

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 622 899**

51 Int. Cl.:

F21V 3/04	(2006.01)
E06B 7/28	(2006.01)
E04B 9/32	(2006.01)
F21S 8/02	(2006.01)
F21V 7/00	(2006.01)
F21W 121/00	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.11.2013 PCT/IB2013/060141**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.05.2014 WO14076656**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2013 E 13812144 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.01.2017 EP 2920508**

54 Título: **Sistema de iluminación artificial para simular una iluminación natural**

30 Prioridad:

14.11.2012 IT TO20120988
15.03.2013 US 201313838998

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.07.2017

73 Titular/es:

COELUX S.R.L. (100.0%)
Via Cavour 2, Polo Tecnologico ComoNEXt
22074 Lomazzo (CO), IT

72 Inventor/es:

DI TRAPANI, PAOLO y
MAGATTI, DAVIDE

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 622 899 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de iluminación artificial para simular una iluminación natural

5 Campo técnico

La invención se refiere a un sistema de iluminación artificial. En particular, la invención se refiere a un sistema de iluminación artificial que simula una iluminación natural. Tal sistema de iluminación puede iluminar una habitación en la que se inserta el mismo, con unos efectos muy similares a los efectos que tendrían lugar en la misma habitación si estuviera abierta una abertura con el cielo y el Sol más allá del mismo.

10

Antecedentes de la técnica

Se sabe que, a día de hoy, se encuentran disponibles unos sistemas de iluminación artificial para entornos cerrados (“en interiores”) que tienen por objeto mejorar la comodidad visual que es experimentada por los usuarios. En particular, se conocen sistemas de iluminación que simulan una iluminación natural, en concreto, el tipo de iluminación disponible en entornos a cielo abierto (“al aire libre”). Las bien conocidas características de la iluminación al aire libre dependen de la interacción entre los rayos de luz que son producidos por el Sol y la atmósfera de la Tierra.

15

20

En la solicitud de patente europea pendiente EP2304480, presentada por el solicitante de la presente invención, se describe un sistema de iluminación que comprende una fuente de luz, que tiene por objeto la producción de luz visible, y un panel que contiene nanopartículas. Cuando se encuentra en uso, el panel recibe rayos de luz que provienen de la fuente y actúa como un así denominado difusor de Rayleigh, en concreto, el mismo difunde los rayos de luz de forma similar a la atmósfera de la Tierra en condiciones de cielo despejado.

25

Se describen detalles adicionales en relación con el panel según la patente pendiente EP2304480 en la solicitud de patente europea pendiente EP2304478, presentada por el solicitante de la presente invención. Además, la solicitud de patente pendiente EP2304480 describe diversas realizaciones del panel así como diversas disposiciones del panel y la fuente de luz el uno con respecto a la otra, que tienen por objeto la simulación de diversas condiciones de iluminación natural, tales como, por ejemplo, las condiciones de iluminación que tienen lugar en la naturaleza en caso de un cielo despejado y i) Sol en el cenit o ii) Sol cerca del horizonte.

30

El sistema de iluminación que se describe en la solicitud de patente EP2304480 simula una iluminación natural ya que este genera, en el interior del entorno circundante, una luz directa con una baja Temperatura de Color Correlacionada (“CCT”, *Correlated Color Temperature*), que imita la luz del sol y genera sombras en presencia de objetos iluminados; asimismo, el sistema de iluminación que se describe en la solicitud de patente EP2304480 simula una iluminación natural ya que este arroja una luz difusa con una CCT alta, que imita la luz del cielo y genera sombras con un matiz de color azul. El sistema de iluminación que se divulga en el documento WO2012/140579 también describe un sistema de iluminación para simular una iluminación natural de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

35

40

No obstante, tal sistema de iluminación no reproduce a la perfección los efectos perceptivos que experimentaría un observador en presencia de una ventana que está orientada hacia el cielo. En particular, tal sistema de iluminación no lleva a un observador a experimentar la percepción visual de una profundidad de campo ilimitada.

45

Divulgación de la invención

Por lo tanto, la presente invención tiene por objeto la provisión de un sistema de iluminación capaz de solucionar las limitaciones del estado de la técnica, al menos en parte.

50

La invención proporciona un sistema de iluminación artificial tal como se expone en las reivindicaciones independientes, siendo algunas posibles implementaciones ventajosas el sujeto de las reivindicaciones dependientes.

55

Breve descripción de los dibujos

Para una mejor comprensión de la invención, por la presente se describen algunas realizaciones, meramente como ejemplos no limitantes y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

60

- las figuras 1, 2 y 7 muestran unas secciones transversales esquemáticas de algunas realizaciones del presente sistema de iluminación;
- la figura 3 muestra una sección transversal esquemática de un posible sistema de iluminación, diferente del presente sistema de iluminación;
- las figuras 4a y 4b muestran de forma esquemática unas vistas en perspectiva de unas fuentes de luz;
- las figuras 5a, 6 y 8 muestran de forma esquemática unas vistas en perspectiva de unas porciones del presente

65

sistema de iluminación;

- la figura 5b muestra una sección transversal de un elemento reflectante que está comprendido en la porción del sistema de iluminación que se muestra en la figura 5a;
- las figuras 9a y 10 muestran unas vistas en perspectiva de unas fuentes de luz;
- la figura 9b muestra una sección transversal de una porción de la fuente de luz que se muestra en la figura 9a;
- la figura 11 muestra una sección transversal de una porción de una realización del presente sistema de iluminación; y
- las figuras 12 - 15 muestran unas secciones transversales esquemáticas de unas porciones de realizaciones adicionales del presente sistema de iluminación.

En general, el solicitante de la presente invención percibió que la capacidad de un observador para evaluar la distancia de los objetos y, por lo tanto, la profundidad de campo de las vistas que constituyen un escenario tridimensional, se basa en múltiples mecanismos fisiológicos y psicológicos que están conectados con el enfoque, la convergencia binocular, el paralaje binocular, el paralaje de movimiento, la luminancia, el tamaño, el contraste, la perspectiva aérea, etc. Algunos mecanismos pueden ganar importancia en comparación con los otros de acuerdo tanto con las condiciones de observación (por ejemplo, si el observador se está moviendo o se encuentra estático, mirando con uno o dos ojos, etc.) como con las características del escenario, dependiendo estas últimas, por ejemplo, de si se encuentran presentes objetos con un tamaño, una distancia o una luminancia conocidos, que sirvan como una referencia para evaluar lo distante que se encuentra el elemento observado del escenario.

En particular, el solicitante de la presente invención percibió que un observador, el cual está contemplando un proyector de luz a través de una ventana, pierde la capacidad de estimar lo lejos que se encuentra el proyector cuando tal distancia es más alta que cinco metros (preferiblemente, siete metros), con la condición de que el segundo plano que rodea el proyector sea de color negro y uniforme. Cuando se satisfacen tales circunstancias, el observador no determina la distancia con respecto al proyector. La capacidad de estimar distancias se pierde debido a que i) es difícil un enfoque preciso de una fuente de luz cegadora, lo que evita que el observador use el mecanismo de enfoque para evaluar la distancia del objeto, y ii) la convergencia binocular es poco eficiente como un instrumento para la evaluación de distancias cuando el objeto se encuentra a más de cinco metros (preferiblemente, siete metros); además, la capacidad de estimar se pierde debido a que fallan los otros mecanismos psicofísicos que, por lo general, son válidos y eficientes en caso de distancias altas, siendo inhibidos por la ausencia de puntos de referencia adicionales.

El solicitante de la presente invención percibió adicionalmente que, cuando un panel de difusión de Rayleigh está interpuesto entre el observador y el proyector de luz, estando este último rodeado por un segundo plano de color negro y uniforme, se induce al observador a percibir el proyector de luz virtualmente a una distancia infinita con respecto al mismo. Más en particular, el efecto de percepción a una distancia infinita se obtiene siempre que el observador mire hacia el proyector de luz a través del panel de difusión de Rayleigh, y este último sea iluminado de forma plena y uniforme por el proyector, y la distancia real del proyector al observador sea de al menos cinco metros (preferiblemente, siete metros). Tal efecto se puede interpretar como una consecuencia de la así denominada "perspectiva aérea", un mecanismo de percepción que es inducido por el panel de difusión de Rayleigh. De hecho, el color y la intensidad de la luz que es dispersada por el panel de difusión de Rayleigh son virtualmente idénticos al color y la intensidad correspondientes de la luz del cielo, en la que la intensidad se evalúa como relativa a la intensidad de la luz transmitida. En particular, el así denominado mecanismo de perspectiva aérea se refiere a la presencia de una capa de aire que está interpuesta entre cualquier objeto y el observador; el color y la luminancia de tal capa de aire afectan a la estimación de la distancia del objeto al observador, siendo percibido el objeto por el observador como si se encontrara por detrás de la propia capa de aire; tal mecanismo es dominante a unas distancias altas o, hablando en términos generales, cuando los otros mecanismos psicofísicos para la evaluación de distancias están suprimidos o son poco eficientes.

El solicitante de la presente invención percibió adicionalmente que se induce al observador a percibir la luz que es emitida por el panel de difusión de Rayleigh como proveniente de una distancia virtualmente infinita, con la condición de que el proyector se encuentre en el interior del campo visual del observador. Tal efecto se puede interpretar al considerar que el panel de difusión de Rayleigh actúa como una fuente secundaria de radiación luminosa, y que el observador apenas puede evaluar su distancia con respecto al plano de emisión de tal radiación luminosa debido a la elevada uniformidad espacial de la propia radiación luminosa, que no proporciona punto de referencia visual alguno que considerar. Por lo tanto, la presencia del proyector de luz en el campo visual a una distancia (física) de cinco metros (preferiblemente, siete metros) afecta a la evaluación de la profundidad de campo de la totalidad del escenario al "arrastrar" la posición estimada del panel de difusión de Rayleigh más allá del umbral de percepción de distancia por medio de la convergencia binocular. Tal efecto está conectado con la luminancia del proyector de luz, y con el hecho de que, además del panel de difusión de Rayleigh, el proyector de luz es, en sí mismo, el único elemento espacialmente ubicado que es percibido por el observador. Básicamente, cuando están mirando hacia el panel de difusión de Rayleigh, los ojos del observador son obligados por el proyector de luz a disponerse a sí mismos como si los mismos estuvieran contemplando un objeto muy distante. Entonces, tal disposición de los ojos induce a la mente a inferir que el objeto en medio del campo visual, que es la luz que es emitida por el panel de difusión de Rayleigh, se encuentra muy lejos en comparación con la posición real del propio panel. Asimismo, el efecto de percibir una fuente de luz difusa a una gran distancia con respecto al observador se ve favorecido por el

hecho de que la luz que es dispersada por el panel de difusión de Rayleigh tiene el mismo color y luminancia (en comparación con la luz transmitida) típicos de la luz del cielo. Tal efecto, debido al mecanismo de perspectiva aérea que se ha mencionado en lo que antecede, es particularmente eficiente, dando lugar de ese modo a que el proyector de luz se percibiera a una distancia virtualmente infinita. El solicitante de la presente invención también percibió que el efecto descrito, que es la percepción visual de una profundidad de campo infinita (que se denomina de ahora en adelante “efecto de penetración”), tiene lugar con independencia de la dirección de observación a través del panel de difusión de Rayleigh.

Además, el solicitante de la presente invención percibió que la perspectiva aérea no puede, por sí sola, garantizar perfectamente el efecto de penetración, si el proyector de luz se encuentra en el exterior del campo visual, debido a que prevalecen otros mecanismos psicofísicos, tales como el enfoque de estrías o bordes del panel de difusión de Rayleigh.

Además, el solicitante de la presente invención percibió que el efecto de penetración que se ha mencionado en lo que antecede se reduce siempre que el proyector de luz esté colocado junto al panel de difusión de Rayleigh, por ejemplo, sin espejo o lente alguno para alejar su imagen virtual. De hecho, la distancia del proyector de luz sería, en este caso, fácilmente estimada por el observador, lo que limitaría la profundidad de campo en la totalidad del escenario a pesar de la contribución de la perspectiva aérea. De forma similar, el solicitante de la presente invención percibió que el efecto de penetración que se ha mencionado en lo que antecede se reduce siempre que el proyector de luz no esté rodeado por un segundo plano de color negro y uniforme. De hecho, un observador puede determinar la distancia con respecto a un segundo plano que no sea un segundo plano de color negro y uniforme, limitando de ese modo la profundidad de campo de la totalidad del escenario, a pesar de la contribución de la perspectiva aérea.

Mejor modo para llevar a cabo la invención

Habiéndose expuesto lo anterior, la figura 1 muestra un sistema de iluminación artificial 1, al que se hará referencia de ahora en adelante de forma concisa como el sistema de iluminación 1.

Con detalle, el sistema de iluminación 1 comprende una primera fuente de luz 2, preferiblemente direccional, es decir, que está diseñada para emitir luz en un ángulo sólido de emisión más pequeño que 4π sr. Además, la primera fuente de luz 2 emite luz en la región visible del espectro, es decir, teniendo unas longitudes de onda entre 400 nm y 700 nm. Además, la primera fuente de luz 2 emite luz (radiación electromagnética visible) con una anchura espectral $\Delta\lambda$ preferiblemente más alta que 100 nm, más preferiblemente más alta que 170 nm. La anchura espectral $\Delta\lambda$ se puede definir como la desviación típica del espectro de longitudes de onda de la primera fuente de luz.

El sistema de iluminación 1 también incluye un primer panel de difusión 4 que, por ejemplo, está conformado como un paralelepípedo. En particular, el primer panel de difusión 4 está delimitado por una primera superficie S_1 y por una segunda superficie S_2 , paralelas entre sí; preferiblemente, el primer panel de difusión 4 es delgado, es decir, su espesor w , que se mide a lo largo de una dirección perpendicular con respecto a la primera y la segunda superficies S_1 , S_2 , tiene un valor cuadrático no más alto que un 5 %, preferiblemente un 1 %, del área de la primera y la segunda superficies S_1 , S_2 .

Más en particular, en la realización que se muestra en la figura 1, el primer panel de difusión 4 funciona como un así denominado difusor de Rayleigh, es decir, como un panel que sustancialmente no absorbe luz en el intervalo visible y que difunde de forma más eficiente la longitud de onda corta con respecto a las componentes de longitud de onda larga de la luz incidente, por ejemplo, un panel que sustancialmente no absorbe luz en el intervalo visible y que difunde los rayos de luz de longitud de onda $\lambda = 450$ nm (color azul) al menos 1,2 veces, preferiblemente al menos 1,4 veces, más preferiblemente al menos 1,6 veces más eficientemente que los rayos de luz de longitud de onda $\lambda = 650$ nm (color rojo), en donde la eficiencia de difusión es dada por la relación de la potencia radiante de la luz difusa con respecto a la potencia radiante de la luz incidente. También se describen con detalle las propiedades ópticas y las características microscópicas de los difusores de tipo Rayleigh en la solicitud de patente EP2304478 del mismo solicitante de la presente invención. En lo sucesivo también se proporciona una comprensión adicional de las características microscópicas.

En la realización que se muestra en la figura 1, la primera fuente de luz 2 está alineada en sentido vertical con el primer panel de difusión 4, es decir, esta se encuentra a lo largo de un eje H, que es perpendicular con respecto a la primera y la segunda superficies S_1 , S_2 y pasa a través del baricentro de estas últimas (en la figura 1, el baricentro de la primera superficie S_1 se designa con 0). En general, excepto cuando se exponga lo contrario, en la presente descripción, el término “baricentro” se entiende en su aceptación geométrica, en lugar de su aceptación física (el centro de masas), por lo tanto este también es aplicable a superficies planas y, de todos modos, a objetos que tienen un espesor sustancialmente infinitesimal. Por lo tanto, el término “baricentro” se ha de interpretar como “centro geométrico” o “centroide” y este coincide, dado un objeto (o superficie) que tiene un espesor infinitesimal, con el centro de masas de este último, que se calcula con la suposición de que el objeto tiene una densidad uniforme y, de forma precisa, un espesor infinitesimal. Además, la primera fuente de luz 2 ilumina completamente el primer panel de difusión 4. Algunas realizaciones en las que la primera fuente de luz 2 está dispuesta desplazada con respecto al eje con respecto al baricentro de la primera y la segunda superficies S_1 , S_2 son, no obstante,

posibles, tal como se describe en lo sucesivo.

El sistema de iluminación 1 está ópticamente acoplado con un entorno, por ejemplo, una habitación 6 que está conformada como un paralelepípedo y que está delimitada por una pared inferior P_1 , una pared superior P_2 y cuatro paredes laterales P_1 . En particular, sin pérdida de generalidad, se supone que la pared superior P_2 tiene una cavidad 8, que tiene, vista desde arriba, la misma forma que el primer panel de difusión 4 y que está llena en su totalidad por este último. En cualquier caso, la presente invención no se limita a la forma y/o la disposición de la cavidad 8; como un ejemplo, de acuerdo con realizaciones adicionales (que no se muestran), la cavidad se puede formar dentro de una pared lateral. Además, la presente invención no se limita a usarse en espacios en interiores; por lo tanto, son posibles algunas realizaciones en las que el dispositivo de iluminación 1 se usa como un sistema para iluminación diurna exterior durante la noche. Por lo tanto, el sistema de iluminación 1 se puede acoplar con un entorno al aire libre, es decir, un entorno equivalente a una habitación, las paredes del cual o bien son de color negro o están dispuestas a una distancia infinitamente grande.

El sistema de iluminación 1 comprende un elemento de soporte 10 que delimita, junto con la primera superficie S_1 del primer panel de difusión 4, un volumen externo V que es externo con respecto a la habitación 6; la primera fuente de luz 2 está colocada en el interior del volumen externo V . A pesar de que no se muestran, son posibles algunas realizaciones en las que el elemento de soporte 10 está acoplado mecánicamente con la habitación 6 de una forma tal que el volumen externo V está delimitado al menos en parte también por una pared de la habitación 6, como un ejemplo, la pared superior P_2 .

El elemento de soporte 10 está revestido internamente por una capa interna 12, que se hace de un material capaz de absorber la radiación luminosa incidente; tal material es, por ejemplo, un material con color negro y un coeficiente de absorción más alto que un 70 %, preferiblemente más alto que un 90 %, lo más preferiblemente más alto que un 95 %, incluso lo más preferiblemente más alto que un 97 % en el intervalo visible. La capa interna 12 tiene por objeto la absorción de la radiación incidente que, por ejemplo, proviene directamente de la primera fuente de luz 2, o de los procesos de reflexión y/o de dispersión por parte del primer panel de difusión 4, o de la habitación 6 a través del primer panel de difusión 4. Preferiblemente, el volumen V está revestido internamente por la capa interna 12 en su totalidad, con la excepción de la primera superficie S_1 del primer panel de difusión 4. Dicho de otra forma, el elemento de soporte 10 y la capa interna 12 definen un tipo de caja (o cámara) oscura, en donde el término "oscuro" se refiere a una condición de poca iluminación y/o a la capacidad de absorber la luz, con el fin de hacer la caja apenas visible, tal como se describe en lo sucesivo en el presente documento; por lo tanto, en lo sucesivo, también se hará referencia a una caja oscura 10. La luz puede entrar en / salir de la caja oscura solo a través del primer panel de difusión 4.

Haciendo referencia de nuevo al primer panel de difusión 4, y suponiendo un haz de luz que es generado por una fuente de iluminación de tipo punto según la norma D65 de la CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage*, Comisión Internacional de Iluminación) a una gran distancia con respecto al primer panel de difusión 4 (por lo tanto, un haz que está constituido por unos rayos de luz paralelos unos con respecto a otros) y que está orientado en perpendicular con respecto a la primera superficie S_1 , el primer panel de difusión 4 separa tal haz en cuatro componentes, en particular en:

- una componente transmitida, que está formada por los rayos de luz que pasan a través del primer panel de difusión 4 y no experimentan unas desviaciones significativas, es decir, por los rayos de luz que experimentan una desviación más pequeña que $0,1^\circ$, con un flujo luminoso que es una fracción T_{directo} del flujo luminoso global incidente sobre el primer panel de difusión 4;
- una componente difusa hacia delante, que está formada por los rayos de luz que salen de la segunda superficie S_2 a lo largo de unas direcciones que están distribuidas en torno a una dirección perpendicular con respecto a la segunda superficie S_2 (con la excepción de tal dirección perpendicular y de las direcciones que difieren de tal dirección perpendicular en un ángulo más pequeño que $0,1^\circ$), con un flujo luminoso que es una fracción $T_{\text{dispersado}}$ del flujo luminoso global incidente sobre el primer panel de difusión 4;
- una componente difusa hacia detrás, que está formada por los rayos de luz que salen de la primera superficie S_1 a lo largo de unas direcciones que están distribuidas en torno a una dirección perpendicular con respecto a la primera superficie S_1 (con la excepción de tal dirección perpendicular y de las direcciones que difieren de tal dirección perpendicular en un ángulo más pequeño que $0,1^\circ$), con un flujo luminoso que es una fracción $\rho_{\text{dispersado}}$ del flujo luminoso global incidente sobre el primer panel de difusión 4; y
- una componente reflejada, que está formada por los rayos de luz que salen de, o que se originan en, la primera superficie S_1 a lo largo de una dirección con un ángulo de espejo (por ejemplo, perpendicular, o que difieren de la perpendicular en un ángulo más pequeño que $0,1^\circ$, en el presente caso) con respecto de la primera superficie S_1 , con un flujo luminoso que es una fracción ρ_{directo} del flujo luminoso global incidente sobre el primer panel de difusión 4.

Habiéndose expuesto lo anterior, las propiedades ópticas del primer panel de difusión 4 son de tal modo que:

- $T_{\text{dispersado}}$ se encuentra dentro del intervalo de 0,05 - 0,5, preferiblemente 0,07 - 0,4, más preferiblemente 0,1 - 0,3, aún más preferiblemente 0,15 - 0,25;

- la temperatura de color correlacionada ("CCT", *Correlated Color Temperature*) promedio $CCT_{T_{dispersado}}$ de la componente difusa hacia delante es significativamente más alta que la temperatura de color correlacionada promedio $CCT_{T_{directo}}$ de la componente transmitida, en concreto, $CCT_{T_{dispersado}} > h * CCT_{T_{directo}}$ con $h = 1,2$, preferiblemente $h = 1,3$, más preferiblemente $h = 1,5$;
- 5 - el primer panel de difusión 4 no absorbe de forma significativa la luz incidente, en concreto, la suma $T_{directo} + T_{dispersado} + \rho_{directo} + \rho_{dispersado}$ es al menos igual a 0,8, preferiblemente 0,9, más preferiblemente 0,95, aún más preferiblemente 0,97;
- el primer panel de difusión 4 dispersa en su mayor parte hacia delante, en concreto, $T_{dispersado} > \eta * \rho_{dispersado}$, en la que η es al menos igual a 1,1, preferiblemente $\eta = 1,3$, más preferiblemente $\eta = 1,5$, aún más preferiblemente $\eta = 2$; y
- 10 - el primer panel de difusión 4 tiene una baja reflexión, en concreto, $\rho_{directo} < 0,09$, preferiblemente $< 0,06$, más preferiblemente $< 0,03$, aún más preferiblemente $< 0,02$. Con mayor detalle, el primer panel de difusión 4 comprende una matriz sólida de un primer material (por ejemplo, una resina que tiene una excelente transparencia óptica, tal como resinas termoplásticas, resinas termoestables, resinas fotocurables, resinas acrílicas, resinas epoxídicas, resinas de poliéster, resinas de poliestireno, resinas de poliolefina, resinas de poliamida, resinas de poliimida, resinas de poli(alcohol vinílico), resinas de butiral, resinas a base de flúor, resinas de acetato de vinilo, o plásticos tales como policarbonato, polímeros de cristal líquido, polifenilén éter, polisulfona, poliéter sulfona, poliarilato, poliolefina amorfa, o mezclas o copolímeros de los mismos), en la que están dispersadas unas nanopartículas de un segundo material (por ejemplo, un óxido inorgánico tal como ZnO, TiO₂, ZrO₂, SiO₂, Al₂O₃), teniendo este segundo material un índice de refracción diferente del índice de refracción del primer material. Tanto el primer como el segundo material básicamente no absorben radiación electromagnética en el intervalo de longitud de onda visible.

Además, en la realización que se muestra en la figura 1, el primer panel de difusión 4 es uniforme, en el sentido de que, dado cualquier punto del primer panel de difusión 4, las características físicas del primer panel de difusión 4 en ese punto no dependen del punto en sí. Además, el primer panel de difusión 4 es monolítico, en concreto, la matriz sólida no presenta discontinuidad alguna debida al encolado o acoplamiento mecánico. Tales características del primer panel de difusión 4 no son, no obstante, necesarias para los fines de la presente invención, a pesar de que estas hacen que el primer panel de difusión 4 sea más fácil de fabricar.

Más en particular, las nanopartículas pueden estar monodispersadas. Las nanopartículas pueden estar conformadas de forma esférica o estar conformadas de otro modo. El diámetro eficaz D de las nanopartículas (para una definición en el caso de una forma no esférica, véase en lo sucesivo) cae dentro del intervalo de [5 nm - 350 nm], preferiblemente [10 nm - 250 nm], más preferiblemente [40 nm - 180 nm], aún más preferiblemente [60 nm - 150 nm], en donde el diámetro eficaz D es dado por el diámetro de las nanopartículas por el índice de refracción del primer material.

Además, las nanopartículas están distribuidas en el interior del primer panel de difusión 4 de tal modo que su densidad de área, en concreto, el número N de nanopartículas por metro cuadrado, es decir, el número de nanopartículas dentro de un elemento de volumen que está delimitado por una porción de la primera superficie S_1 que tiene un área de 1 m^2 , satisface la condición $N \geq N_{\min}$, en la que:

$$N_{\min} = v \frac{10^{-29}}{D^6} \cdot \left| \frac{m^2 + 2}{m^2 - 1} \right|^2$$

45 en la que v es una constante dimensional igual a 1 m^6 , N_{\min} se expresa como un número / metro², el diámetro eficaz D se expresa en metros y en la que m es igual a la relación del índice de refracción del segundo material con respecto al índice de refracción del primer material.

Preferiblemente, las nanopartículas están distribuidas de forma homogénea, al menos en lo que respecta a la densidad de área, es decir, la densidad de área es sustancialmente uniforme sobre el primer panel de difusión 4, pero la distribución de nanopartículas puede variar a lo largo de una dirección perpendicular con respecto a la primera y la segunda superficies S_1 , S_2 . La densidad de área varía, por ejemplo, en menos de un 5 % de la densidad de área media. En el presente caso, la densidad de área se prevé como una cantidad que se define a lo largo de unas áreas más grandes que $0,25 \text{ mm}^2$.

55 Como alternativa, son posibles algunas realizaciones en las que varía la densidad de área, con el fin de compensar las diferencias de iluminación a lo largo del primer panel de difusión 4, como si estuviera iluminado por la primera fuente de luz 2. Por ejemplo, la densidad de área $N(x, y)$ en el punto (x, y) dentro de S_1 puede estar relacionada con la iluminancia $I(x, y)$ que es producida por la primera fuente de luz 2 en el punto (x, y) por medio de la ecuación $N(x, y) = N_{\text{prom}} * I_{\text{prom}} / I(x, y) \pm 5 \%$, en la que N_{prom} e I_{prom} son la iluminancia y la densidad de área promediadas, promediándose estas últimas cantidades a lo largo de la primera superficie S_1 . En este caso, la luminancia del primer panel de difusión 4 se iguala sobre el primer panel de difusión 4, a pesar de la falta de uniformidad del perfil de iluminancia de la primera fuente de luz 2 sobre el primer panel de difusión 4. A este respecto, se recuerda que la

luminancia es el flujo luminoso de un haz que emana de una superficie (o que cae sobre una superficie) en una dirección dada, por unidad de área proyectada de la superficie tal como se observa desde la dirección dada, y por unidad de ángulo sólido, tal como se notifica, como un ejemplo, en la norma E284-09a de ASTM (*American Society for Testing and Materials*, Sociedad Americana para la Realización de Ensayos y Materiales).

En el límite de un D pequeño y unas fracciones de volumen pequeñas (es decir, paneles gruesos), se espera que una densidad de área $N \approx N_{\min}$ produzca una eficiencia de dispersión de aproximadamente un 5 %. A medida que el número de nanopartículas por unidad de área se hace más alto, se espera que la eficiencia de dispersión crezca de forma proporcional a N , hasta que tienen lugar múltiples dispersiones o interferencias (en caso de una fracción de volumen alta), lo que podría afectar a la calidad de color. Por lo tanto, la elección del número de nanopartículas está sesgada por la búsqueda de un término medio entre la eficiencia de dispersión y el color deseado, tal como se describe con detalle en la solicitud de patente EP2304478. Además, a medida que el tamaño de las nanopartículas se hace más grande, crece la relación $\eta = \tau_{\text{dispersado}} / \rho_{\text{dispersado}}$ del flujo luminoso hacia delante con respecto a hacia detrás, siendo tal relación igual a una que se encuentra en el límite de Rayleigh. Además, a medida que crece η , la abertura del cono de dispersión hacia delante se hace más pequeña. Por lo tanto, la elección de η está sesgada por la búsqueda de un término medio entre hacer que la luz se disperse con unos ángulos grandes y reducir al mínimo el flujo de luz dispersada hacia detrás. No obstante, de una forma conocida en sí, se puede depositar una capa antirreflexión (que no se muestra) sobre la primera y la segunda superficie S_1 y S_2 , con el fin de reducir al mínimo ρ_{directo} ; al hacer esto, se acrecienta la eficiencia luminosa del sistema de iluminación 1 y se aminora la visibilidad del primer panel de difusión 4 (como un elemento físico) desde un observador en la habitación 6.

No obstante, son posibles algunas realizaciones en las que las nanopartículas no tienen una forma esférica; en tal caso, el diámetro eficaz D se puede definir como el diámetro eficaz de las partículas esféricas equivalentes, en concreto, el diámetro eficaz de unas partículas esféricas que tienen el mismo volumen que las nanopartículas que se han mencionado en lo que antecede.

Además, son posibles algunas realizaciones en las que las nanopartículas están polidispersadas, es decir, sus diámetros eficaces se caracterizan por una distribución $N(D)$. Tal distribución describe el número de nanopartículas por unidad de superficie e intervalo unidad de diámetro eficaz en las proximidades del diámetro eficaz D (es decir, el número de partículas por unidad de superficie que tienen un diámetro eficaz entre D_1 y D_2 es igual a

$$N_{D_2-D_1} = \int_{D_1}^{D_2} N(D) dD$$

Estos diámetros eficaces pueden caer en el intervalo de [5 nm - 350 nm], es decir, la

distribución puede ser no nula dentro de este intervalo. En este caso, considerando que la eficiencia de dispersión crece aproximadamente, es decir, en el límite de las partículas pequeñas, con la sexta potencia del diámetro de la nanopartícula, la distribución polidispersada se comporta aproximadamente como una distribución monodispersada con un diámetro D'_{efic} representativo que se define como:

$$D'_{\text{efic}} = \left\{ \frac{\int N(D) D^6 dD}{N} \right\}^{1/6}$$

en la que

$$N = \int N(D) dD$$

D'_{efic} se puede seleccionar con el fin de encontrarse dentro del intervalo de [5 nm - 350 nm], preferiblemente [10 nm - 250 nm], más preferiblemente [40 nm - 180 nm], aún más preferiblemente [60 nm - 150 nm].

Además, el primer panel de difusión 4 se encuentra a una distancia d con respecto a la primera fuente de luz 2, que se mide a lo largo del eje H. Tal distancia d se puede variar de acuerdo con una posición esperada del observador en el interior de la habitación 6, de tal modo que la distancia entre la posición esperada del observador y la primera fuente de luz 2 es igual a al menos cinco metros, preferiblemente siete metros. Por ejemplo, en el caso de una aplicación de tipo techo, la distancia d puede ser igual a tres metros. Como precaución, la distancia d puede ser igual a cinco metros, en el caso de que el observador se encuentre muy cerca de la segunda superficie S_2 .

De acuerdo con una realización diferente que se muestra en la figura 2, la primera fuente de luz 2 está dispuesta, una vez más, en el interior del volumen externo V , pero la misma está dispuesta desplazada con respecto al eje, es decir, en sentido lateral con respecto al primer panel de difusión 4, es decir, esta no es interceptada por línea alguna que pase a través del primer panel de difusión 4 y que sea paralela con respecto al eje H. Además, el sistema de iluminación 1 incluye un sistema reflectante 20, que incluye un primer espejo 22 y forma una trayectoria de luz que conecta la primera fuente de luz 2 con el primer panel de difusión 4; dicho de otra forma, los rayos de luz que son

generados por la primera fuente de luz 2 son transportados por el sistema reflectante 20 sobre la primera superficie S_1 . El primer espejo 22 da lugar a una última desviación (es decir, un último cambio de dirección) de la trayectoria de luz antes del primer panel de difusión 4.

5 Además, la primera fuente de luz 2 y el sistema reflectante 20 son de tal modo que el primer panel de difusión 4 es iluminado plenamente por los rayos de luz que provienen de la primera fuente de luz 2. Además, por razones que se describirán de forma más precisa en lo sucesivo, el primer panel de difusión 4 y el sistema reflectante 20 están dispuestos de tal modo que los mismos satisfacen la siguiente condición geométrica. No hay pareja alguna que esté compuesta por un rayo de luz RL1 y un rayo de luz RL2 de tal modo que:

- 10
- el rayo de luz RL1 pasa a través del primer panel de difusión 4 (como un ejemplo, proveniente de la habitación 6) o se origina en el primer panel de difusión 4; y
 - el rayo de luz RL2 es la reflexión del rayo de luz RL1 por el sistema reflectante 20 y el mismo está orientado con el fin de impactar de nuevo sobre la primera superficie S_1 .
- 15

La condición geométrica que se ha mencionado en lo que antecede sobre los rayos de luz RL1 y RL2 es equivalente a exponer que ningún rayo de luz que se genere en el interior de la habitación 6 y que interseque a la primera superficie S_1 en un primer punto puede ser reflejado posteriormente por el sistema reflectante 20 de una forma tal que este incida de nuevo sobre la primera superficie S_1 en un segundo punto. Incluso como alternativa, el sistema reflectante 20 está dispuesto de tal modo que todos los rayos de luz entrantes que emanan de la primera superficie S_1 y que impactan sobre el sistema reflectante 20, con independencia de la posición dentro de la primera superficie S_1 de la cual emanan los rayos de luz entrantes, se reflejan sobre la capa interna 12.

20

La condición geométrica que se ha mencionado en lo que antecede sobre los rayos de luz RL1 y RL2 conduce a una reducción en el volumen que es ocupado por el sistema de iluminación 1, principalmente en términos del volumen que es ocupado en el exterior de la habitación 6, sin deteriorar la calidad de la iluminación. En particular, el sistema de iluminación 1 presenta una reducción del espacio que es ocupado en sentido vertical, es decir, medido a lo largo del eje H. Dado que un obstáculo vertical reducido es un prerequisite para un gran número de aplicaciones, la condición geométrica que se ha mencionado en lo que antecede permite la obtención del efecto de penetración en un gran número de situaciones de interés práctico. Por razones de brevedad, de ahora en adelante se omitirá, en general, la referencia a la dimensión vertical del espacio ocupado.

25

30

Con mayor detalle, además de conducir a una reducción del espacio ocupado, la disposición recíproca del sistema reflectante 20 y el primer panel de difusión 4 evitan la aparición de dos fenómenos que podrían deteriorar la calidad natural de la iluminación.

35

Tal como se muestra en la figura 3, en el caso de que se violara la condición geométrica que se ha mencionado en lo que antecede sobre los rayos de luz RL1 y RL2, tendría lugar lo siguiente:

- 40
- un rayo de luz IR1 que es generado por la primera fuente de luz 2 incide sobre el sistema reflectante (que se designa en el presente caso con 30) y es transportado sobre el primer panel de difusión 4, cruza el primer panel de difusión 4 y alcanza al observador; y
 - un rayo de luz IR2 que es generado por la primera fuente de luz 2 incide sobre el sistema reflectante 30 una primera vez, es transportado una primera vez sobre el primer panel de difusión 4, se refleja parcialmente debido a la reflexión de Fresnel por la primera superficie S_1 , incide sobre el sistema reflectante 30 una segunda vez, es transportado una segunda vez sobre el primer panel de difusión 4, cruza el primer panel de difusión 4 y alcanza al observador desde una dirección diferente con respecto al rayo de luz IR1.
- 45

En este caso, el observador experimentaría la visión de dos imágenes diferentes de la primera fuente de luz 2, que se ven desde bajo diferentes direcciones. La primera imagen es la imagen que está formada por IR1 y por la totalidad de los rayos de luz cerca de IR1, es decir, los rayos de luz que han cruzado solo una vez el primer panel de difusión 4. La segunda imagen es la imagen que está formada por el rayo de luz IR2 y por la totalidad de los rayos de luz cerca de IR2, es decir, los rayos que, habiendo sido parcialmente reflejados por la primera superficie S_1 , son reorientados por el sistema reflectante 30 hacia el observador. Debido a que la reflexión de Fresnel reorienta solo una porción (por ejemplo, aproximadamente un 4 % por cada superficie del primer panel de difusión 4, para una incidencia casi perpendicular y para un material de PMMA), la segunda imagen de la primera fuente de luz 2 es más débil que la primera. No obstante, su luminancia sigue siendo muy alta; por lo tanto, un observador percibiría la diferencia con la iluminación natural, que evidentemente se caracteriza por la presencia de solo una imagen del Sol.

50

55

De una forma similar, en el caso de que faltara la condición geométrica que se ha mencionado en lo que antecede sobre los rayos de luz RL1 y RL2, los rayos de luz que provienen de la habitación 6 y con cualquier color podrían cruzar el primer panel de difusión 4, ser reflejados por el sistema reflectante 30 y volver a entrar en la habitación 6 después de cruzar de nuevo el primer panel de difusión 4. En tal caso, un observador percibiría la presencia de objetos luminosos que tienen unos colores diferentes del color del primer panel de difusión 4, como si los mismos estuvieran dispuestos más allá del primer panel de difusión 4. Además, debido a la así denominada retrodispersión, el propio primer panel de difusión 4 sería visto por el observador no solo directamente, sino también a través del

60

65

sistema reflectante 30; en la práctica, el primer panel de difusión 4 generaría un punto luminoso, que está limitado espacialmente por el marco del espejo, lo que deterioraría la uniformidad del segundo plano. Además, un observador podría percibir la presencia del sistema reflectante 30 debido al rápido cambio en la luminancia que podría tener lugar en los bordes del espejo. La totalidad de estos efectos darían lugar a que la iluminación pareciera antinatural, siendo la imagen del primer panel de difusión 4 diferente de la del cielo natural. Además, la percepción de objetos o espejos en el segundo plano del primer panel de difusión 4 evitaría la obtención del efecto de penetración.

Habiéndose expuesto lo anterior, son posibles algunas realizaciones en las que, tal como se muestra en la figura 2, el primer espejo 22 es plano y paralelo con respecto al primer panel de difusión 4 (en concreto, paralelo con respecto a la primera y la segunda superficies S_1 , S_2), de tal modo que se reduce al mínimo el volumen ocupado.

Además, con independencia de la forma y el ángulo de inclinación del primer espejo 22, la primera fuente de luz 2 y el primer espejo 22 están dispuestos de una forma tal que, si se hace referencia a la superficie del primer espejo 22 como la superficie reflectante S_r , el baricentro O de la primera superficie S_1 y el baricentro O' de la superficie reflectante S_r pueden estar conectados por una línea, que tiene un ángulo de incidencia AO con respecto al eje H que se encuentra entre 40° y 65° , preferiblemente entre 42° y 50° , más preferiblemente en las proximidades de 45° . De tal forma, se llega a un término medio entre reducir al mínimo el espacio que es ocupado en sentido vertical por el sistema de iluminación 1, que disminuye a medida que el ángulo de incidencia AO se hace más grande, y reducir al mínimo las pérdidas de luz debido a la reflexión parcial que tiene lugar en el primer panel de difusión 4, que crece a medida que el ángulo de incidencia AO se hace más grande, con la hipótesis de que el primer panel de difusión 4 tenga un índice de refracción básicamente igual a 1,5 y que el ángulo de incidencia AO sea más alto que 45° . Resulta útil hacer notar que el beneficio de iluminar el primer panel de difusión 4 con un ángulo de incidencia AO sustancialmente igual a 45° resulta cierto para todas las posibles realizaciones, incluyendo las que se describen más adelante y las que no tienen espejo alguno.

El solicitante de la presente invención también verificó que, cuando el primer espejo 22 es plano, el espacio vertical que es ocupado por el sistema de iluminación 1 se reduce al mínimo para cualquier ángulo de incidencia AO, con la condición de que el primer espejo 2 sea paralelo con respecto al primer panel de difusión 4.

Antes de pasar a la descripción, el "rayo portador" se define como la trayectoria de luz plegada que conecta el baricentro O' de la superficie de emisión S_r (que se define en lo sucesivo) de la primera fuente de luz 2 con el baricentro O de la primera superficie S_1 , por medio del sistema reflectante 20, o la más corta de entre estas trayectorias de luz, si existe más de una trayectoria de luz; existe solo una trayectoria de luz si el sistema reflectante 20 está diseñado como un componente de óptica de formación de imágenes.

Además, se presenta un sistema de referencia cartesiano, teniendo un sistema de referencia de este tipo un origen en el baricentro O de la primera superficie S_1 , e incluyendo un eje x y un eje y que se encuentran en el plano que es definido por la primera superficie S_1 y que están dispuestos de una forma tal que el eje y es perpendicular con respecto al plano de incidencia del rayo portador sobre la superficie reflectante S_r del primer espejo 22 (es decir, el plano que contiene los dos segmentos del rayo portador que entran en contacto con el primer espejo 22, así como la línea perpendicular con respecto a la superficie reflectante S_r en el punto de contacto).

Con independencia de la forma y el ángulo de inclinación del primer espejo 22, son posibles algunas realizaciones en las que la primera superficie S_1 tiene una forma rectangular o al menos una forma alargada, siendo su eje mayor coincidente con el eje y. El solicitante de la presente invención ha verificado que estas realizaciones permiten cumplir la condición geométrica sobre los rayos de luz RL1 y RL2 con una altura más pequeña del sistema de iluminación 1 a lo largo del eje H, con respecto a los casos en los que el primer panel de difusión 4 no es alargado o es alargado a lo largo del eje x, siendo el área del primer panel de difusión 4 y el ángulo de incidencia AO los mismos. En otros términos, estas realizaciones permiten aumentar al máximo el área del primer panel de difusión 4 para una altura dada del sistema de iluminación 1 y un ángulo de incidencia AO dado. De hecho, el solicitante de la presente invención ha observado que, para un ángulo de incidencia AO dado, la anchura máxima del primer panel de difusión 4 a lo largo del eje x es proporcional a la altura mínima del sistema de iluminación 1 a lo largo del eje H, encontrándose el coeficiente de proporcionalidad cerca de 1 cuando el ángulo de incidencia AO se encuentra cerca de 45° .

El solicitante de la presente invención también percibió que la calidad natural de la iluminación se mejora adicionalmente si la primera fuente de luz 2 presenta una superficie de emisión circular (la figura 4a) o elíptica (la figura 4b) S_r . Dado que la primera fuente de luz 2 es direccional, esta está caracterizada por una dirección principal, que es la dirección del máximo absoluto de la intensidad luminosa, y por un plano principal, que se define en el presente caso como el plano, perpendicular con respecto a la dirección principal, en el que tiene lugar el máximo absoluto de la luminancia. Habiéndose dicho lo anterior, la superficie de emisión S_r es la porción del plano principal en el que la luminancia a lo largo de la dirección principal es más alta que un 10 % de este máximo absoluto de la intensidad luminosa. La superficie de emisión S_r se denomina circular o elíptica si existe una circunferencia o una elipse que la encierra y que tiene un área más grande que el área de la superficie de emisión S_r , en no más de un 30 %, preferiblemente un 20 %, más preferiblemente un 10 %.

Habiéndose dicho todo esto, los rayos de luz inciden sobre la primera superficie S_1 en unos puntos de incidencia correspondientes y forman unos ángulos de incidencia correspondientes con las líneas perpendiculares con respecto a la primera superficie S_1 y que pasan a través de los puntos de incidencia. Habiéndose dicho lo anterior, el sistema reflectante 20 y las disposiciones de la primera fuente de luz 2 y del primer panel de difusión 4 son de tal modo que, dados:

- un rayo de luz RL3 que conecta, por medio del sistema reflectante 20, el baricentro O'' de la superficie de emisión S_f con el baricentro O de la primera superficie S_1 , y forma un ángulo θ_1 con respecto a una línea perpendicular con respecto a la primera superficie S_1 y que pasa a través del baricentro O de esta última; y
- un rayo de luz RL4 que conecta, por medio del sistema reflectante 20, el baricentro O'' de la superficie de emisión S_f con un punto de la primera superficie S_1 que está separado una distancia X con respecto al baricentro O de esta última, y que forma un ángulo θ_2 con respecto a una línea perpendicular con respecto a la primera superficie S_1 y que pasa a través de este punto; por lo tanto, tiene lugar que:

$$|\tan(\theta_1 - \theta_2)| \leq X \cdot \cos(\theta_1) / L$$

en la que L es al menos igual a tres metros y, preferiblemente, $X \ll L$, por ejemplo, $X < 10$ cm. Preferiblemente, L es al menos igual a cuatro metros; aún más preferiblemente, L es al menos igual a cinco metros. Obsérvese que tal condición se satisface también por medio de la realización que se muestra en la figura 1, con la condición de que la distancia d que se ha mencionado en lo que antecede del primer panel de difusión 4 con respecto a la primera fuente de luz 2 sea igual a L .

De tal forma, los rayos de luz impactan sobre la primera superficie S_1 con unas direcciones casi paralelas, de una forma similar a lo que tiene lugar en la naturaleza. Además, esta condición se puede satisfacer incluso cuando la primera fuente de luz 2 se encuentra a una distancia física con respecto al primer panel de difusión 4 más baja que L , con la condición de que el sistema reflectante 20 comprenda espejos convergentes, es decir, espejos que están diseñados para formar una imagen virtual de la primera fuente de luz 2 a una distancia más grande que la distancia física.

El solicitante de la presente invención ha percibido adicionalmente que, en determinadas aplicaciones (por ejemplo, en el caso en el que el primer panel de difusión 4 está separado una pequeña distancia con respecto al observador), es suficiente que L sea al menos igual a un 50 %, preferiblemente un 70 %, incluso más preferiblemente un 100 %, de la distancia máxima entre cualesquiera dos puntos de la primera superficie S_1 .

Con independencia de los detalles anteriores acerca de la distancia del primer panel de difusión 4 con respecto a la primera fuente de luz 2, no obstante, son posibles algunas realizaciones en las que la fuente de luz 2 está dispuesta de tal modo que el perfil de iluminancia sobre la primera superficie S_1 varía entre un valor mínimo ILU_{\min} y un valor máximo ILU_{\max} , en el que $ILU_{\max} \leq 3 \cdot ILU_{\min}$, con el fin de limitar las variaciones de iluminancia sobre el primer panel de difusión 4. Una condición de este tipo sobre la uniformidad de la iluminancia se puede lograr mediante la interposición de una óptica de forma libre entre la primera fuente de luz 2 y la primera superficie S_1 y/o al separar la fuente de luz 2 con respecto a la primera superficie S_1 de una distancia adecuada. Como un ejemplo, son posibles algunas realizaciones en las que la iluminancia que es producida por la primera fuente de luz 2 sobre la primera superficie S_1 es sustancialmente uniforme, debido al hecho de que la siguiente relación resulta cierta:

$$|\tan(\theta_1 - \theta_e)| \leq 0,5 \cdot \cos(\theta_1)$$

en la que θ_e es el ángulo con el que un rayo de luz adicional, que se origina en el baricentro O'' de la superficie de emisión S_f de la primera fuente de luz 2, impacta sobre un punto de la frontera de la primera superficie S_1 , siendo este punto el punto de entre los puntos de la frontera que tiene la distancia máxima con respecto al baricentro O de la primera superficie S_1 . El solicitante de la presente invención ha percibido adicionalmente que, también en este caso, si el observador está separado del primer panel de difusión 4 una pequeña distancia, es suficiente que L sea al menos igual a un 50 %, preferiblemente un 70 %, incluso más preferiblemente un 100 %, de la distancia máxima entre cualesquiera dos puntos de la primera superficie S_1 .

El solicitante de la presente invención percibió adicionalmente que la calidad natural de la iluminación mejora siempre que la luminancia máxima de la primera fuente de luz 2 sea más grande que 10^6 cd/m², preferiblemente $0,1 \cdot 10^6$ cd/m², más preferiblemente $1 \cdot 10^6$ cd/m², aún más preferiblemente $10 \cdot 10^6$ cd/m². Para tales valores, de hecho, la primera fuente de luz 2 genera el suficiente deslumbramiento para que sea difícil mirar a la propia fuente, evitando de ese modo que el observador evalúe la distancia de la fuente por medio del mecanismo de enfoque ocular. Por lo tanto, estos valores de luminancia contribuyen a obtener el efecto de penetración infinito. Además, el deslumbramiento hace difícil la detección de las posibles faltas de uniformidad en el perfil de luminancia de la primera fuente de luz 2, haciendo por lo tanto difícil la detección de las diferencias entre la imagen de la primera fuente de luz 2 y la imagen del Sol.

El solicitante de la presente invención también verificó que la calidad natural de la iluminación mejora si el tamaño y la forma de la primera fuente de luz 2 son de tal modo que, dado un rayo de luz que conecta el perímetro de la superficie de emisión S_f con el baricentro O de la primera superficie S_1 , el ángulo que forma el mismo con el rayo de luz RL3 que se ha mencionado en lo que antecede es más bajo que 4° , preferiblemente 3° , más preferiblemente $1,2^\circ$, y aún más preferiblemente $1,0^\circ$. De hecho, la calidad natural de la iluminación mejora cuando los valores inferiores de tal ángulo están asociados con los valores más altos de luminancia, permitiendo esta condición la obtención de una percepción más natural.

Tal como se muestra en las figuras 5a y 5b, con independencia de los detalles del primer panel de difusión 4, el primer espejo 22 puede ser un espejo curvado de forma cóncava, tal como un espejo curvado de forma cóncava que tiene una curvatura parabólica. En particular, tal como se muestra en las figuras 5a y 5b, el primer espejo 22 se puede conformar como una porción de un paraboloide circular, es decir, una superficie que se obtiene al rotar una parábola de generación en torno a su eje A, de tal modo que la intersección con cualquier plano que incluya el eje A define la misma parábola de generación. En particular, la porción de paraboloide circular se obtiene al dividir una porción de la superficie del paraboloide circular con un plano secante que cruza el eje A formando un ángulo diferente de 90° . Por razones de brevedad, de ahora en adelante, se hace referencia al paraboloide circular, sin mencionar de forma explícita que el espejo está formado por una porción del paraboloide circular.

De acuerdo con la presente realización, la primera fuente de luz 2 está dispuesta en el foco del paraboloide circular; de forma más precisa, el baricentro O de la superficie de emisión S_f de la primera fuente de luz 2 está dispuesto en el foco del paraboloide circular, de tal modo que los rayos de luz que provienen de ese baricentro y que son reflejados por el paraboloide circular inciden sobre la primera superficie S_1 con unas direcciones de propagación que son, todas ellas, paralelas con respecto al eje A. De esta forma, el observador percibe la primera fuente de luz 2 como si la misma estuviera dispuesta a una distancia virtualmente infinita, de forma similar a lo que tiene lugar con el Sol, potenciando de ese modo la calidad natural de la iluminación. Dicho de otra forma, la imagen virtual de la primera fuente de luz 2 se encuentra a una distancia infinita con respecto al observador.

Además, el tamaño de la primera fuente de luz 2 que es percibida por el observador es dado por el tamaño de la imagen de la primera fuente de luz 2 en la retina, y depende solo de la dimensión física de la primera fuente de luz 2 y del aumento del sistema de telescopio óptico que está formado por la lente del ojo (el cristalino) y por el paraboloide circular; tal sistema de telescopio óptico tiene un plano de imagen y un plano de objeto que están dispuestos, respectivamente, en el foco de la lente del ojo y en el foco del paraboloide circular. El aumento que se ha mencionado en lo que antecede es dado por la relación de la longitud focal de la lente del ojo con respecto a la longitud focal del paraboloide circular; por lo tanto, el tamaño de la primera fuente de luz 2 tal como es percibida por el observador no depende de la distancia del observador con respecto al sistema de iluminación 1. Por lo tanto, esta condición adicional contribuye a la creación de un efecto de iluminación natural, debido a que el tamaño percibido del Sol no depende de la posición del observador.

El solicitante de la presente invención también percibió que, si la superficie de emisión S_f está conformada como un círculo, la imagen de la primera fuente de luz 2 que es percibida por el observador sigue teniendo forma de círculo, debido a que el sistema óptico que se muestra en la figura 5a no distorsiona la imagen.

La realización que se muestra en la figura 5a está caracterizada por que el espacio vertical que es ocupado por el sistema de iluminación 1 es casi igual al tamaño del primer panel de difusión 4 a lo largo del eje x, en el caso de que los rayos de luz que son reflejados por el paraboloide circular incidan sobre el primer panel de difusión 4 con 45° , y se satisface la condición geométrica que se ha mencionado en lo que antecede.

De acuerdo con una variante, que se muestra en la figura 5a, la primera y la segunda superficies S_1 y S_2 del primer panel de difusión 4 tienen una forma elíptica, siendo abarcada una forma de este tipo por la proyección del paraboloide circular 22 sobre el plano xy a lo largo de la dirección dada por el eje A. Por lo tanto, la primera y la segunda superficies S_1 y S_2 pueden ser circunscritas por el punto luminoso SP que está formado por el paraboloide circular en el plano xy, reduciendo de ese modo las pérdidas de luz. Además, el primer espejo 22 se corta con el fin de aceptar un haz de luz que tiene una divergencia circular, es decir, se corta de forma que su proyección sobre el plano ortogonal con respecto a la línea que conecta el baricentro O de la superficie de emisión S_f y el vértice del paraboloide circular tiene una forma circular, o al menos circunscribe un círculo con una buena aproximación. No obstante, también son posibles otras formas del primer espejo 22, por ejemplo, una forma alargada a lo largo de la dirección y.

El uso del paraboloide circular implica que la luz que entra en la habitación 6 a través del primer panel de difusión 4 proyecta sobre el suelo de la habitación 6 un punto de luz que tiene el mismo tamaño y forma que el primer panel de difusión 4, al igual que ocurre con la luz del sol a través de una ventana, contribuyendo de ese modo al efecto de iluminación natural. Además, debido a que el observador es capaz de evaluar la distancia de una fuente de luz genérica basándose en la divergencia del haz de luz que genera esta, el sistema de iluminación 1 que se muestra en la figura 5a crea un efecto de una gran profundidad de campo incluso si la primera fuente de luz 2 no se encuentra directamente en el campo visual del observador.

Tal como se muestra en la figura 6, el primer espejo 22 se puede conformar como la porción de un paraboloides con simetría cilíndrica, es decir, como una porción de un cilindro parabólico, obteniéndose esta porción mediante la intersección del cilindro parabólico con tres planos secantes. Con detalle, se sabe que, dada una parábola de generación y una línea de referencia R, el cilindro parabólico es la superficie reglada que está formada por unas líneas paralelas con respecto a la línea de referencia R e incidentes sobre la parábola de generación; dicho de otra forma, el cilindro parabólico se obtiene mediante la traslación de la parábola de generación a lo largo de la línea de referencia R. En lo sucesivo, la línea de referencia R también se denomina eje cilíndrico.

En la realización que se muestra en la figura 6, el cilindro parabólico se obtiene mediante la traslación de la parábola de generación en una dirección paralela con respecto al eje x. Además, la parábola de generación tiene su vértice en el plano xH y su eje A orientado a lo largo de una línea que es especular con respecto a la línea que conecta el baricentro O de la primera superficie S_1 y el baricentro O' de la superficie reflectante S_r del primer espejo 22. En la presente realización, un plano tangente con respecto al cilindro parabólico en el vértice de la parábola de generación es paralelo con respecto al plano xy. Además, dos de entre los tres planos secantes son, por ejemplo, paralelos con respecto al plano yH, mientras que el tercer plano es, por ejemplo, sustancialmente paralelo con respecto al plano xy. Habiéndose dicho todo lo anterior, de ahora en adelante, por razones de brevedad se hará referencia al cilindro parabólico, sin mencionar de forma explícita que el espejo está formado por una porción del cilindro parabólico.

En la realización que se muestra en la figura 6, el cilindro parabólico está separado en sentido lateral a lo largo del eje x, con respecto al eje H, de tal modo que el ángulo de incidencia AO es sustancialmente igual a 45° .

Con mayor detalle, el baricentro O" de la superficie de emisión S_r está dispuesto en el plano xH, cerca de la línea que está formada por los focos de las parábolas que forman el cilindro parabólico, en la posición que asegura la mejor colimación de los rayos de luz que están orientados hacia el primer panel de difusión 4, en lo que respecta a la propagación de los rayos en el plano que contiene el eje y y el baricentro del cilindro parabólico y, más en general, lo que respecta a la propagación de los rayos en la totalidad de los planos que intersecan al primer panel de difusión 4 a lo largo de unas líneas paralelas con respecto al eje y. En lo sucesivo, se hace referencia a la divergencia promedio en estos últimos planos, por simplicidad, como divergencia a lo largo de la dirección del eje y.

La realización que se muestra en la figura 6 permite usar un primer panel de difusión 4 que es considerablemente más largo a lo largo del eje y que a lo largo del eje x, aumentando al máximo de ese modo el área del primer panel de difusión 4 y, por lo tanto, los ángulos bajo los cuales el observador percibe el efecto de penetración. De forma más precisa, un alargamiento tan grande del primer panel de difusión 4 es posible debido a que la realización se basa en el uso de un espejo que presenta un alargamiento grande en la dirección del eje y, al tiempo que se conserva una divergencia (de salida) limitada en la misma dirección del eje y. Más en concreto, el solicitante de la presente invención ha percibido que el tamaño percibido de la primera fuente de luz 2 a lo largo de la dirección del eje y, es decir, el diámetro de la superficie de emisión percibida S_r a lo largo de la dirección del eje y, no depende de la distancia entre el observador y la primera fuente de luz 2, o este depende muy débilmente de esta distancia. En lo que respecta al tamaño de la primera fuente de luz 2 que es percibida por el observador a lo largo de la dirección del eje x, este depende de la posición del observador y disminuye con la distancia. Por lo tanto, con el fin de asegurar que se percibe una forma circular de la primera fuente de luz 2, se puede adoptar una fuente de luz con una superficie de emisión elíptica S_r , en la que la excentricidad de la elipse se fija de acuerdo con el punto esperado de observación en el interior de la habitación 6.

Una ventaja adicional es dada por el uso de un cilindro parabólico es el hecho de que los espejos de este tipo son fáciles de fabricar, debido a que los mismos se pueden obtener mediante una lámina de espejo plana, por ejemplo, una lámina de espejo de aluminio. Además, haciendo referencia a un observador que se encuentra en una posición vertical y que está mirando hacia la primera fuente de luz 2 desde una posición central, es decir, a través del baricentro O de la primera superficie S_1 y que, por lo tanto, tiene los ojos alineados a lo largo de la dirección del eje y, este percibirá la primera fuente de luz 2 a una gran distancia, debido al hecho de que su convergencia ocular funciona solo en planos que contienen ambos ojos (es decir, la dirección del eje y), en los que tiene lugar una convergencia alta. Esto tiene lugar sin importar cuál sea la divergencia de los rayos en la dirección ortogonal.

En una realización diferente (que no se muestra), el sistema de iluminación 1 está montado de una forma tal que el primer panel de difusión 4 es paralelo con respecto a una pared vertical, en lugar de un techo, de una forma tal que el haz de luz procedente de la primera fuente de luz 2 entra en la habitación 6 siendo paralela con respecto al suelo y con un ángulo de aproximadamente 45° con respecto a la pared vertical. En la presente realización, el cilindro parabólico se obtiene mediante la traslación de la parábola de generación en una dirección paralela con respecto al eje y, en lugar del eje x, siendo esta la configuración que permite la percepción de profundidad más grande para un observador, cuyos ojos están alineados en el eje x. También en este caso, dada una altura del sistema de iluminación 1 más allá de la pared vertical, el área más grande del primer panel de difusión 4 se puede obtener mediante la adopción de una forma que es alargada en la dirección del eje y.

En una realización diferente, el sistema reflectante 20 puede incluir un segundo espejo 24, tal como se muestra para, por ejemplo, en la figura 7. Es decir, el primer espejo 22 que se ha mencionado en lo que antecede puede ser un espejo de una pluralidad de espejos del sistema reflectante 20, que da lugar a la última desviación de la

trayectoria de luz a lo largo de la cual los rayos de luz que son generados por la primera fuente de luz 2 se transportan sobre el primer panel de difusión 4.

El segundo espejo 24 está ópticamente interpuesto entre el primer espejo 22 y la primera fuente de luz 2. En este caso, la condición geométrica que se ha mencionado en lo que antecede no cambia, debido a que esta condición se refiere al sistema reflectante global 20. Por lo tanto, es irrelevante si el rayo de luz RL2 es generado por la reflexión del rayo de luz RL1 solo sobre el primer espejo 22, o sobre el primer y el segundo espejos 22, 24. De forma similar, el sistema reflectante 20 puede incluir elementos reflectantes adicionales (que no se muestran).

Cualquiera del primer y el segundo espejos 22, 24 puede ser plano o tener una forma diferente. En particular, tal como se muestra en la figura 8, son posibles algunas realizaciones en las que tanto el primer como el segundo espejos 22, 24 están conformados como porciones de dos cilindros parabólicos correspondientes, que son generados por unas parábolas de generación que se encuentran en planos ortogonales, y que se trasladan a lo largo de unas direcciones ortogonales y, por lo tanto, realizan una colimación de la luz en planos ortogonales. En la presente realización, por ejemplo, el primer espejo 22 es similar al cilindro parabólico que se muestra en la figura 6, mientras que el segundo cilindro parabólico, que forma el segundo espejo 24, se obtiene al tomar una segunda parábola de generación en el plano xH y mediante la traslación de la misma a lo largo de la dirección del eje y, obteniendo de este modo una reducción de la divergencia del haz en el plano xH. Además, el solicitante de la presente invención ha verificado que se obtiene una buena colimación en la totalidad de las direcciones para los rayos de luz que son reflejados por el segundo espejo 24 hacia el primer espejo 22 cuando la segunda parábola de generación tiene su eje orientado en una dirección sustancialmente paralela con respecto al eje de la parábola de generación del primer espejo 22, con la condición de que los dos cilindros parabólicos estén dispuestos de tal modo que los mismos comparten un foco común (o, de forma más precisa, de tal modo que las parábolas de generación comparten un foco común, en el que la posición del foco de la parábola de generación del primer espejo 22 explica la reflexión por el espejo 24) y la primera fuente de luz 2 está dispuesta sustancialmente en un foco común de este tipo.

La realización que se muestra en la figura 8 posibilita usar un panel de difusión que tiene una longitud a lo largo del eje y que es considerablemente más grande que la longitud a lo largo del eje x y, por lo tanto, posibilita aumentar al máximo el área del primer panel de difusión 4, siendo el espacio vertical que es ocupado por la presente realización igual al que es ocupado en caso de un panel cuadrado. Además, la presente realización posibilita generar un haz de luz que impacta sobre la primera superficie S_1 con una divergencia reducida a lo largo de tanto el eje x como el eje y (es decir, a lo largo de unos planos que intersecan al plano xy a lo largo de unas líneas que son paralelas con respecto al eje x y el eje y, respectivamente). Por lo tanto, los rayos de luz transmitidos tienen una divergencia similar a la de los rayos del sol. Esta condición contribuye a la creación de la percepción de una gran profundidad de campo incluso cuando la primera fuente de luz 2 no se encuentra en el campo visual del observador. Además, debido a que la primera fuente de luz 2 está dispuesta cerca del foco común, el tamaño de la primera fuente de luz 2 tal como es percibida por el observador no depende de la distancia. Por último, en el presente caso la iluminación de un panel de difusión que es alargado a lo largo de la dirección del eje y se hace posible al comenzar desde un haz de luz que impacta sobre el segundo espejo 24 con sustancialmente una misma divergencia tanto en el plano de incidencia como en el plano ortogonal, es decir, al usar de forma eficiente una fuente de luz que genera un haz de luz que tiene una sección transversal de forma cuadrada. Este resultado, que se logra mediante la realización de la reducción de la divergencia de haz inicial en dos etapas separadas en las dos direcciones ortogonales, representa una ventaja con respecto al caso de un único cilindro parabólico, para el cual se requieren unos haces asimétricos, tal como se describe en lo sucesivo.

Con independencia de los detalles del primer panel de difusión 4 y el sistema reflectante 20, la primera fuente de luz 2 puede tener, tal como ya se ha explicado anteriormente, una superficie de emisión S_f con una forma circular o elíptica. En particular, la superficie de emisión S_f puede tener una forma elíptica siempre que el sistema reflectante 20 incluya al menos un paraboloide con simetría cilíndrica, de tal modo que se compensan los diferentes aumentos que se introducen a lo largo del eje x y el eje y, permitiendo de este modo la creación de un punto de luz con forma de círculo en la retina del observador.

Tal como se muestra en las figuras 9a y 9b, la primera fuente de luz 2 puede estar formada por un conjunto de dispositivos de emisión 50. Cada dispositivo de emisión 50 está formado por una fuente de LED 52 y un correspondiente concentrador parabólico compuesto ("CPC", *compound parabolic concentrator*) 54 de tipo rectangular, que presenta una abertura de entrada EN y una abertura de salida SAL; la abertura de entrada EN y la abertura de salida SAL se pueden conformar, respectivamente, como un primer y un segundo rectángulo, paralelos y alineados entre sí, teniendo el primer rectángulo un área más pequeña que el segundo rectángulo. Además, el primer rectángulo tiene una relación entre las longitudes de sus ejes de simetría diferente de la del segundo rectángulo. Por ejemplo, el primer rectángulo tiene una relación más grande, es decir, este es más alargado, que el segundo. La fuente de LED 52 puede estar formada por una agrupación de emisores LED (que no se muestran) y está dispuesta cerca de la correspondiente abertura de entrada EN, de una forma tal que la radiación que es emitida por la fuente de LED 52 está acoplada con el concentrador CPC 54 a través de la abertura de entrada EN, y sale de la abertura de salida SAL. No obstante, son posibles otros tipos de concentradores reflectantes; de forma similar, se pueden usar dispositivos de emisión de luz que no sean LED.

El haz de luz que es generado por cada dispositivo de emisión 50 tiene una sección transversal rectangular, siendo máxima su divergencia en el plano que contiene el eje del propio haz, es decir, que contiene el eje óptico 56 del par que está formado por el concentrador 54 y la correspondiente fuente de LED 52, y el mayor de sus ejes de simetría del rectángulo que es definido por la abertura de salida SAL, que se designa con 57 en la figura 9a. En caso de una

5 abertura de salida SAL diferente, el plano de máxima divergencia sería recorrido por la dirección de alargamiento, es decir, la dirección de máxima extensión de la salida SAL, y el eje óptico 56.

La cantidad de la divergencia de haz en cada uno del plano de máxima divergencia y su plano ortogonal (conteniendo también este último el eje óptico 56) varía con la relación entre las longitudes del lado correspondiente del rectángulo de entrada, d_{EN} , y del lado correspondiente del rectángulo de salida, D_{SAL} y, en particular, esta es igual a dos veces el arco seno de esta relación, es decir, $\arcsen(d_{EN} / d_{SAL})$. A este respecto, no solo las áreas, sino también las formas de las aberturas de entrada y de salida han de ser diferentes, con el fin de asegurar diferentes divergencias en los dos planos ortogonales.

10

El tamaño de la abertura de entrada EN se debería elegir de tal modo que la misma encierre la fuente de LED 52. En la realización de las figuras 9a y 9b, cada concentrador 54 tiene una forma similar a un embudo y está formado por cuatro superficies reflectantes parabólicas, cada una de las cuales está curvada de forma unidimensional y tiene unas parábolas de generación que se encuentran o bien en el plano de máxima divergencia o bien en su plano ortogonal, teniendo la totalidad de las parábolas de generación sus focos en el plano de entrada en el que se encuentra la abertura de entrada EN. Además, las cuatro superficies reflectantes parabólicas tienen la misma longitud a lo largo de la dirección del eje óptico 56.

15
20

De acuerdo con una realización, la totalidad de los dispositivos de emisión 50 son iguales, y los concentradores 54 están dispuestos de tal modo que las aberturas de entrada EN se encuentran en el mismo plano de entrada P_EN, y las aberturas de salida SAL se encuentran en el mismo plano de salida P_SAL. En particular, los concentradores 54 están dispuestos uno junto a otro, con las aberturas de salida SAL adyacentes entre sí, es decir, estas presentan una distribución muy densa, de tal modo que se asegura la luminancia promedio máxima de la superficie de emisión S_f ; además, el número y la disposición de los concentradores 54 son de tal modo que la superficie que está compuesta por la unión de la totalidad de las aberturas de salida SAL se aproxima a una superficie circular, a pesar de que son posibles algunas realizaciones en las que la superficie compuesta se aproxima a una forma elíptica. Por último, la totalidad de los dispositivos de emisión 50 están dispuestos con el fin de tener su eje 56 orientado en la misma dirección. En esta circunstancia, la primera fuente de luz 2 tiene su propio "plano de divergencia más grande", que es el plano que contiene el baricentro O" de la superficie de emisión S_f y que es paralelo con respecto a los planos de máxima divergencia de los dispositivos de emisión 50; además, la primera fuente de luz 2 tiene un "eje de divergencia más grande" 58, dado por la intersección entre el plano de divergencia más grande de la primera fuente de luz 2 y la superficie de emisión S_f de la primera fuente de luz 2. Incluso si se ha presentado el eje de divergencia más grande para el caso de una pluralidad de concentradores rectangulares 54, es evidente que otras formas de los concentradores de tipo embudo 54 que tienen unas aberturas de salida que son alargadas a lo largo de los ejes paralelos 57 conducen a una fuente de luz que sigue teniendo un eje de divergencia más grande, que es paralelo con respecto a los ejes 57.

25
30
35
40

La primera fuente de luz 2 que se muestra en las figuras 9a y 9b permite desacoplar las características del haz de luz y, en particular, la forma de su sección transversal y su divergencia, de la forma de la superficie de emisión S_f , sin introducir pérdida alguna. En el presente caso, en el que los dispositivos de emisión 50 generan unos "haces de luz unitarios" idénticos que tienen una sección transversal rectangular, las distancias entre los centros de las aberturas de salida SAL son pequeñas en comparación con la anchura del haz de luz compuesto que está formado por la suma de la totalidad de los haces de luz unitarios, teniendo lugar esta suma debido a la propagación del haz compuesto y la divergencia de cada haz de luz unitario. En la práctica, los haces de luz unitarios se fusionan en un haz de luz compuesto que tiene la misma sección transversal rectangular y la misma divergencia que un único haz de luz unitario. Dicho de otra forma, a unas distancias que son grandes con respecto al diámetro de la superficie de emisión S_f , el haz de luz compuesto tiene la misma forma y divergencia del haz que es generado por un único dispositivo de emisión 50, debido a que el mismo está formado por una pluralidad de haces de luz unitarios idénticos que están ligeramente desplazados uno con respecto a otro. Por lo tanto, la realización que se muestra en las figuras 9a y 9b permite que se genera un haz compuesto, que tiene una sección, en un plano perpendicular con respecto al eje del propio haz compuesto y a una distancia deseada con respecto a la primera fuente de luz 2, que es un rectángulo de un área y una forma deseadas. Además, la presente realización posibilita crear una fuente de luz que tiene una superficie de emisión S_f que puede tener cualquier forma, por ejemplo, una forma circular o una forma elíptica. En lo sucesivo, se hace referencia a esta fuente de luz como "fuente de haz rectangular". Se debería resaltar que el resultado no se obtiene al confiar en una abertura cortada con cuchilla y óptica de formación de imágenes tal como se realiza, por ejemplo, para proyectores de luz de escenario de tipo cine convencionales, en los que el corte del haz da lugar a unas pérdidas de transmisión elevadas. Por lo tanto, la fuente de haz rectangular permite reducir al mínimo el consumo global de energía.

45
50
55
60

A pesar de que no se muestra, es posible una realización diferente, en la que la primera fuente de luz comprende una pluralidad de dispositivos de emisión, cada uno de los cuales está formado por una fuente de LED que tiene una forma cuadrada, y un correspondiente concentrador parabólico compuesto de tipo cuadrado, que presenta una

65

abertura de entrada cuadrada y una abertura de salida cuadrada. De tal forma, cada dispositivo de emisión genera un haz cuadrado, que tiene la misma divergencia en las dos direcciones ortogonales (es decir, en los dos planos que contienen el eje de concentrador y, respectivamente, los dos ejes de la abertura de salida que son paralelos con respecto a los lados de la abertura de salida). En particular, la presente realización permite generar un haz cuadrado con una divergencia deseada, para una forma arbitraria de la superficie de emisión S_f . En lo sucesivo, se hará referencia a esta primera fuente de luz como “fuente de haz cuadrado”.

En una realización diferente adicional (que no se muestra), la primera fuente de luz comprende una pluralidad de dispositivos de emisión, cada uno de los cuales está formado por una fuente de LED que tiene una circular, y un correspondiente concentrador parabólico compuesto de un tipo circular (que no se muestra), que presenta una abertura de entrada circular y una abertura de salida circular. En este caso, la primera fuente de luz genera un haz con una simetría circular. Por lo tanto, esta primera fuente de luz permite generar un haz circular con una divergencia deseada, para una forma arbitraria de la superficie de emisión S_f . En lo sucesivo, se hará referencia a esta primera fuente de luz como “fuente de haz circular”.

En el caso de que el sistema reflectante 20 esté hecho de uno o más espejos planos, o en el caso de que el sistema reflectante 20 incluya un único espejo que tiene la forma de un cilindro parabólico, la fuente de haz rectangular permite la obtención de un punto luminoso SP que es alargado a lo largo del eje y, es decir, un punto luminoso SP que circunscribe la primera superficie S_1 del primer panel de difusión 4, teniendo la primera superficie S_1 la forma de un rectángulo que es alargado a lo largo del eje y. En ambos casos, la fuente de haz rectangular está orientada de tal modo que su eje de divergencia más grande 58 se “mapea” por medio del sistema reflectante 20 sobre el eje y, con el fin de reducir la complejidad de la distribución del sistema reflectante. En el contexto de la presente invención, se dice que el sistema de reflexión mapea el eje de divergencia más grande sobre el eje y si, dado un estrecho haz de rayos de luz que incluyen el rayo portador, que tiene su origen en el baricentro O de la superficie de emisión S_f y que se encuentra en el plano de divergencia más grande, el sistema reflectante 20 da lugar a que el haz de rayos cruce el primer panel de difusión 4 a lo largo de una línea tangente con respecto al eje y. Por ejemplo, si el sistema reflectante 20 es de tal modo que el rayo portador se pliega en un único plano, la fuente de haz rectangular está orientada con el eje de divergencia más grande 58 paralelo con respecto al eje y.

En el caso de que el sistema reflectante 20 comprenda dos espejos que tienen las formas de unos cilindros parabólicos que tienen unos ejes cilíndricos ortogonales, el uso de la fuente de haz cuadrado es ventajoso. En este caso, de hecho, es posible basarse en el hecho de que la divergencia inicial de un haz cuadrado se reduce, a dos distancias diferentes con respecto a la primera fuente de luz 2, para el fin de obtener un punto luminoso SP que es alargado a lo largo del eje y. La presente realización permite lograr un acoplamiento óptimo entre emisores LED disponibles en el mercado, que son, por lo general, de forma cuadrada, y los concentradores.

Además, en el caso de que el sistema reflectante 20 comprenda un espejo que tiene la forma de un paraboloide circular, el uso de la fuente de haz circular es ventajoso. En este caso, no obstante, la fuente de luz 2 se puede hacer de un único CPC circular, que está acoplado con un conjunto de LED circular, permitiendo esta solución la obtención de una superficie de emisión circular S_f .

La figura 10 muestra una realización adicional en la que la primera fuente de luz 2 es formada de nuevo por unos concentradores CPC 54 idénticos, siendo sus aberturas de entrada EN y sus aberturas de salida SAL, a modo de ejemplo, de nuevo de forma rectangular. En este caso, no obstante, se aplica una máscara 60 sobre la abertura global que es formada por las aberturas de salida SAL; la máscara 60, que se encuentra en el plano de salida P_{SAL} , define una abertura de máscara 62, que tiene una forma que es un rectángulo redondeado con un área más grande que el área de una única abertura de salida SAL. En particular, la máscara 60 puede estar formada por una capa de un material ópticamente absorbente, de tal modo que la radiación puede cruzar el plano de salida P_{SAL} solo a través de la abertura de máscara 62. De esta forma, la primera fuente de luz 2 se sigue percibiendo como que tiene básicamente una superficie de emisión circular S_f . El solicitante de la presente invención percibió adicionalmente que la máscara 60 no distorsiona de forma sustancial la forma del punto luminoso SP que se forma en el plano de la primera superficie S_1 .

Con independencia del número y la forma de los espejos que forman el sistema reflectante 20, el sistema de iluminación 1 puede incluir una segunda fuente de luz, que comprende una capa de emisión de luz difusa, siendo esta capa transparente, o al menos parcialmente transparente. Durante el uso, la fuente de luz adicional emite una luz difusa a partir de la capa de emisión con independencia de ser iluminada por la primera fuente de luz 2, mientras que un observador que mira a través de la capa de emisión de luz difusa de la segunda fuente de luz puede ver la primera fuente de luz 2 más allá de esta capa de emisión. En la presente descripción, el término “transparente” se usa para indicar la así denominada propiedad óptica de “ver a través”, es decir, la propiedad de un elemento óptico de transmitir una luz formadora de imágenes. Más en concreto, considerando un haz de luz que es generado por una fuente de iluminación según la norma D65 de tipo punto que está dispuesta a una gran distancia con respecto a la capa de emisión de luz difusa (por lo tanto, un haz que está constituido por unos rayos de luz paralelos unos con respecto a otros) y que está orientado en perpendicular con respecto a la capa de emisión de luz difusa, de tal modo que una porción de la capa de emisión de luz difusa es iluminada por un determinado haz de rayos que son generados por la fuente de iluminación según la norma D65, la capa de emisión de luz difusa se define como

parcialmente transparente si al menos un 50 %, preferiblemente un 70 %, más preferiblemente un 85 % de los rayos de luz del haz son transmitidos por la capa de emisión de luz difusa dentro de un cono con una abertura angular de FWHM no más grande que 8°, preferiblemente 4°, lo más preferiblemente 2°. Por razones de compleción, se ha de hacer notar, adicionalmente, que también el primer panel de difusión 4 es parcialmente transparente.

5 Desde un punto de vista práctico, dada una fuente de iluminación normalizada (por ejemplo, una fuente según la norma D65) que emite luz de manera uniforme a partir de una superficie de emisión circular, y dado un observador convencional que ve la superficie de emisión bajo un ángulo sólido cónico de 8°, preferiblemente 4°, lo más preferiblemente 2°, la luminancia de la superficie de emisión tal como es percibida por el observador cuando la capa de emisión de luz difusa parcialmente transparente está interpuesta entre el observador y la superficie de emisión es, por lo tanto, al menos un 50 %, preferiblemente al menos un 70 %, más preferiblemente al menos un 85 % de la correspondiente luminancia que es percibida por el observador cuando se encuentra ausente la capa de emisión de luz difusa.

15 Habiéndose dicho todo lo anterior, tal como se muestra en la figura 11, la segunda fuente de luz (que se designa con 68) se puede disponer en paralelo con respecto al primer panel de difusión 4, por ejemplo, por encima de de este y, por ejemplo, en contacto directo con el mismo.

20 La segunda fuente de luz 68 puede comprender un segundo panel de difusión 64 y un iluminador 66, estando conformado el segundo panel de difusión 64 como una guía de luz que está iluminada lateralmente por el iluminador 66, estando formado el iluminador 66, como un ejemplo, por una banda lineal de LED o una lámpara de tubo fluorescente, de tal modo que la luz que es emitida por el iluminador 66 se propaga en modo guiado en el interior del segundo panel de difusión 64, que difunde la misma de forma homogénea. El segundo panel de difusión 64 puede ser, por ejemplo, un difusor disponible en el mercado adecuado para una iluminación lateral como, por ejemplo, "LED Acrylite®" o "LED EndLighten Plexiglas®". Además, tal como se muestra en la figura 11, el espesor a lo largo del eje H del segundo panel de difusión 64 es despreciable en comparación con el espesor a lo largo de una dirección K perpendicular con respecto al eje H.

30 En una configuración particular, el segundo panel de difusión 64 está formado por un tercer material (por ejemplo, un material que está seleccionado de entre los materiales que se han enumerado previamente con referencia al primer material), en el que están dispersadas unas micropartículas de un cuarto material (por ejemplo, ZnO, TiO₂, ZrO₂, SiO₂, Al₂O₃); tales tercer y cuarto material no absorben luz con unas longitudes de onda en el intervalo visible. En particular, los diámetros de las micropartículas pueden variar de 2 µm a 20 µm.

35 Cuando se encuentra en uso, parte de la radiación que es guiada por el segundo panel de difusión 64 sale del segundo panel de difusión 64 al tiempo que se propaga a lo largo del segundo panel de difusión 64, debido a la difusión por las micropartículas del cuarto material. Debido a que el segundo panel de difusión 64 tiene un espesor despreciable a lo largo del eje H en comparación con la dirección K, el segundo panel de difusión 64 es básicamente transparente a la radiación que se propaga a lo largo del eje H, pero funciona como un difusor para la radiación que se propaga a lo largo de la dirección K.

40 Además, suponiendo que el segundo panel de difusión 64 está delimitado en el lado superior y el lado inferior por una tercera y una cuarta superficie S₃, S₄, se puede dar un acabado superficial a al menos una de entre tal tercera y tal cuarta superficie S₃, S₄ para introducir rugosidad. Tal rugosidad contribuye a la difusión por medio del segundo panel de difusión 64 de la luz que es generada por el iluminador 66, siendo el proceso de difusión virtualmente homogéneo a lo largo de cualquier dirección paralela con respecto a la dirección K. De una forma conocida en sí, la rugosidad se puede diseñar de tal modo que gran parte de la luz que es generada por el iluminador 66 se dispersa principalmente a través de una entre la tercera y la cuarta superficie S₃, S₄ y, en particular, hacia el primer panel de difusión 4. En el caso de que al menos una entre la tercera y la cuarta superficie S₃, S₄ presente rugosidad, no es necesario que se disperse micropartícula alguna en el segundo panel de difusión 64. En cualquier caso, se pueden encontrar presente rugosidad tanto sobre la tercera como sobre la cuarta superficie S₃, S₄ del segundo panel de difusión 64.

55 En una configuración diferente, la segunda fuente de luz 68 incluye una superficie de emisión sustancialmente transparente, que se hace de una película de OLED. La película de OLED también es capaz de generar una luz difusa con un color y una intensidad controlados, que es al mismo tiempo transparente a la luz que cruza la misma a lo largo de una dirección perpendicular con respecto a su superficie.

60 La segunda fuente de luz 68 permite cambiar el color y la intensidad de la componente de luz difusa que es generada por el sistema de iluminación 1, básicamente sin cambiar el color y la intensidad de la componente transmitida. Para este fin, es posible actuar sobre el color y la intensidad de la luz que es emitida por la segunda fuente de luz 68.

65 Por ejemplo, teniendo por objeto la reproducción de las características de la luz al caer la tarde, se puede usar una lámpara con una CCT baja, por ejemplo, 2500 K, como la primera fuente de luz 2; de esta forma, el color de la componente transmitida es similar al color de la luz del sol antes de la puesta de sol. Sin la segunda fuente de luz

68, el color de la componente que es dispersada solo por el primer panel de difusión 4 sería diferente del color de la correspondiente componente natural. De hecho, lo que tiene lugar en la naturaleza es que el cielo por encima del observador es iluminado por una luz del sol blanca, es decir, por una luz del sol que no ha cruzado todavía la atmósfera, que tiene una CCT que es aproximadamente igual a 6000 K, un valor mucho más alto que la CCT de la lámpara. Como consecuencia, la CCT de la luz que es dispersada por el cielo por encima del observador en las últimas horas de la tarde es significativamente más alta que la CCT de la luz que es dispersada por el primer panel de difusión 4, en el caso de que la primera fuente de luz 2 que ilumina este último tenga una CCT baja. No obstante, si se usa la segunda fuente de luz 68 y, en particular, si se usa el segundo panel de difusión 64 junto con el iluminador 66, y este último se hace de un conjunto de emisores LED de colores rojo, verde, azul ("RGB", *red, green, blue*), es posible ajustar el flujo luminoso para cada uno de tres elementos de este tipo; esto permite que el segundo panel de difusión 64 genere una componente dispersada que tiene un color y una intensidad que son de tal modo que la componente global que sale del primer panel de difusión 4 y es dispersada por el primer y el segundo panel de difusión 4, 64, tiene el color deseado. Dicho de otra forma, la segunda fuente 68 permite desacoplar el color de la componente transmitida del color de la componente dispersada. Además, si se usa una lámpara con una CCT ajustable como la primera fuente de luz 2, se puede reproducir la variación de la iluminación natural a diferentes horas del día.

También son posibles otras realizaciones en las que la segunda fuente de luz 68 está colocada bajo el primer panel de difusión 4, de una forma tal que la luz que es generada por la primera fuente de luz 2 pasa a través del primer panel de difusión 4 antes de pasar a través del segundo panel de difusión 64. Además, son posibles realizaciones adicionales en las que el primer y el segundo paneles de difusión 4, 64 están físicamente separados.

También son posibles algunas realizaciones en las que la segunda fuente de luz 68 se usa en ausencia del primer panel de difusión 4, es decir, en ausencia del panel de Rayleigh. En este caso, el eje H es una línea perpendicular con respecto a la capa de emisión de luz difusa y que cruza el baricentro de la capa de emisión de luz difusa.

A la vista de lo anterior, la totalidad de las realizaciones que se divulgan hacen referencia a un sistema que incluye una primera fuente de luz, un generador de luz difusa y una cámara oscura, en donde el generador de luz difusa está conformado como un componente en capas que está delimitado por una superficie interior (que está orientada hacia la cámara oscura) y una superficie exterior (que está orientada hacia la habitación), y la primera fuente de luz está configurada para emitir un haz de luz visible, y la cámara oscura está ópticamente acoplada con la habitación por medio del generador de luz difusa. Además, el generador de luz difusa está configurado para recibir el haz de luz visible, y para ser al menos parcialmente transparente al haz de luz visible, y para transmitir al menos parte del haz de luz visible, y para emitir una luz difusa visible a partir de la superficie exterior, y para generar una luz transmitida que tiene una CCT más baja que la CCT de la luz difusa visible. El generador de luz difusa se puede encontrar sustancialmente libre de absorción o reflexión cromática, es decir, de absorber o reflejar, de forma preferente, una porción limitada del espectro de luz visible con respecto a otra porción.

Más en particular, la CCT de la luz difusa es más alta que la CCT de la luz transmitida; aún más en particular, la CCT de la luz transmitida no es más grande que la CCT del haz de luz que es generado por la primera fuente de luz. Además, tal como ya se ha indicado, en el contexto de la presente invención, la luz que es "transmitida" por un elemento óptico se entiende como la porción de los rayos de luz que impactan sobre el elemento óptico que cruzan el elemento óptico sin experimentar una desviación angular significativa, por ejemplo, siendo desviados un ángulo más pequeño que $0,1^\circ$. Por lo tanto, se dice que una componente óptica "transmite al menos una porción" de un haz de luz incidente siempre que produzca una componente de luz transmitida.

Tal como ya se ha explicado en lo que antecede, el generador de luz difusa puede estar formado por una capa de difusión de Rayleigh, es decir, una capa que difunde de forma selectiva la componente de longitud de onda corta de la radiación luminosa que proviene de una fuente de luz principal, estando conformada esta capa de difusión de Rayleigh, por ejemplo, como un panel plano (al igual que en el caso del primer panel de difusión 4), o como un panel curvado (que no se muestra). Además, o como alternativa, el generador de luz difusa puede estar formado por una fuente de luz difusa, es decir, una fuente de luz que emite una luz difusa a partir de una capa extendida ortogonal con respecto al eje H, con independencia de la luz que se recibe a partir de la fuente de luz principal. En el caso de usar solo la fuente de luz difusa, esta fuente no opera para corregir el color de la luz difusa tal como es producida, por ejemplo, por el primer panel de difusión 4, sino para generar la totalidad de la componente difusa de la luz que es emitida por el sistema de iluminación. En determinadas realizaciones, el generador de luz difusa puede tener una forma alargada, en el sentido de que un primer círculo que está inscrito en la superficie interior tiene un diámetro al menos 1,5 veces más pequeño, preferiblemente dos veces más pequeño que un segundo círculo que está circunscrito a la misma superficie interior.

Además, las consideraciones en lo que respecta a la presencia de una capa de difusión de Rayleigh y/o una fuente de luz que emite una luz difusa también son de aplicación a las variantes que se describirán en lo sucesivo.

Las ventajas aportadas por el presente sistema de iluminación se ponen de manifiesto por medio de la descripción previa.

Con detalle, el presente sistema de iluminación permite que un observador perciba la existencia de un espacio ilimitado más allá del generador de luz difusa, de forma similar a lo que tiene lugar en la naturaleza cuando el cielo y el Sol iluminan una habitación a través de una ventana. Tal resultado es debido a la presencia de la cámara oscura, que está acoplada con la habitación por medio del generador de luz difusa. La cámara oscura permite percibir un segundo plano de color negro homogéneo para cada dirección a lo largo de la cual se observan el primer y/o el segundo paneles de difusión. Además, tal efecto se mejora mediante la adopción de una distancia adecuada del observador a la fuente (y, por lo tanto, una primera y/o segunda distancia del panel a la fuente), y/o mediante el uso de un sistema reflectante que refleja los rayos de luz de una forma tal que estos presentan un intervalo limitado de pendientes.

Además, algunas realizaciones de la presente invención dan lugar al efecto de penetración que se ha mencionado en lo que antecede al tiempo que limitan el espacio que es ocupado por el sistema de iluminación. En particular, la realización que se muestra en la figura 2 es un sistema de iluminación desplazado con respecto al eje, en concreto, un sistema en el que la fuente de luz y el primer panel de difusión no están alineados, lo que permite reducir el espacio que es ocupado por el propio sistema, sin deteriorar la calidad de la iluminación.

Finalmente, es evidente que se pueden hacer modificaciones y variaciones al presente sistema de iluminación sin apartarse del alcance de la presente invención, tal como es definido por las reivindicaciones adjuntas.

Por ejemplo, la posición de la fuente de luz con respecto al foco / focos de los elementos ópticos del sistema reflectante puede ser diferente de las que se describen. Además, en lugar de, o además de un espejo convergente, el sistema reflectante puede comprender un espejo divergente. Además, con el fin de lograr una eliminación completa de la divergencia, al menos a lo largo de la dirección del eje y, se pueden considerar unas formas más complejas de los espejos (por ejemplo, conformaciones de forma libre).

Además, la forma de la estructura oscura puede ser diferente de lo que se ha mostrado previamente. De hecho, con el fin de proporcionar un segundo plano sustancialmente uniforme, es suficiente formar una estructura oscura cuyas características geométricas y/o de absorción de luz son de tal modo que, cuando la primera fuente de luz 2 (y el iluminador 66, si se encuentra presente) está activada, es de aplicación una primera condición estructural, que se describe en lo sucesivo en el presente documento, con referencia a la figura 12. Por simplicidad, y sin pérdida alguna de generalidad, en la figura 12 la primera fuente de luz del tipo similar a un punto; además, la estructura oscura se designa con 300 y no tiene esquinas, sin que eso implique pérdida alguna de generalidad. La primera condición estructural que se describe en lo sucesivo en el presente documento es aplicable, en cualquier caso, también a las realizaciones que se han descrito en lo que antecede, al referir esta, como un ejemplo, a las características del elemento de soporte 10 y la capa interior 12. Además, en la figura 12, los ángulos se muestran de una forma cualitativa.

Con detalle, la primera condición estructural que se ha mencionado en lo que antecede prevé que, dado un haz de direcciones (por ejemplo, un haz cónico) 200 con un ángulo superior de al menos 0,1 estereorradianes y un eje de haz 210, en cualquier primer punto 220 de al menos una porción de la segunda superficie S_2 que tiene un área igual a al menos un 50 %, preferiblemente un 80 %, incluso más preferiblemente un 100 %, del área de la totalidad de la segunda superficie S_2 , una primera y una segunda luminancias del primer punto 220, a la que se hará referencia en lo sucesivo en el presente documento como la primera y la segunda luminancias de segundo plano, difieren una de otra en no más de un 50 % de la primera luminancia de segundo plano. Con mayor detalle, la primera y la segunda luminancias de segundo plano se miden en una primera y una segunda direcciones de observación 230, 240, respectivamente, siendo la primera dirección de observación 230 paralela con respecto a cualquiera de las direcciones del haz de direcciones 200 y siendo no paralela con respecto a cualquiera de las direcciones de deslumbramiento local 250, estando la segunda dirección de observación 240 separada de la primera dirección de observación 230 una distancia angular en el intervalo entre 0,3° y 1° y siendo no paralela con respecto a cualquiera de las direcciones de deslumbramiento local 250, siendo las direcciones de deslumbramiento local 250 las direcciones que están separadas menos de 3° con respecto a cualquier dirección 260 bajo la cual cualquier punto de la primera fuente de luz 2 se ve desde el primer punto 220 (dada la suposición de una fuente de tipo punto, se encuentra presente solo una dirección 260). Con mayor detalle, cada una de la primera y la segunda luminancias de segundo plano está formada solo por los rayos de luz que han incidido sobre la estructura oscura y nunca han pasado a través de la habitación 6 (que no se muestra en la figura 12), los cuales nunca han cruzado, por lo tanto, la segunda superficie S_2 viniendo de la habitación 6.

Como un ejemplo, haciendo referencia a cualquiera de la primera y la segunda luminancias de segundo plano, la misma se puede medir con la suposición de acoplar el primer panel de difusión 4 con una primera cámara anecoica en el intervalo visible, en concreto, al suponer que la habitación 6 absorbe el 100 % de la luz incidente, y al llevar a cabo las etapas de:

- después de sustituir la estructura oscura 300 con una segunda cámara anecoica en el intervalo visible, medir la luminancia L_1 del primer punto 220 que se ha mencionado en lo que antecede, en la primera dirección de observación 230; y posteriormente
- eliminar la segunda cámara anecoica y proporcionar la estructura oscura 300; y posteriormente

- medir la luminancia L2 del primer punto 220, aún en la primera dirección de observación 230; y
- calcular la diferencia entre la luminancia L2 y la luminancia L1.

5 Tal como se muestra en la figura 12, el eje de haz 210 puede coincidir con la dirección 260 bajo la cual la primera fuente de luz 2 se ve desde el primer punto 220. Además, el haz de direcciones 200 y la orientación del mismo en relación con el primer panel de difusión 4 son invariantes con respecto a la posición del primer punto 220 que se ha mencionado en lo que antecede sobre la segunda superficie S₂.

10 Tal como se ha mencionado previamente, la primera condición estructural puede ser cumplida también por las otras realizaciones. Por lo tanto, es posible, como un ejemplo, que el elemento de soporte 10 y la capa interior 12 sean diferentes de lo que se ha mostrado, pero tal como para cumplir, de todos modos, la primera condición estructural. Como un ejemplo, la capa interior 12 puede revestir solo una porción del elemento de soporte 10, que, a su vez, se puede formar en más de una pieza. A este respecto, al menos parte de la estructura oscura puede estar formada por una carcasa de la primera fuente de luz 2, o por una o más pantallas; de forma similar, el elemento de soporte 10 puede presentar una o más aberturas ópticas, como un ejemplo, que están cerradas por unos elementos correspondientes que son mates en el intervalo visible, o que están cubiertos por elementos de enladrillado.

20 La estructura oscura 300 se puede configurar adicionalmente para cumplir una segunda condición estructural y, en concreto, para evitar que, cuando la primera fuente de luz 2 está activada, la primera luminancia de segundo plano que se ha mencionado en lo que antecede sea más grande que un valor umbral de luminancia igual a un 30 % de la luminancia total del primer punto 220 en la primera dirección de observación 230, midiéndose esta luminancia total con la suposición de ausencia de rayos de luz que provienen de la habitación 6 y, por lo tanto, por medio de la primera cámara anecoica que se ha mencionado en lo que antecede. Además, son posibles algunas realizaciones en las que se cumple la segunda condición estructural, pero no la primera condición estructural. Además, la segunda condición estructural puede ser cumplida también por las otras realizaciones. Por lo tanto, como un ejemplo, es posible que el elemento de soporte 10 y la capa interior 12 sean diferentes de lo que se ha mostrado, pero tal como para cumplir, de cualquier forma, la segunda condición estructural.

30 Un ejemplo adicional de estructura oscura, aplicable a la totalidad de las realizaciones que se han descrito en lo que antecede, se muestra en la figura 13. En este ejemplo, solo una porción del elemento de soporte 10 está revestida por una correspondiente porción de la capa interior, a la que se hace referencia como parche absorbente 310. El parche absorbente 310 tiene un coeficiente de absorción en el intervalo visible sustancialmente uniforme y/o un coeficiente de absorción en el intervalo visible al menos igual a un 70 %, preferiblemente un 90 %; además, preferiblemente el parche absorbente 310 se encuentra libre de bordes y tiene un área al menos igual a un 50 %, preferiblemente un 80 %, de la primera superficie S₁.

40 Una realización adicional se muestra en la figura 14, en la que, por simplicidad, se hace referencia al caso en el que se encuentran ausentes el segundo panel de difusión 64 y el iluminador 66; además, en la figura 14 no se muestran la estructura oscura y el sistema reflectante. En la presente realización, aguas abajo del primer panel de difusión 4 está dispuesto un elemento de referencia visual, tal como un ejemplo, una superficie reflectante 320, que está delimitado por un borde y está dispuesto de tal modo que al menos una porción del mismo es iluminada, junto con una correspondiente porción del borde, por la luz que es generada por la primera fuente de luz 2 y que es transmitida por el primer panel de difusión 4. Esta porción de la superficie reflectante 320 tiene un área al menos igual a un 50 %, preferiblemente un 70 %, incluso más preferiblemente un 100 %, del área de la totalidad de la superficie reflectante 320. Además, esta porción de la superficie reflectante 320 es de tal modo que la trayectoria más corta de entre las trayectorias ópticas que conectan la primera fuente de luz 2 con la superficie reflectante 320 tiene una longitud igual a al menos un 50 %, preferiblemente un 70 %, incluso más preferiblemente un 100 %, de la distancia máxima entre cualesquiera dos puntos de esta porción de la superficie reflectante 320.

50 Tal como se muestra en la figura 15, el elemento de referencia visual puede estar formado por un diafragma 350 entre dos habitaciones, que delimita una correspondiente abertura, que pone en comunicación óptica las dos habitaciones. Por lo tanto, esta abertura forma una superficie inmaterial (con la excepción del borde) y tiene una porción respectiva, que está delimitada por una correspondiente porción del borde, que cumple los requisitos que se han mencionado hace poco con referencia a la porción que se ha mencionado en lo que antecede de la superficie reflectante 320.

60 En la práctica, haciendo referencia a las realizaciones que se muestran en las figuras 14 y 15, ocurre que, cuanto más cerca de uno se encuentra la relación de la velocidad a la que se mueve el observador con respecto a la velocidad a la que el mismo ve moverse la primera fuente de luz 2 con respecto a la referencia visual (el borde de las porciones que se han mencionado en lo que antecede de la superficie reflectante 320 y la abertura del diafragma 350), es decir, cuanto más cerca de la referencia visual se encuentra el observador, más grande es el efecto de profundidad que es inducido por el así denominado paralaje de movimiento. Además, las porciones que se han mencionado en lo que antecede de la superficie reflectante 320 y de la abertura del diafragma 350 pueden tener unas áreas estrechas, como un ejemplo, iguales a 1/10, preferiblemente 3/10, incluso más preferiblemente 1/2, del área de la segunda superficie S₂.

65

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de iluminación para iluminar (1) un entorno (6) con una iluminación que simula una iluminación natural, que comprende:

- una primera fuente de luz (2) que está configurada para emitir un haz de luz visible;
 - un generador de luz difusa (4; 68) que está delimitado por una superficie interior (S₁, S₃) que está configurada para recibir el haz de luz, y por una superficie exterior (S₂), siendo dicho generador de luz difusa al menos parcialmente transparente al haz de luz, estando configurado para transmitir al menos parte del haz de luz sin desviaciones significativas y estando adicionalmente configurado para emitir, a través de la superficie exterior, una luz difusa visible, siendo la temperatura de color correlacionada (CCT) de la luz transmitida más baja que la CCT de la luz difusa visible; caracterizado por que comprende adicionalmente una estructura oscura (10, 12; 300; 310), que está configurada para estar ópticamente acoplada con el entorno por medio del generador de luz difusa, y en el que:

- al menos una porción de la estructura oscura tiene un coeficiente de absorción sustancialmente uniforme en el intervalo visible, y la estructura oscura está configurada para proporcionar un segundo plano sustancialmente uniforme a la primera fuente de luz; y/o
 - al menos una porción de la estructura oscura tiene un coeficiente de absorción en el intervalo visible al menos igual a un 70 %, y la estructura oscura está configurada para proporcionar un segundo plano oscuro a la primera fuente de luz.

2. El sistema de iluminación de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la estructura oscura (10, 12; 300; 310) está configurada para evitar que la luz externa ilumine el generador de luz difusa (4; 68) desde aguas arriba.

3. El sistema de iluminación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estructura oscura (10, 12; 300; 310) está configurada de tal modo que, cuando la primera fuente de luz (2) está activada, y dado un haz de direcciones (200) con un ángulo superior de al menos 0,1 estereorradianes, en cualquier primer punto (220) de al menos una porción de la superficie exterior (S₂), una primera y una segunda luminancias de segundo plano de dicho primer punto difieren una de otra en no más de un 50 % de la primera luminancia de segundo plano, midiéndose dicha primera y dicha segunda luminancias de segundo plano respectivamente en una primera y una segunda direcciones de observación (230, 240), siendo la primera dirección de observación paralela con respecto a cualquiera de las direcciones del haz de direcciones y no paralela con respecto a cualquiera de las direcciones de deslumbramiento local (250), estando la segunda dirección de observación separada de la primera dirección de observación una distancia angular en el intervalo de 0,3° - 1° y siendo no paralela con respecto a cualquiera de las direcciones de deslumbramiento local, siendo dichas direcciones de deslumbramiento local las direcciones que están separadas menos de 3° con respecto a cualquier dirección (260) bajo la cual la primera fuente de luz se ve desde dicho primer punto, estando cada una de dicha primera y dicha segunda luminancias de segundo plano formada solo por los rayos de luz que han incidido sobre la estructura oscura y nunca han pasado a través del entorno (6).

4. El sistema de iluminación de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la estructura oscura (10, 12; 300; 310) está adicionalmente configurada para evitar que, cuando la primera fuente de luz (2) está activada, dicha primera luminancia de segundo plano sea más grande que un valor de luminancia umbral igual a un 30 % de la luminancia global de dicho primer punto (220) en dicha primera dirección de observación (230), en ausencia de rayos de luz que provienen del entorno (6).

5. El sistema de iluminación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el generador de luz difusa (6; 68) está dispuesto con respecto a la primera fuente de luz (2) de tal modo que la relación

$$|\tan(\theta_1 - \theta_e)| \leq 0,5 \cdot \cos(\theta_1)$$

resulta cierta, en la que:

- θ_1 es el ángulo con el que un primer rayo de luz del haz de luz, que se origina en el baricentro (O") de una superficie de emisión (S₁) de la primera fuente de luz, impacta sobre el baricentro de la superficie interior; y
 - θ_e es el ángulo con el que un segundo rayo de luz, que se origina en el baricentro de la superficie de emisión de la primera fuente de luz, impacta sobre un punto de la frontera de la superficie interior, siendo dicho punto el punto de entre los puntos de la frontera que tiene la distancia máxima con respecto al baricentro de la superficie interior.

6. El sistema de iluminación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, en el que el generador de luz difusa (4; 68) está dispuesto con respecto a la primera fuente de luz (2) de tal modo que la relación

$$|\tan(\theta_1 - \theta_2)| \leq X \cdot \cos(\theta_1) / L$$

5 resulta cierta para al menos un punto de la superficie interior (S_1) que presenta una separación X con respecto a un baricentro (O) de la superficie interior (S_1, S_3), en la que:

- θ_1 es el ángulo con el que un primer rayo de luz del haz de luz, que se origina en el baricentro (O) de una superficie de emisión (S_f) de la primera fuente de luz, impacta sobre el baricentro de la superficie interior;
- θ_2 es el ángulo con el que un segundo rayo de luz, que se origina en el baricentro de la superficie de emisión de la primera fuente de luz, impacta sobre dicho al menos un punto de la superficie interior; y
- L es igual a, o más grande que, tres metros.

7. El sistema de iluminación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, en el que el generador de luz difusa (6; 68) está dispuesto con respecto a la primera fuente de luz (2) de tal modo que la relación

$$|\tan(\theta_1 - \theta_2)| \leq X \cdot \cos(\theta_1) / L$$

15 resulta cierta para al menos un punto de la superficie interior (S_1) que presenta una separación X con respecto a un baricentro (O) de la superficie interior (S_1, S_3), en la que:

- θ_1 es el ángulo con el que un primer rayo de luz del haz de luz, que se origina en el baricentro (O) de una superficie de emisión (S_f) de la primera fuente de luz, impacta sobre el baricentro de la superficie interior;
- θ_2 es el ángulo con el que un segundo rayo de luz, que se origina en el baricentro de la superficie de emisión de la primera fuente de luz, impacta sobre dicho al menos un punto de la superficie interior; y
- L es igual a al menos un 70 % de la distancia máxima entre cualesquiera dos puntos de la superficie interior.

8. El sistema de iluminación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente un sistema óptico reflectante (20) que está dispuesto en el interior de la estructura oscura (10) y que está configurado para transportar el haz de luz sobre la superficie interior (S_1, S_3), siendo dicho sistema óptico reflectante de tal modo que los rayos de luz que provienen, durante el uso, de la superficie interior y que impactan sobre el sistema óptico reflectante no se reflejan sobre la superficie interior.

9. El sistema de iluminación de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el sistema óptico reflectante (20) comprende un primer espejo (22) de tipo plano; y en el que dicho primer espejo (22) está dispuesto en paralelo con respecto a la superficie interior (S_1, S_3), de una forma tal que la proyección del primer espejo sobre un plano que contiene la superficie interior no se solapa con la superficie interior.

10. El sistema de iluminación de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el sistema óptico reflectante (20) comprende un primer espejo (22; 24) del tipo convergente; y en el que el primer espejo (22) está conformado como una porción de un paraboloide circular.

11. El sistema de iluminación de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el sistema óptico reflectante (20) comprende un primer espejo (22; 24) del tipo convergente; y en el que el primer espejo (22) está conformado como una porción de un cilindro parabólico.

12. El sistema de iluminación de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el sistema óptico reflectante (20) comprende adicionalmente un segundo espejo (24) que está conformado como una parte de un cilindro parabólico, siendo los ejes del primer y el segundo espejos sustancialmente ortogonales entre sí.

13. El sistema de iluminación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, que comprende adicionalmente un sistema óptico reflectante (20) que está dispuesto en el interior de la estructura oscura (310) y que está configurado para transportar el haz de luz sobre la superficie interior (S_1, S_3), siendo dicho sistema óptico reflectante de tal modo que los rayos de luz que provienen, durante el uso, de la superficie interior y que impactan sobre el sistema óptico reflectante no se reflejan sobre la superficie interior; comprendiendo dicho sistema óptico reflectante un primer espejo (22) y formando una trayectoria óptica que conecta la primera fuente de luz (2) con la superficie interior (S_1, S_3), dando lugar al primer espejo (22) a una última desviación de la trayectoria óptica antes de la superficie interior (S_1, S_3); y en el que la línea que pasa a través de los dos puntos más cercanos de la superficie interior (S_1) y el primer espejo (22) impacta sobre dicha porción de la estructura oscura (310).

14. El sistema de iluminación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera fuente de luz (2) está formada por una pluralidad de dispositivos de emisión de luz (52) y una pluralidad de concentradores reflectantes (54), teniendo cada concentrador reflectante forma de embudo y teniendo una abertura de entrada (EN) y una abertura de salida (SAL), siendo el área de la abertura de entrada más pequeña que el área de la abertura de salida, estando cada dispositivo de emisión de luz ópticamente acoplado con la abertura de entrada de un concentrador reflectante respectivo; y en el que la abertura de salida (SAL) de cada concentrador

reflectante (54) está conformada como un rectángulo.

5 15. El sistema de iluminación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 - 13, en el que la primera fuente de luz (2) está formada por una pluralidad de dispositivos de emisión de luz (52) y una pluralidad de concentradores reflectantes (54), teniendo cada concentrador reflectante forma de embudo y teniendo una abertura de entrada (EN) y una abertura de salida (SAL), siendo el área de la abertura de entrada más pequeña que el área de la abertura de salida, estando cada dispositivo de emisión de luz ópticamente acoplado con la abertura de entrada de un concentrador reflectante respectivo; y en el que las aberturas de salida (SAL) son alargadas a lo largo de una dirección de alargamiento (57), teniendo dicho haz de luz un eje de máxima divergencia (58), estando el sistema óptico reflectante (20) configurado de tal modo que, durante el uso, un haz de rayos de luz que emanan del baricentro (O^o) de una superficie de emisión (S_i) de la primera fuente de luz (2) y que se encuentran en el plano de máxima divergencia impacta sobre la superficie interior (S₁, S₃) a lo largo de una línea tangente con respecto a un eje (y) que pasa a través del baricentro de la superficie interior y es perpendicular con respecto al plano de incidencia de un rayo portador sobre el primer espejo, siendo el rayo portador el rayo de luz que conecta el baricentro de la superficie de emisión con el baricentro de la superficie interior, por medio del sistema óptico reflectante.

20 16. El sistema de iluminación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el generador de luz difusa comprende un primer difusor (4) que está configurado para no absorber de forma sustancial la luz en el intervalo visible y para difundir de forma más eficiente las componentes de longitudes de onda cortas con respecto a las componentes de longitud de onda larga del haz de luz, estando dicho difusor configurado para difundir los rayos de luz con una longitud de onda igual a 450 nm al menos 1,2 veces más eficientemente que los rayos de luz con una longitud de onda igual a 650 nm; y en el que el primer difusor (4) comprende una matriz de un primer material en la que están dispersadas unas primeras partículas de un segundo material, teniendo dicho primer y dicho segundo materiales, respectivamente, un primer y un segundo índices de refracción, teniendo dichas primeras partículas unos diámetros equivalentes de tal modo que el producto de dichos diámetros equivalentes por el primer índice de refracción se encuentra en el intervalo de 5 nm - 350 nm.

30 17. El sistema de iluminación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el generador de luz difusa comprende una segunda fuente de luz (68) que está configurada para emitir al menos una porción de dicha luz difusa visible con independencia de la primera fuente de luz (2); y en el que la segunda fuente de luz (68) comprende:

- 35 - un segundo difusor (64) que está conformado como un panel de guiado de luz y que está configurado para iluminarse por el borde; y
- un iluminador (66) para iluminar por el borde el segundo difusor (64).

40 18. El sistema de iluminación de acuerdo con la reivindicación 17, en el que la CCT de al menos uno de la primera fuente de luz (2) y el iluminador (66) es variable de una forma controlable.

19. El sistema de iluminación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17 - 18, en el que la segunda fuente de luz (68) comprende un OLED.

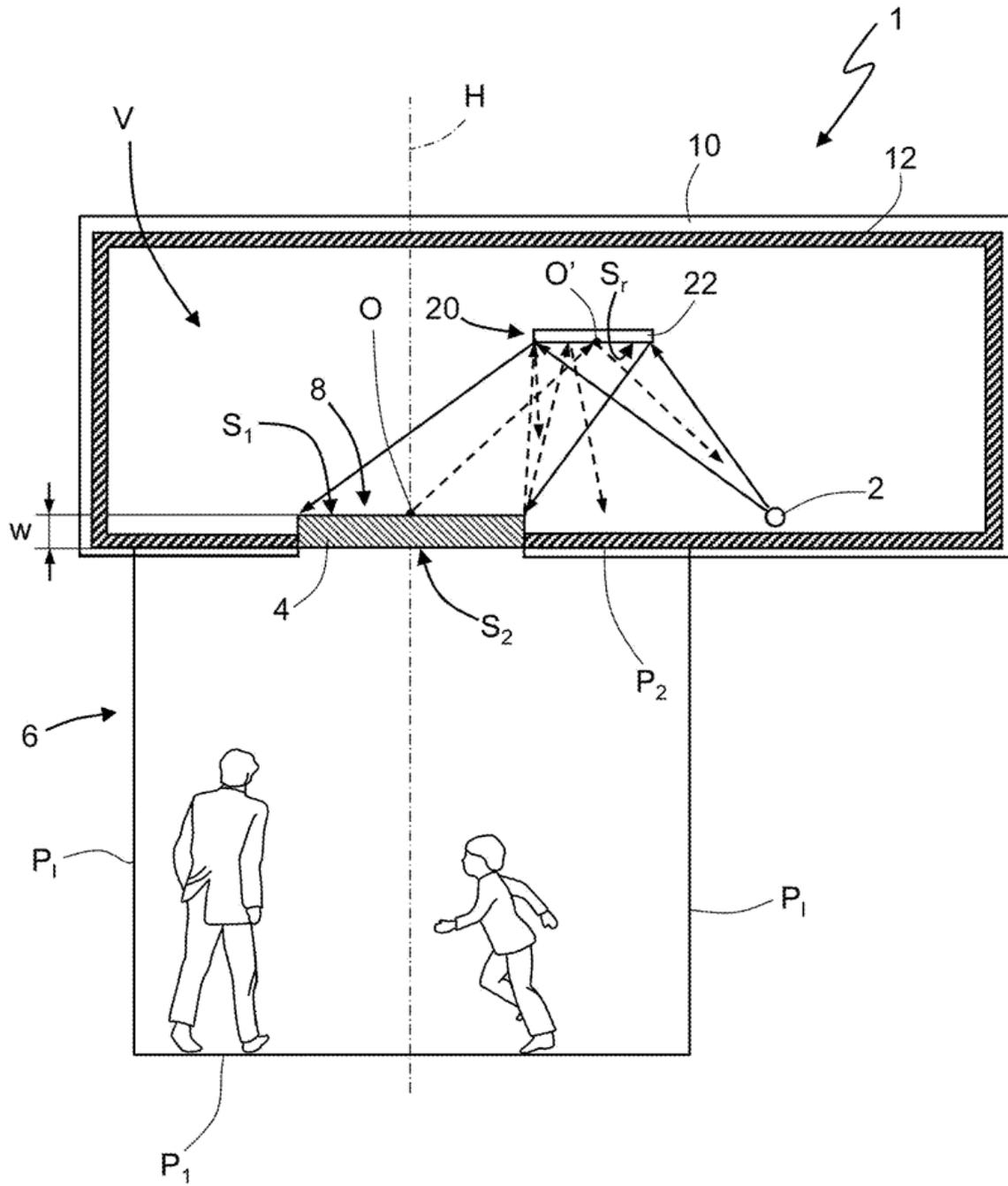


Fig.2

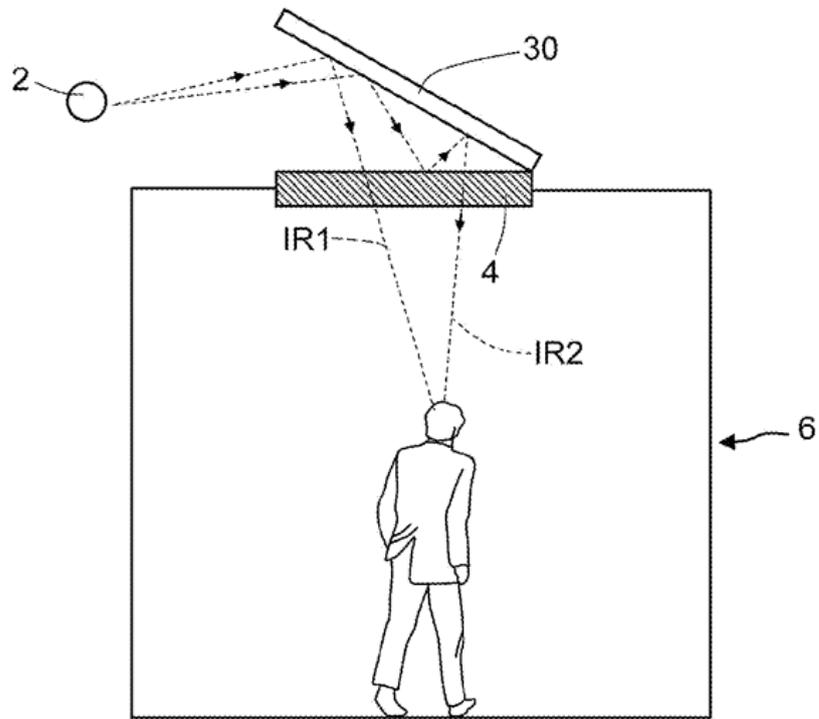


Fig.3

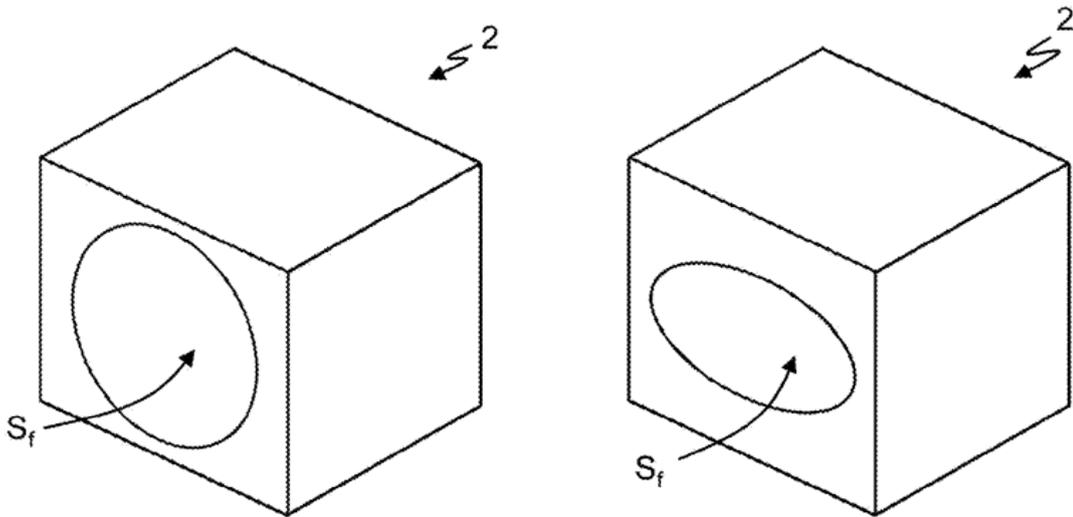


Fig.4a

Fig.4b

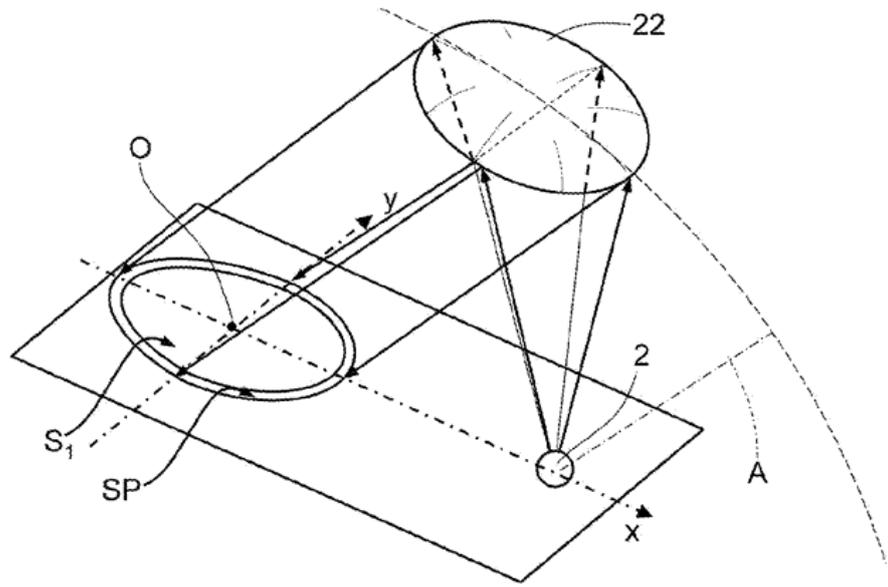


Fig.5a

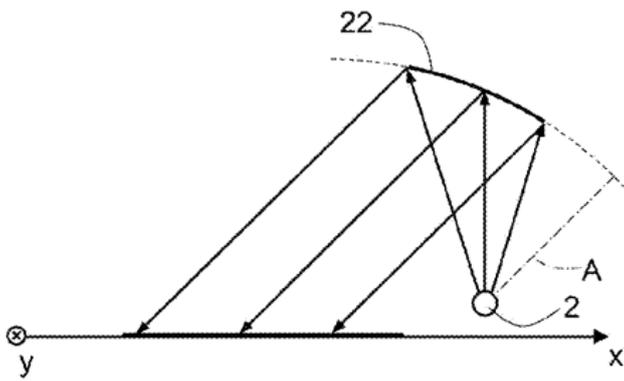


Fig.5b

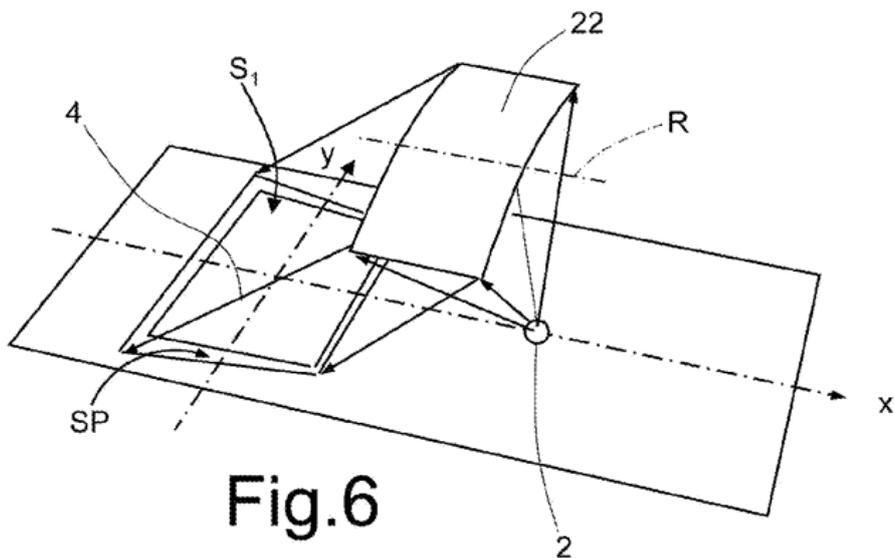


Fig.6

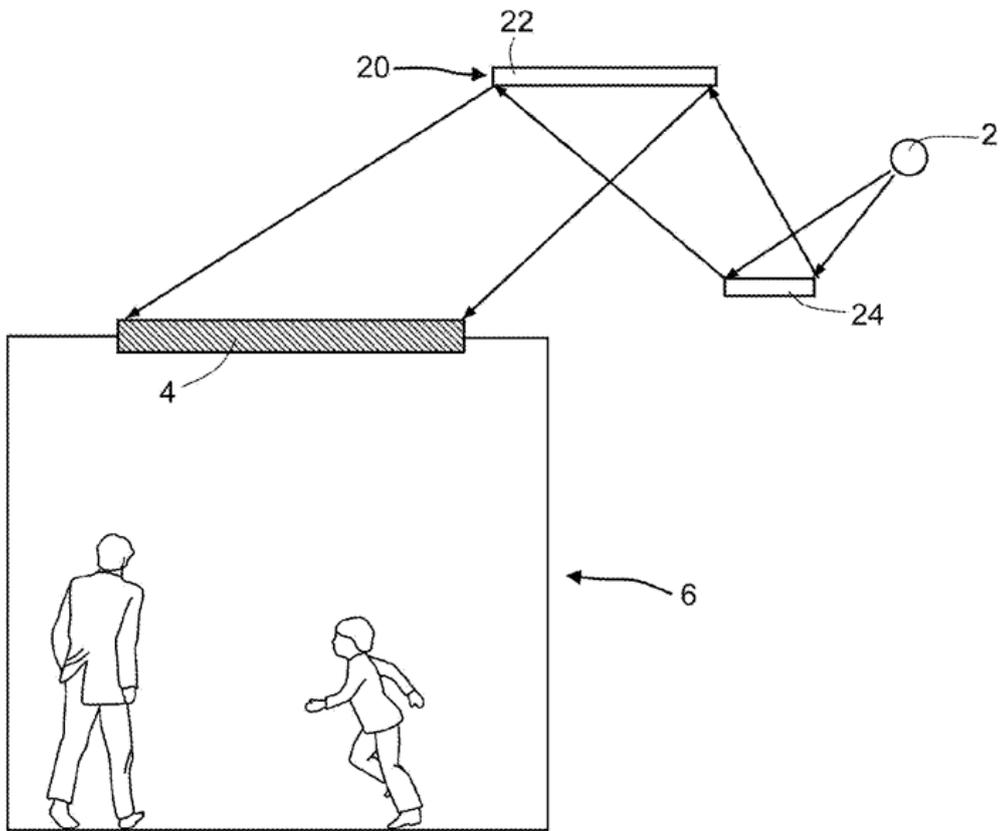


Fig.7

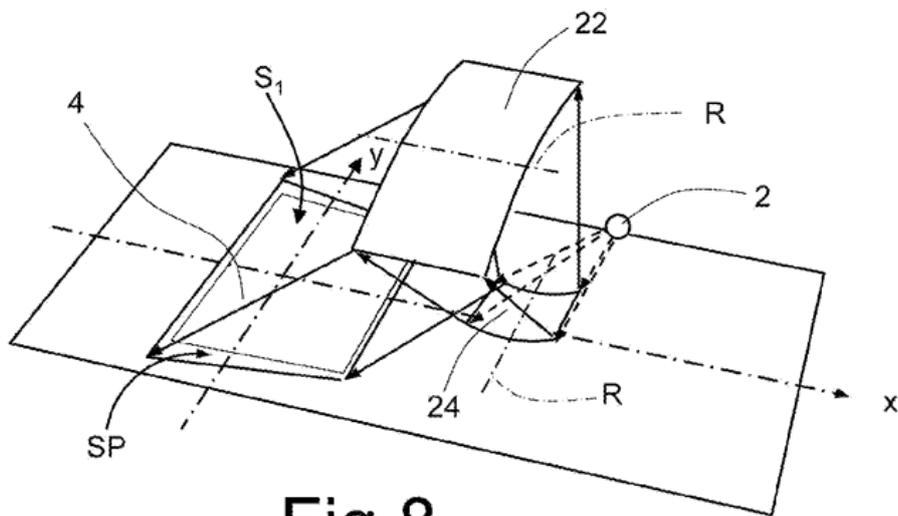


Fig.8

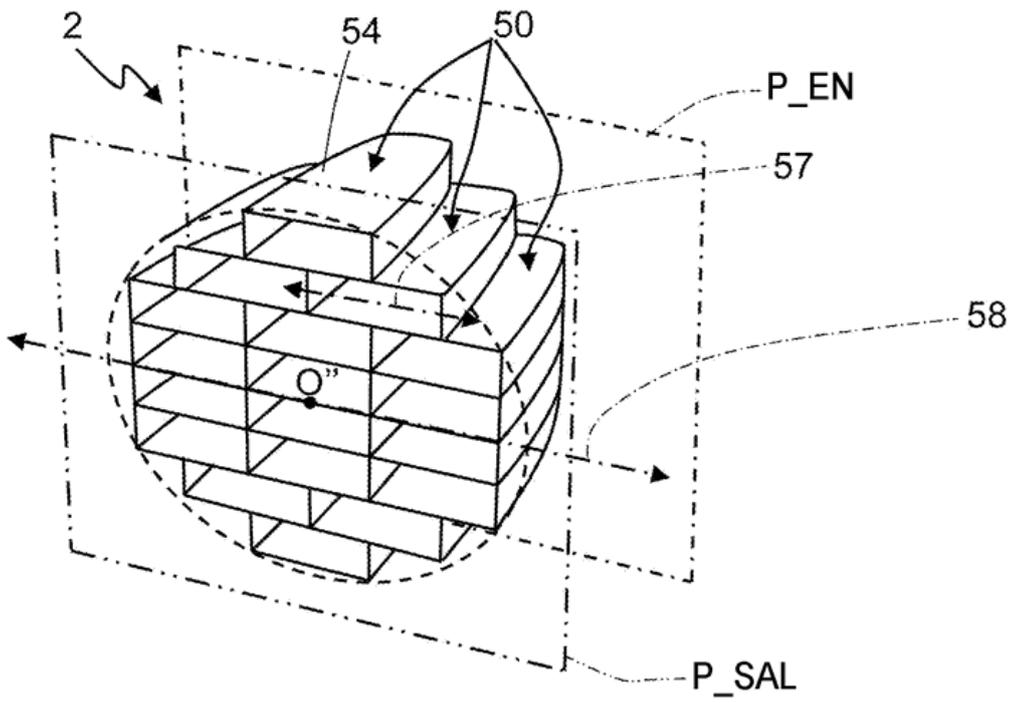


Fig.9a

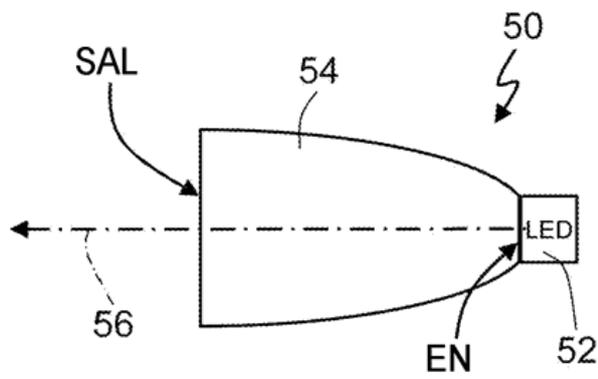


Fig.9b

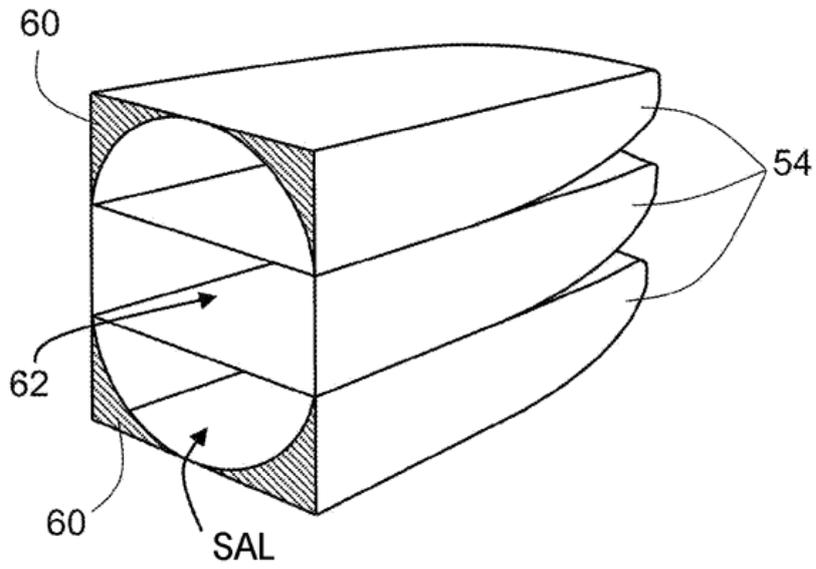


Fig.10

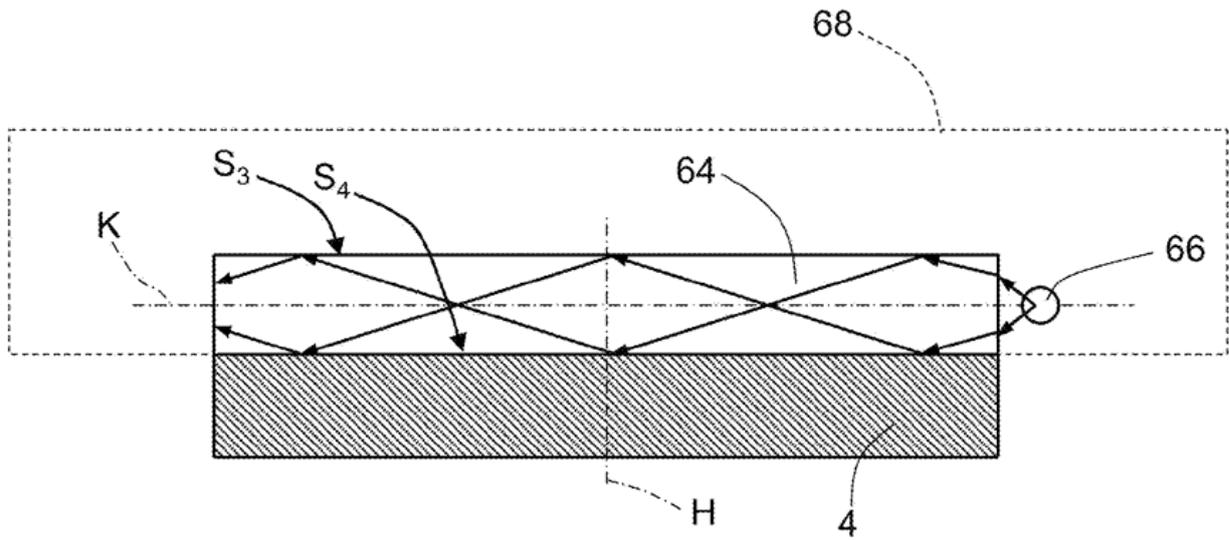


Fig.11

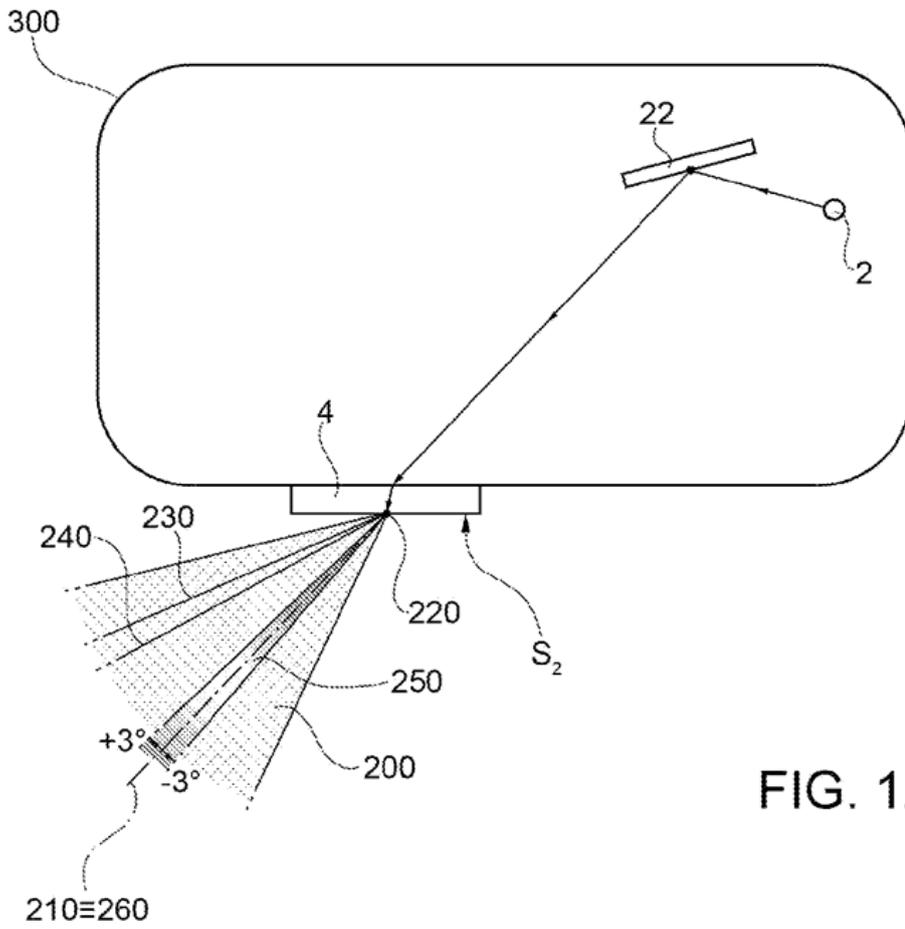


FIG. 12

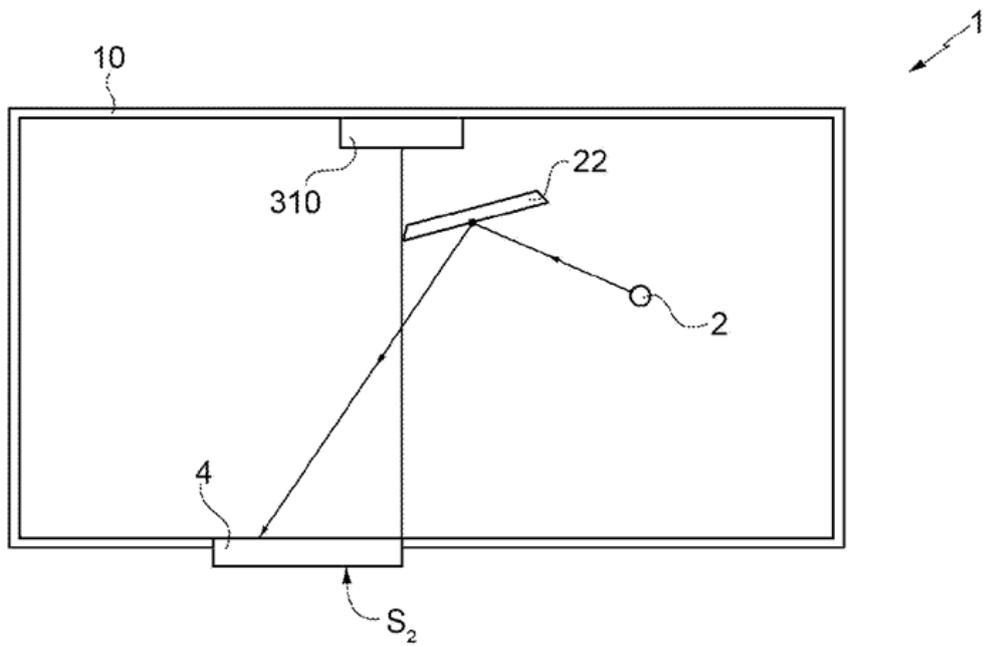


FIG. 13

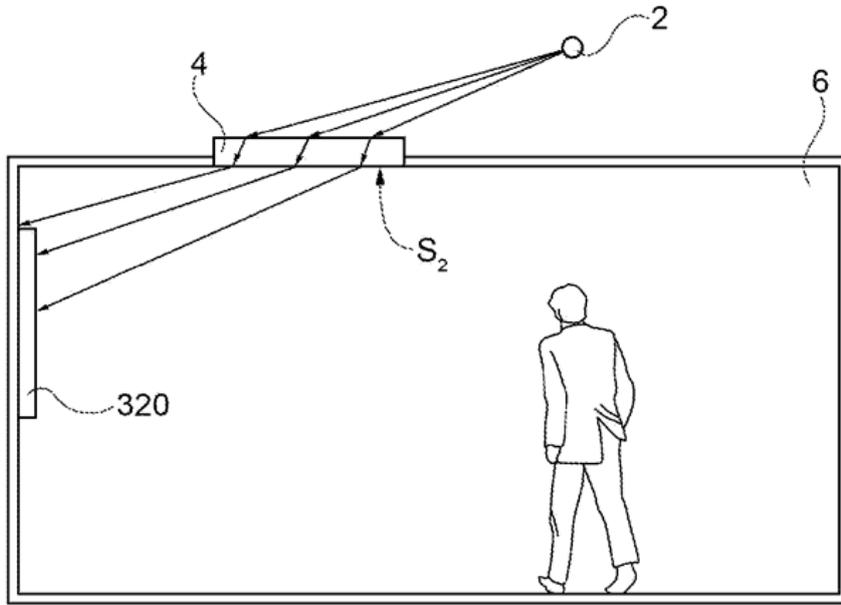


FIG. 14

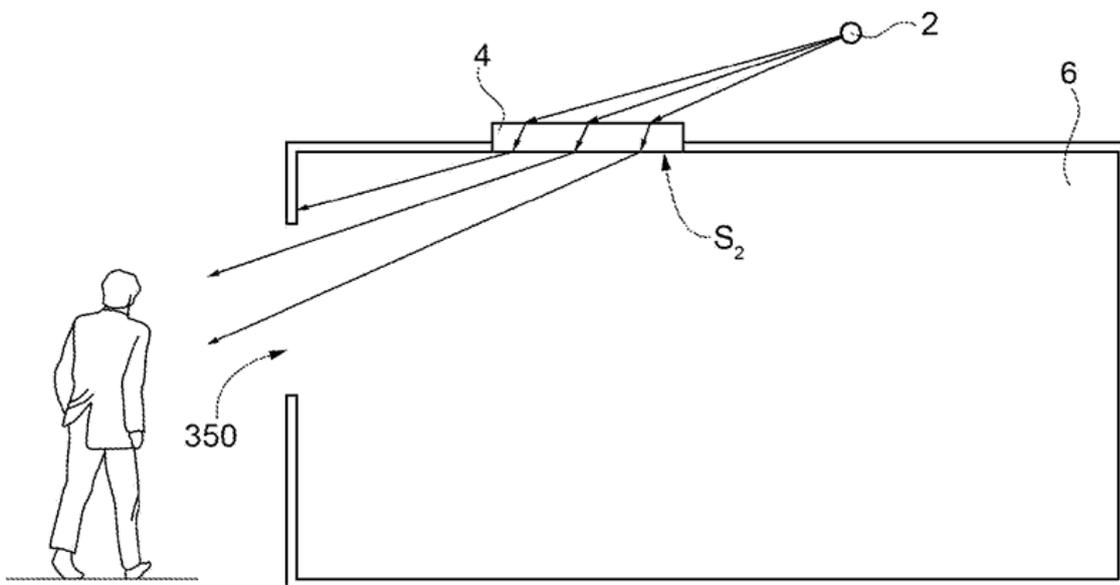


FIG. 15