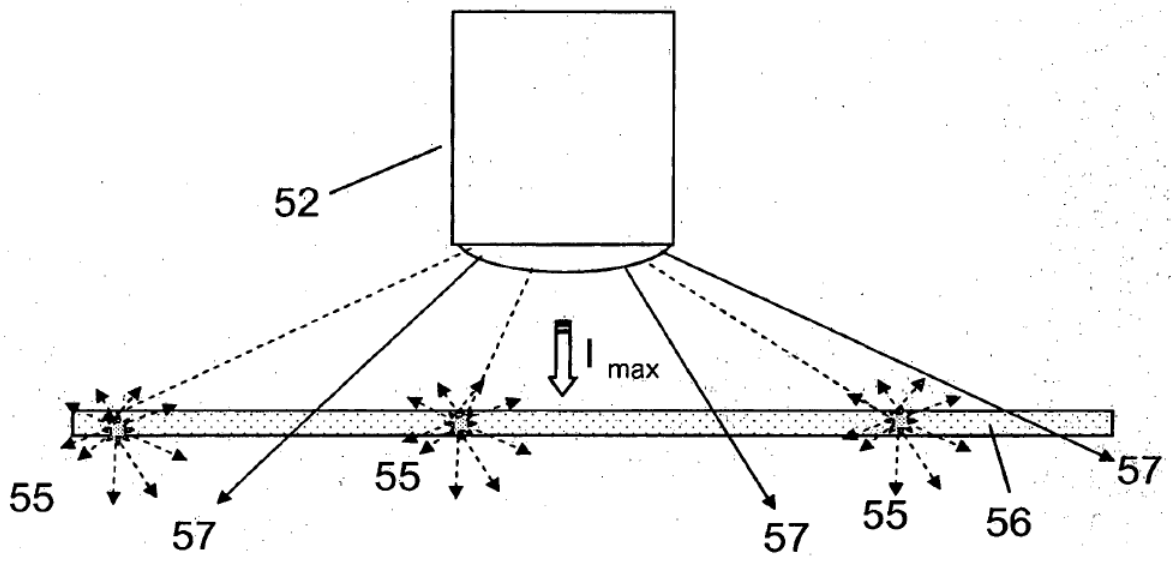
**FIG. 2B**



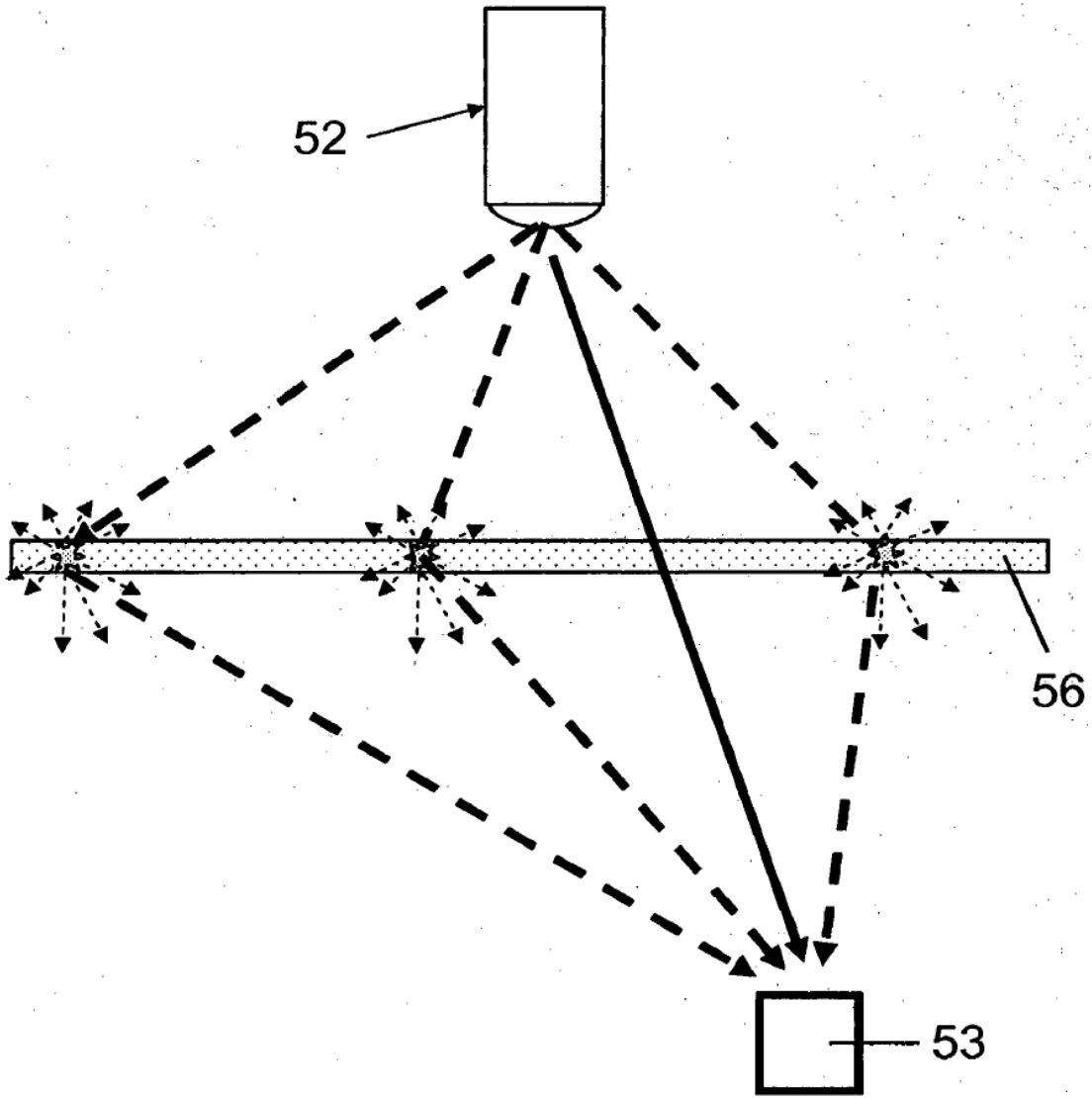
**FIG. 3**



**FIG. 4**

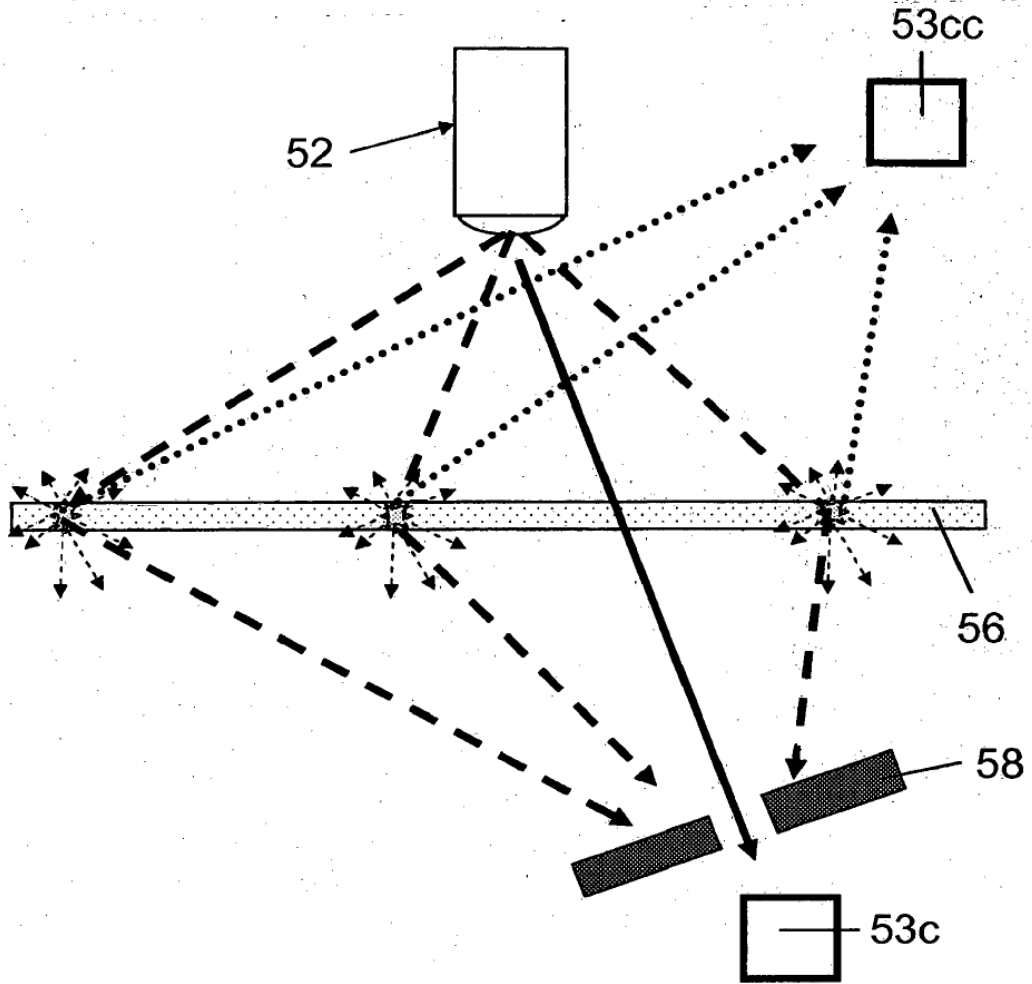


**FIG. 5A**

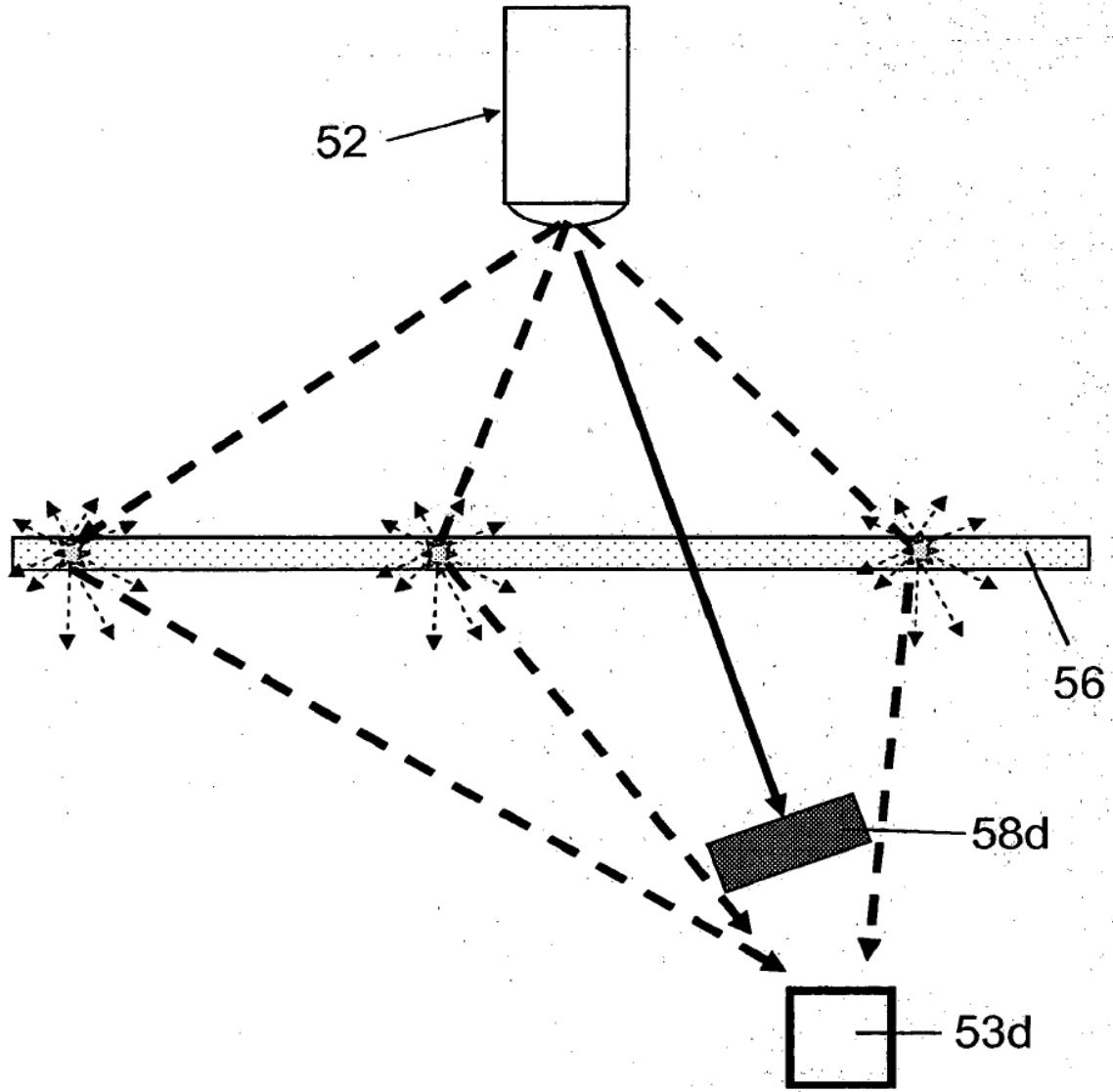


**FIG. 5B**

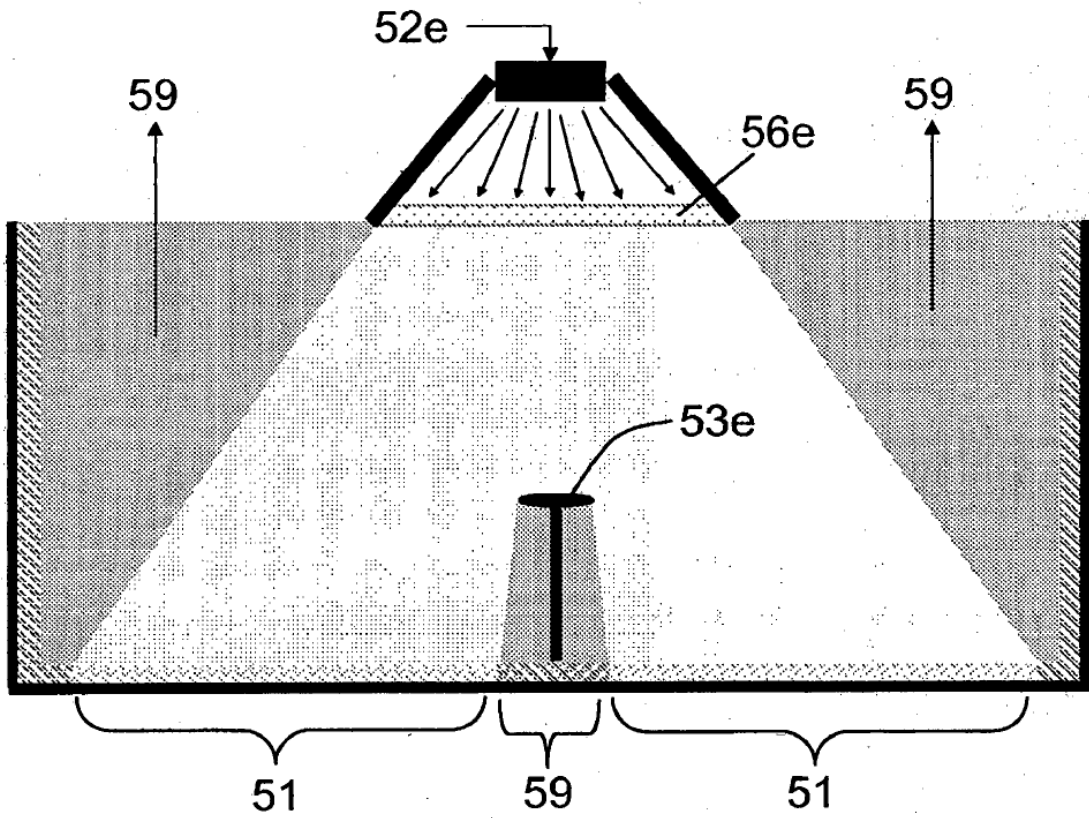




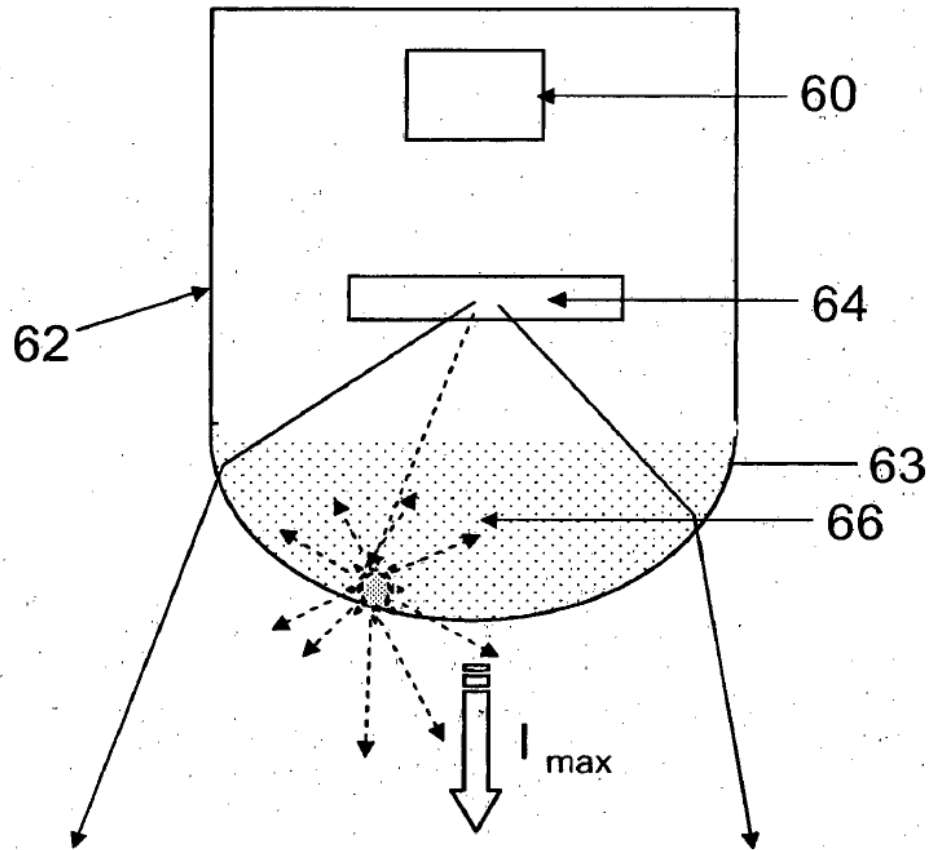
**FIG. 5C**



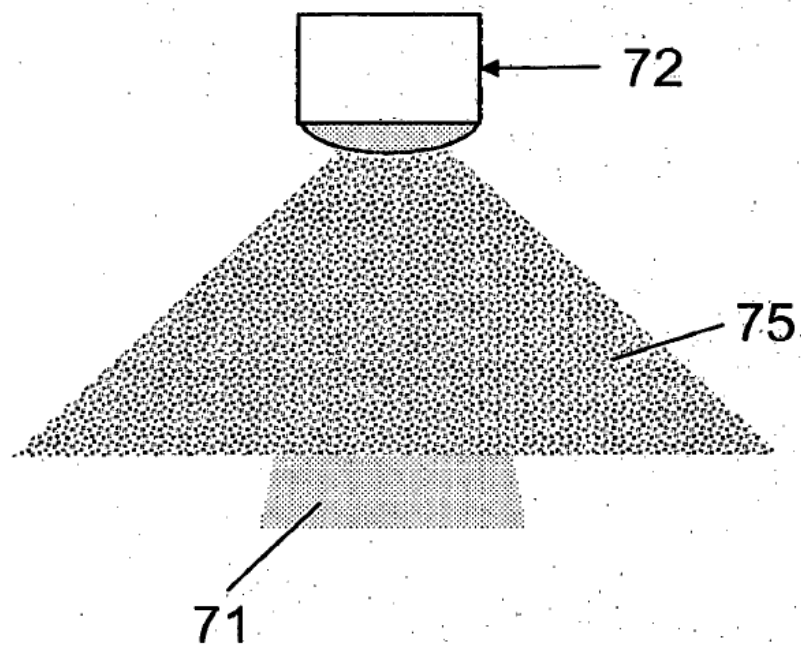
**FIG. 5D**



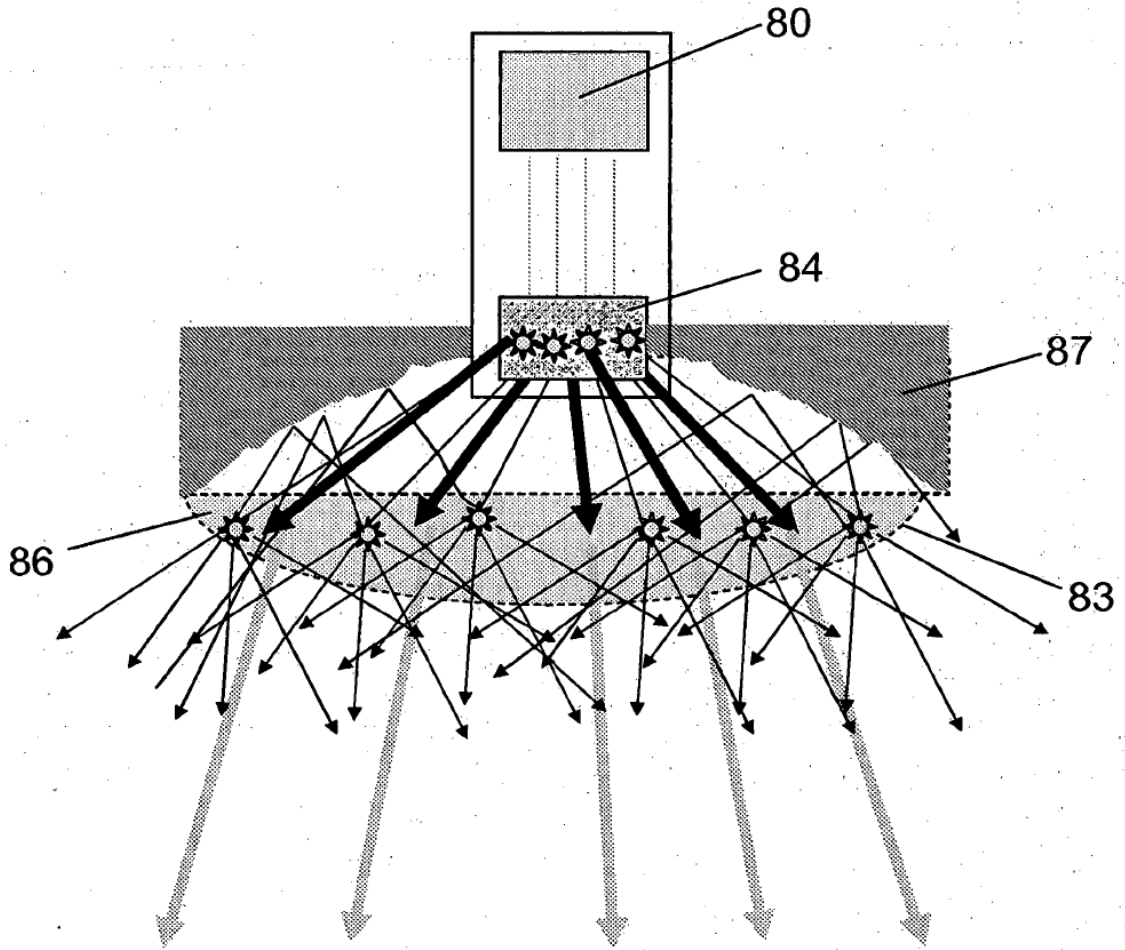
**FIG. 5E**



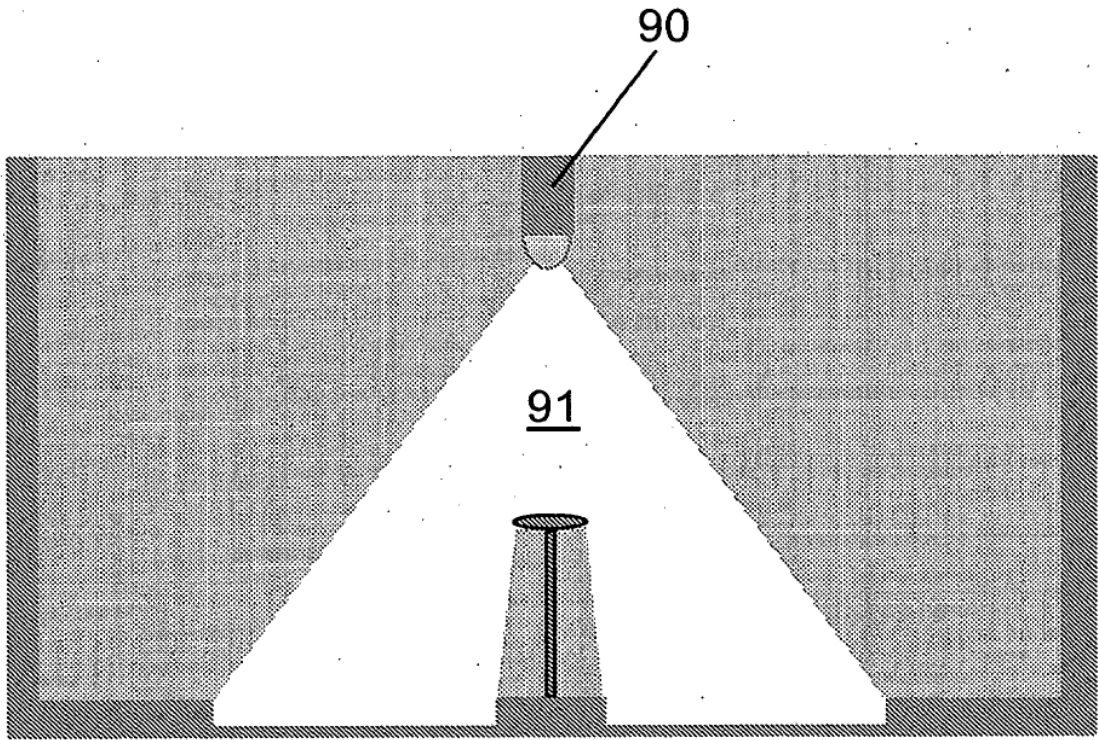
**FIG. 6**



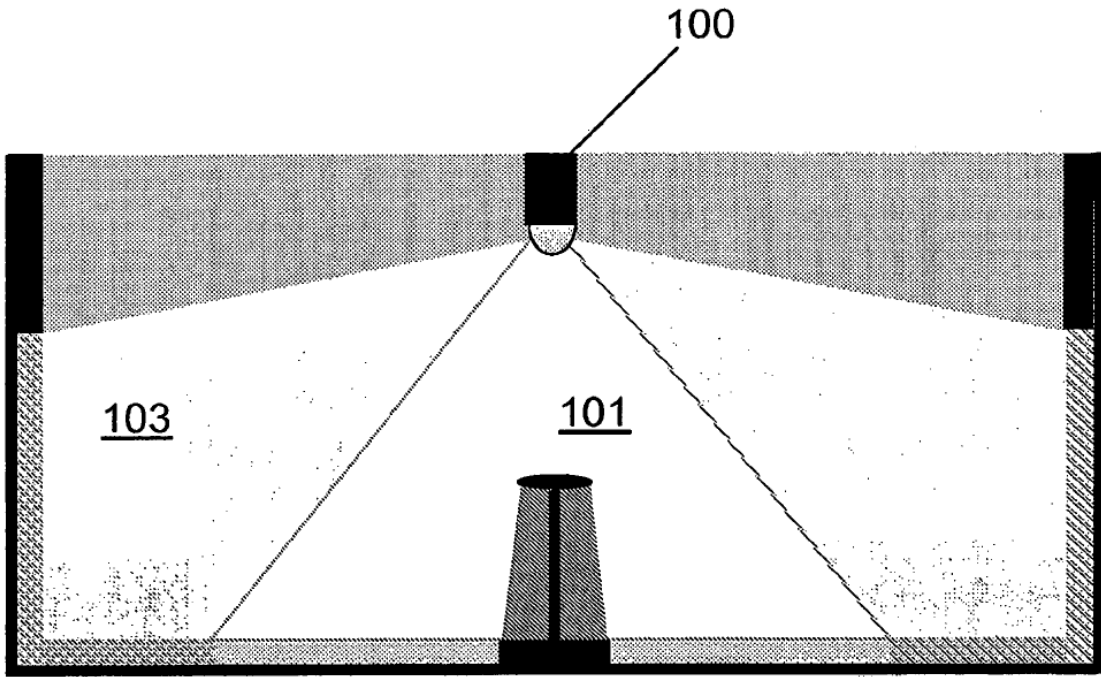
**FIG. 7**



**FIG. 8**

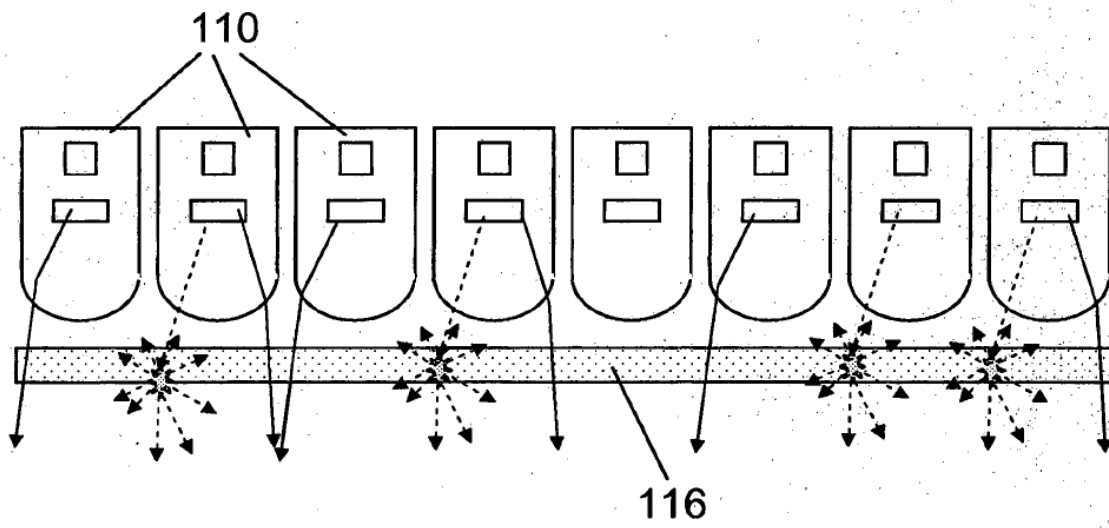


**FIG. 9**

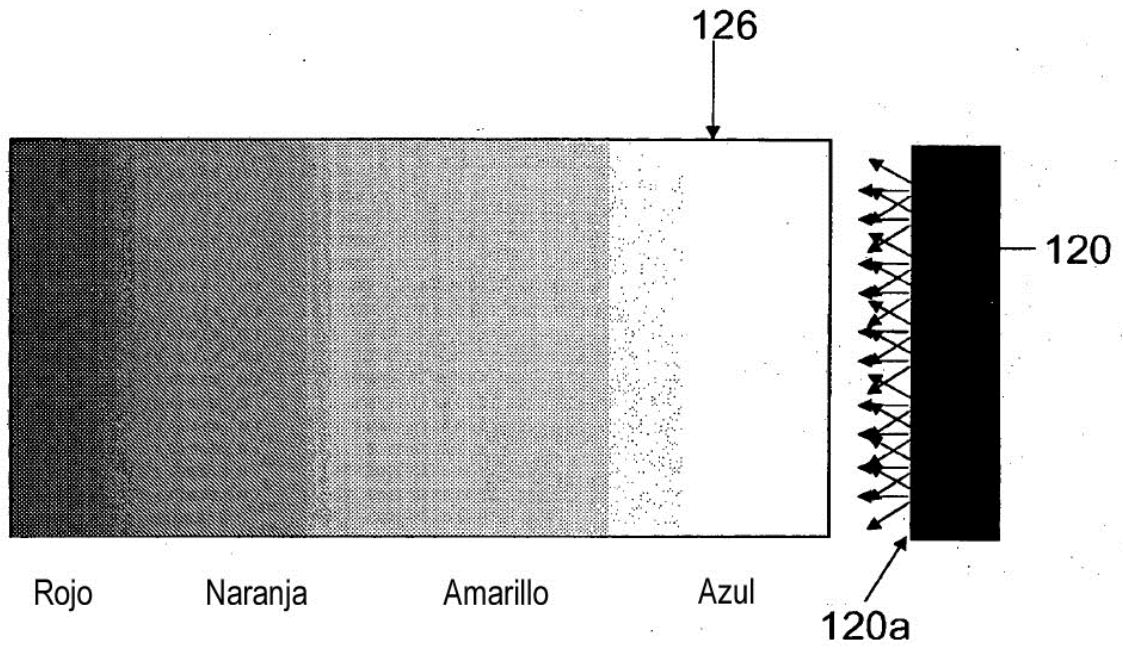


**FIG. 10**

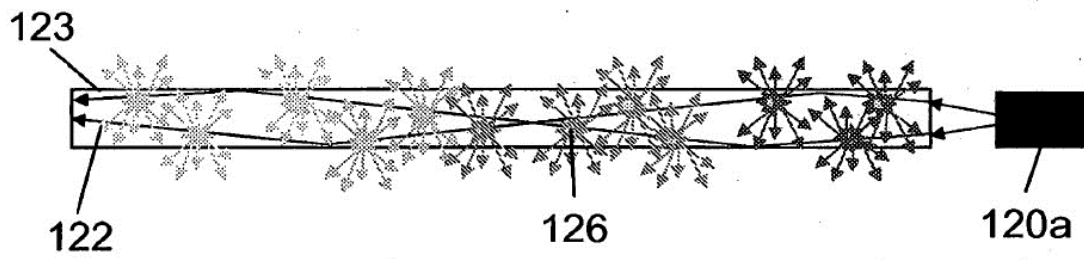




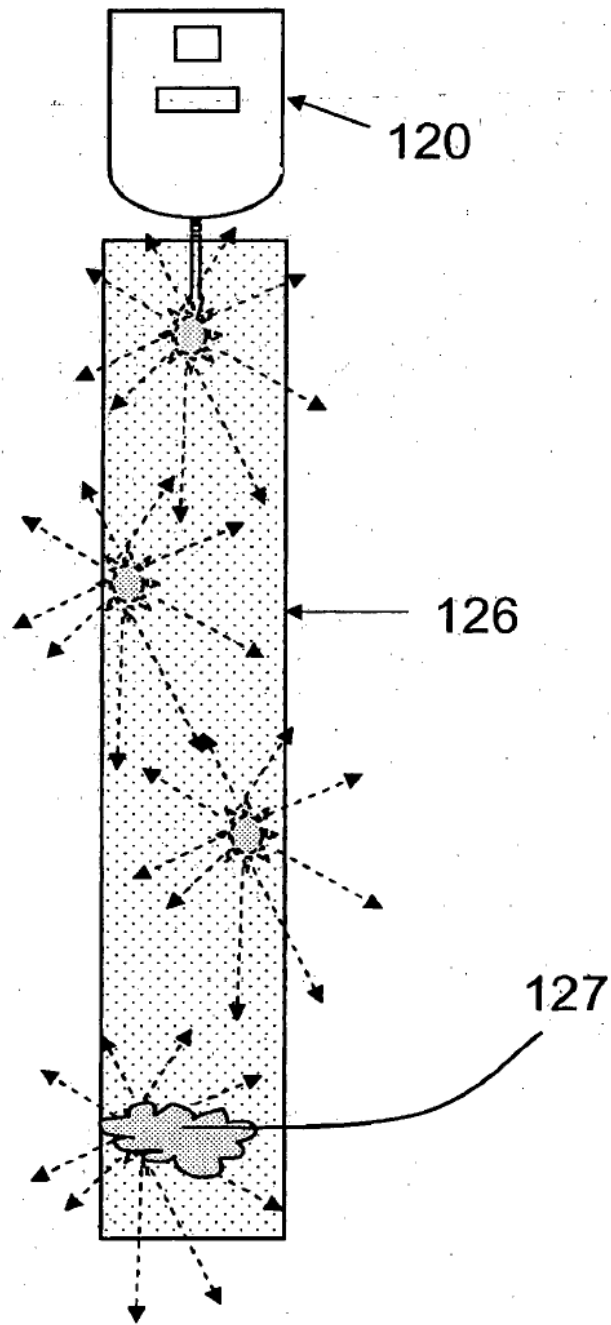
**FIG. 11**



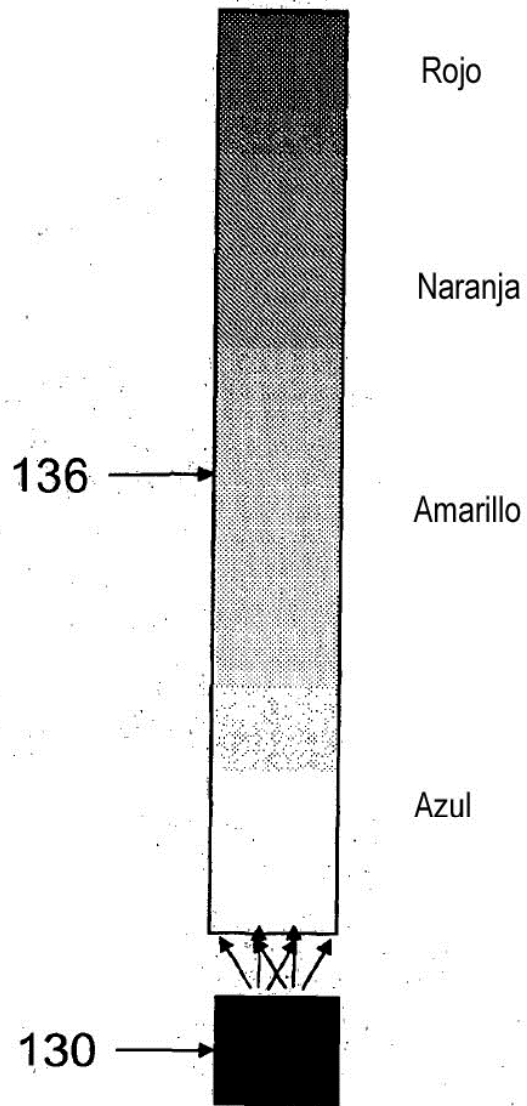
**FIG. 12A**



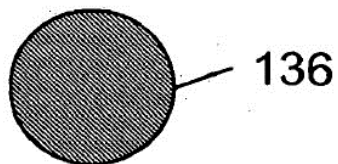
**FIG. 12B**



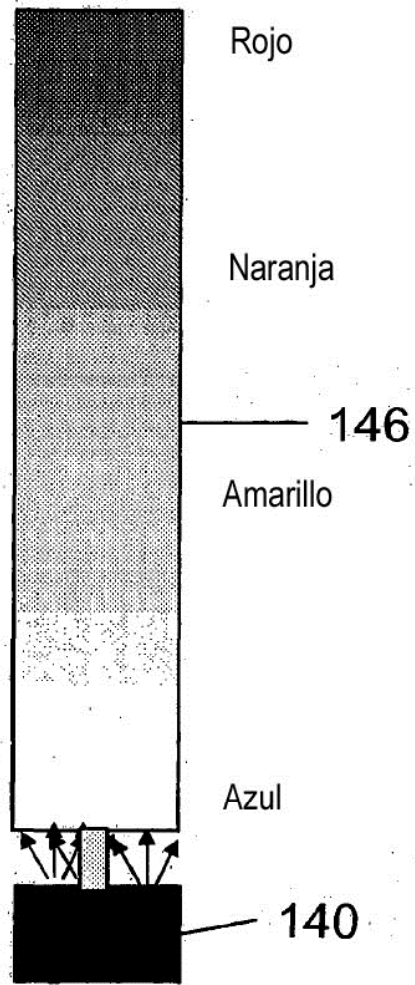
**FIG. 12C**



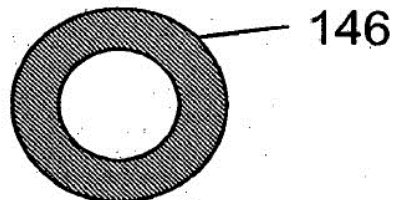
**FIG. 13A**



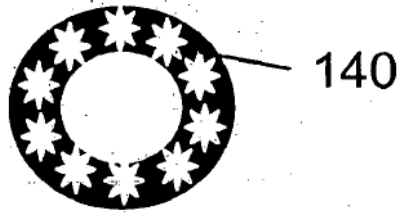
**FIG. 13B**



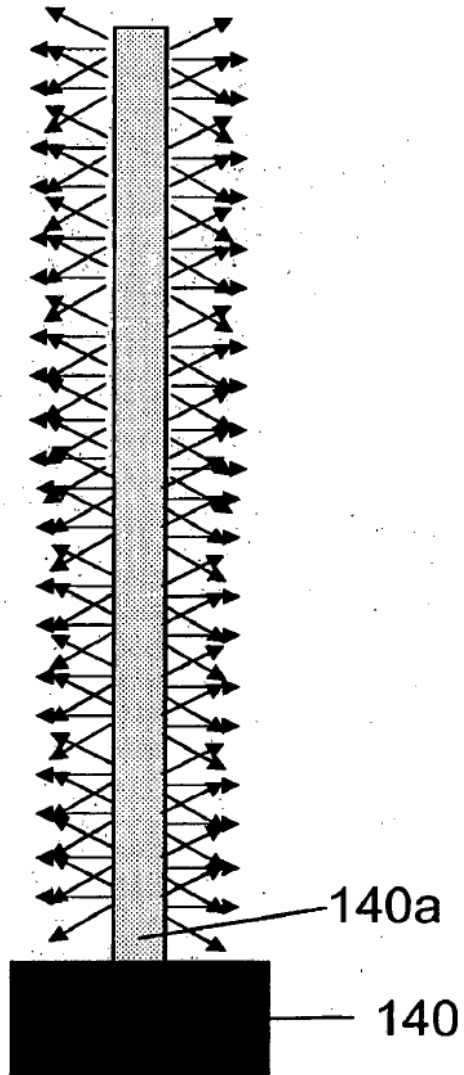
**FIG. 14A**



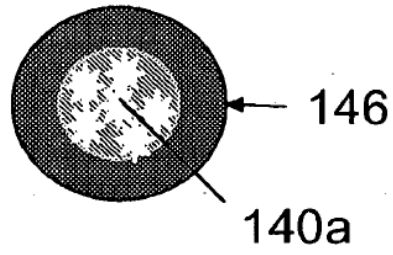
**FIG. 14B**



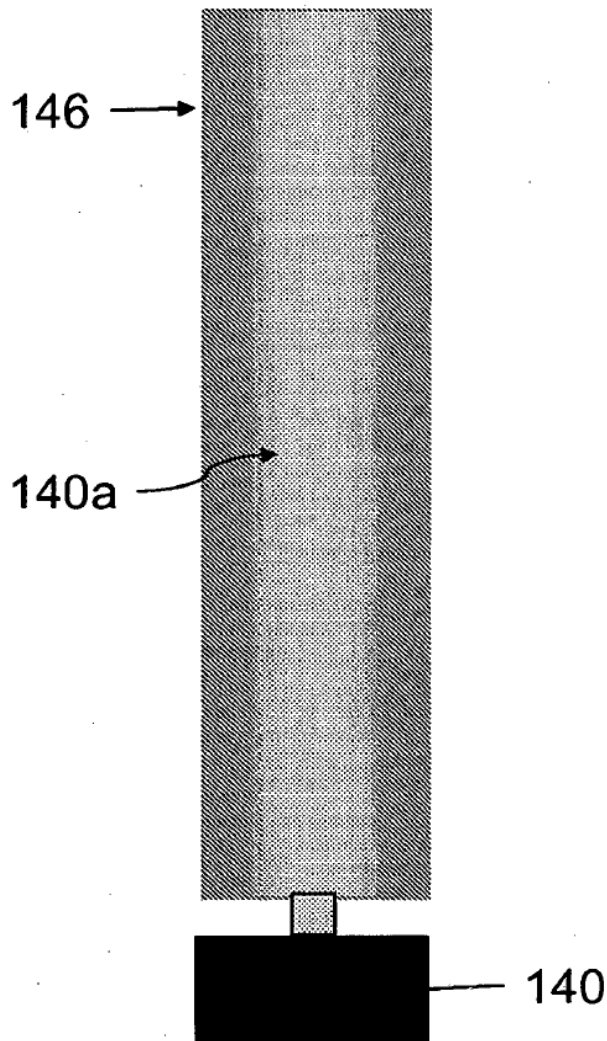
**FIG. 14C**



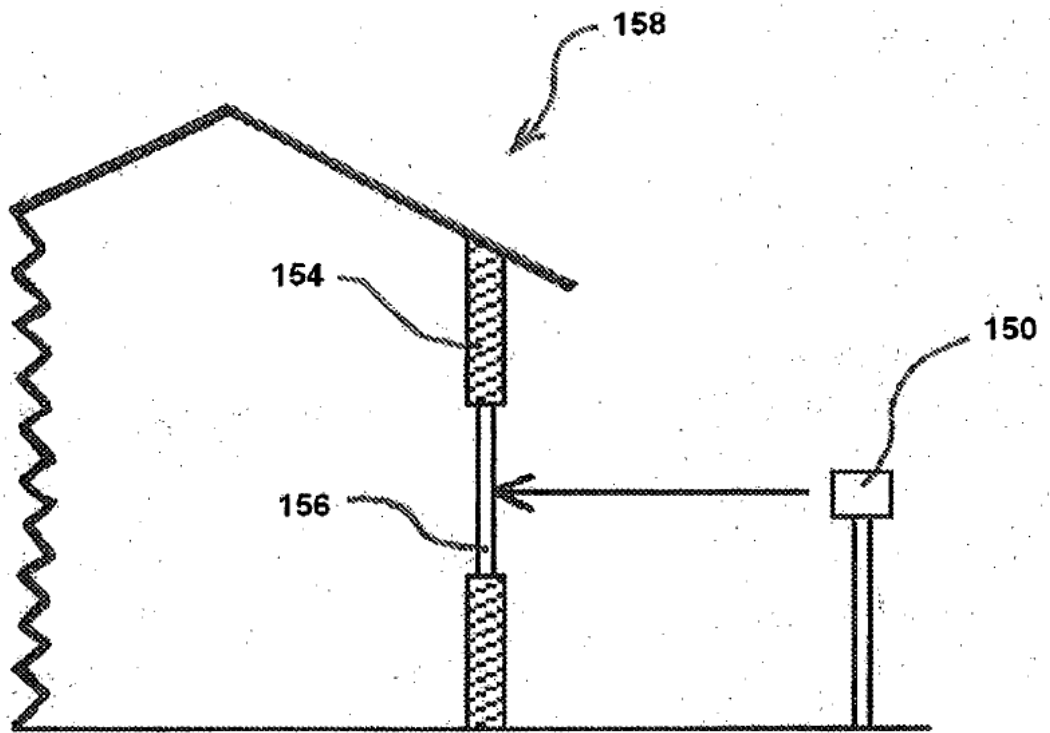
**FIG. 14D**



**FIG. 14E**



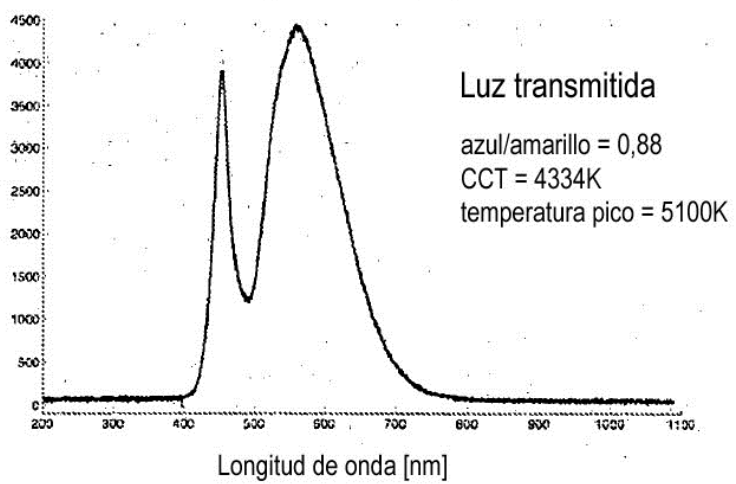
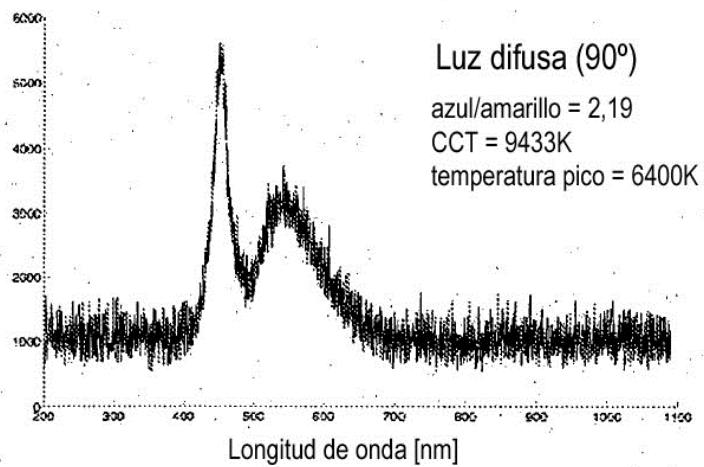
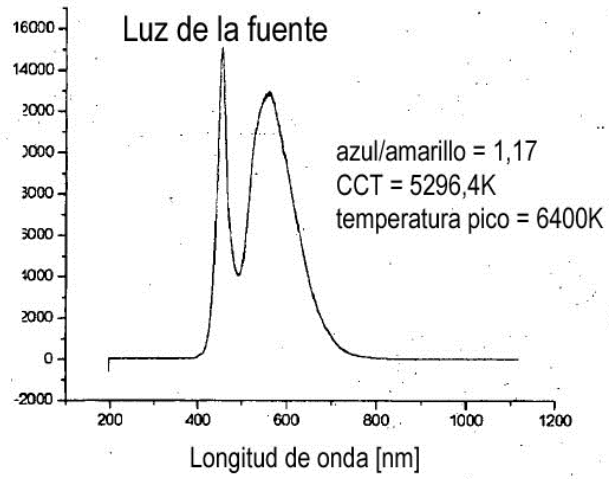
**FIG. 14F**



**FIG. 15**

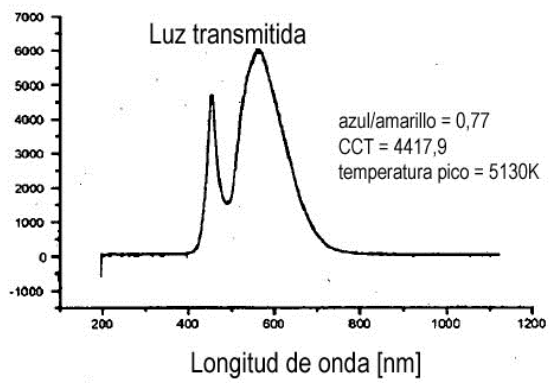
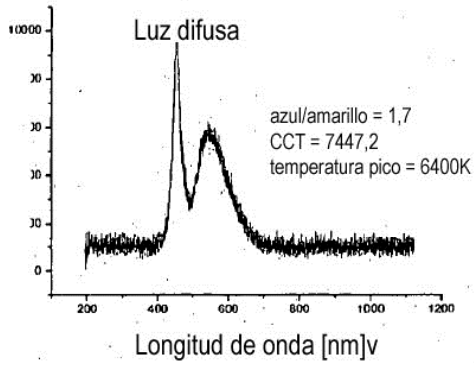
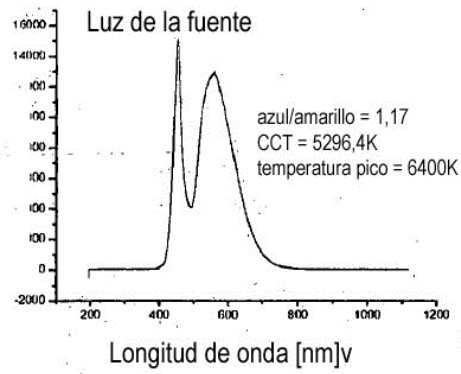


# Aereogel

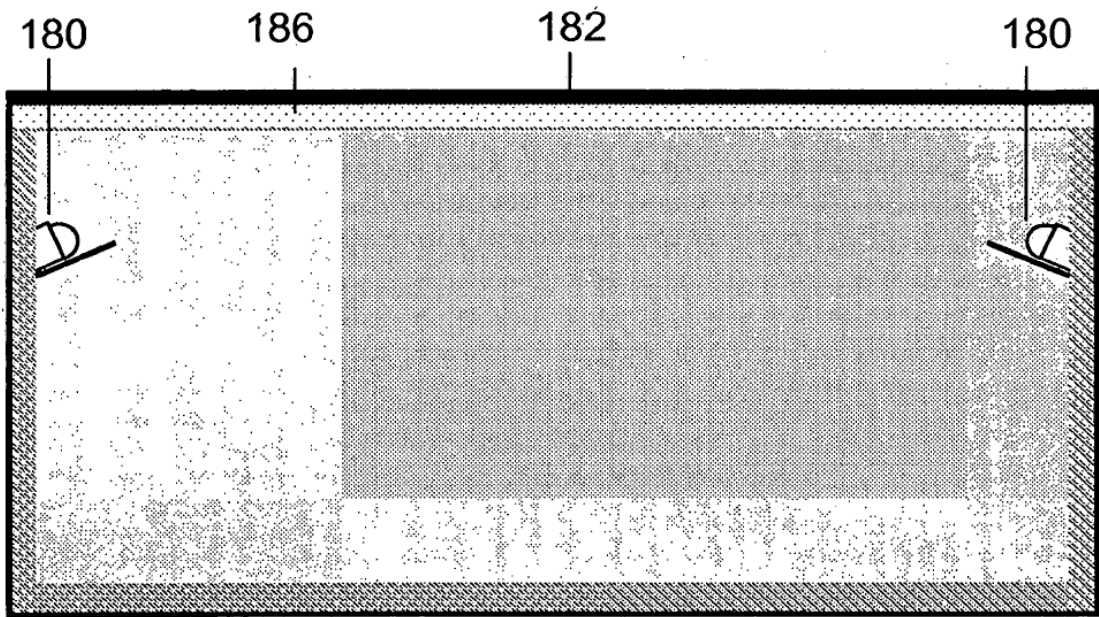


**FIG. 16**

PMMA-TiO<sub>2</sub>



**FIG. 17**



**FIG. 18**