

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 730 971**

51 Int. Cl.:

**E01F 9/559** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.05.2015 PCT/GB2015/051561**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.02.2016 WO16016604**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.05.2015 E 15733859 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2019 EP 3175043**

54 Título: **Sistema de iluminación al nivel del suelo**

30 Prioridad:

**28.07.2014 GB 201413325**

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

**13.11.2019**

73 Titular/es:

**CYCLOPS ROAD STUDS LIMITED (100.0%)  
39 Ash Drive, South Molton  
Devon EX36 3FA, GB**

72 Inventor/es:

**MESSIOU, ANTOINE YVON y  
BARKER, THOMAS JAMES**

74 Agente/Representante:

**TORNER LASALLE, Elisabet**

ES 2 730 971 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 al nivel del suelo

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de iluminación al nivel del suelo compacto y robusto tal como una tachuela de carretera que proporciona iluminación bien definida para un plano de recepción sustancialmente horizontal. La divergencia de los rayos de iluminación en la dirección vertical se controla de tal manera que la luz  
10 incide en un área predefinida en el plano del suelo. Cuando se emplea el sistema por la noche o en condiciones de bajo nivel de luz en un camino proporciona seguridad adicional para el usuario del camino. Por tanto, el sistema puede emplearse de manera beneficiosa en caminos usados por peatones, ciclistas y vehículos, especialmente vehículos de carretera. El sistema también puede emplearse para iluminar pistas para aeronaves.

15 Antecedentes

A las autoridades, planificadores y diseñadores les interesa proporcionar sistemas más seguros para el transporte con el objetivo de evitar lesiones y muerte de usuarios de carretera.

20 Por ejemplo, existe una gran preocupación por reducir los números de accidentes que se producen en las carreteras. Los legisladores intentan constantemente mejorar la seguridad de vehículos y existe una tendencia por centrarse en la seguridad en carretera incluyendo señales, disposición e iluminación.

Adicionalmente, los procedimientos tienden hacia la sostenibilidad y conciencia de los costes. Unos medios rentables de proporcionar seguridad en las carreteras, autopistas y pistas, o de hecho pasarelas para peatones es proporcionar iluminación.

En particular, dado que la mayoría de los vehículos proporcionan su propia iluminación, desde hace varios años  
30 retrorreflectores tales como los conocidos como "ojos de gato" (cats-eye) han proporcionado unos medios rentables, eficientes y sencillos de iluminar caminos como indicación. Estos proporcionan un reflector pasivo que se monta en la carretera y refleja la luz incidente procedente de un faro de vehículo. (CATSEYE se reconoce como marca registrada).

35 Sin embargo, incluso con tales reflectores, algunas veces las carreteras pueden resultar peligrosas para los conductores, especialmente en curvas o giros pronunciados y sólo proporcionan niveles de iluminación limitados.

Otra desventaja es que las tachuelas de carretera de "ojos de gato" tradicionales sólo son activas cuando luz  
40 incidente procedente de un faro de vehículo se refleja hacia el conductor y para que esto suceda el vehículo tiene que estar relativamente cerca de la tachuela de carretera de "ojos de gato" con una línea directa de visión desde el faro de vehículo hasta la tachuela de carretera de "ojos de gato" y desde la tachuela de carretera de "ojos de gato" hasta el conductor. La luz reflejada de vuelta desde los ojos de gato no ilumina eficazmente la superficie de carretera porque la luz se refleja de vuelta a la fuente de luz, que es el faro. Por tanto, con tales tachuelas de carretera de "ojos de gato" tradicionales con frecuencia no hay manera de que un conductor pueda juzgar la configuración de la  
45 carretera más lejos de lo que puede iluminar el faro de vehículo.

Técnica anterior

50 Se han presentado varias solicitudes de patente con respecto a dispositivos que han intentado resolver el problema, incluyendo las siguientes:

La solicitud de patente estadounidense US 2007 297 805 (Rabinovich) da a conocer un sistema de comunicación  
55 óptica que comprende: un primer terminal que tiene un transmisor para transmitir un haz de luz de interrogación y un receptor para recibir el haz de luz de interrogación. Un segundo terminal tiene un conjunto de retrorreflector de modulación (MRR) de ojos de gato, que incluye un MRR de ojos de gato, en el que el MRR de ojos de gato incluye un modulador para modular el haz de luz de interrogación recibido desde el transmisor.

Un dispositivo de enfoque óptico enfoca el haz de luz de interrogación desde el transmisor hasta el modulador y un  
60 reflector refleja el haz de luz modulado al receptor. El conjunto de MRR de ojos de gato incluye además un deflector de haz posicionado en una apertura óptica del MRR de ojos de gato para desviar de manera basta el haz de luz de interrogación desde el transmisor hasta el dispositivo de enfoque del MRR de ojos de gato.

La solicitud de patente coreana KR 2005 0 006 031 (Kim) da a conocer una tachuela de carretera para aumentar el  
65 brillo reflectante de un reflector y para reducir el coste de fabricación usando un reflector macizo que es fácil de fabricar. La tachuela de carretera contiene: un anclaje enterrado bajo la carretera; una cabeza instalada sobre el anclaje para sobresalir a la superficie de carretera; y un reflector compuesto por una placa fija unida al lado de la cabeza. Se proporcionan varias unidades de reflexión en la placa fija y planos reflejan la luz. El reflector se fabrica

con materiales que pueden transmitir luz, tales como vidrio o resina sintética transparente, y mezclados con pigmentos para iluminar con un color específico si es necesario.

5 La patente europea concedida EP 1 281 021 (Rizkin *et al*) da a conocer un transformador de luz para dirigir luz desde una fuente de luz con baja divergencia o sustancialmente paralela a un eje de dirección de luz. El dispositivo comprende: un primer extremo para recibir luz desde la fuente de luz; un segundo extremo para emitir la luz recibida, estando el segundo extremo ubicado en un extremo opuesto del dispositivo con respecto al primer extremo; un primer elemento ubicado en un tercer extremo del dispositivo; y una primera ventana óptica plana ubicada en un extremo del primer elemento. La primera ventana óptica plana es sustancialmente perpendicular al eje de la dirección de luz, en el que el primer elemento tiene una pared externa que comprende una superficie de reflexión interna total para reflejar luz recibida a través de la primera ventana óptica plana en una dirección con baja divergencia o sustancialmente paralela al eje de dirección de luz.

15 La solicitud de patente europea EP 1 647 633 (Swarovski) da a conocer una tachuela de carretera que comprende una fuente de luz por debajo del nivel del suelo, desde la cual emerge luz a través de un bloque inferior transparente para entrar en un bloque superior. Las superficies reflectantes de un elemento óptico en el bloque superior dividen la luz en dos haces que emergen desde la tachuela en direcciones opuestas para iluminar la superficie de carretera.

20 La solicitud de patente australiana AU 690 674 (Ishida) da a conocer una tachuela de carretera de emisión propia que comprende un cuerpo que tiene una porción inferior de diámetro reducido que sirve como pata de retención y una porción superior que es al menos parcialmente transparente, y una fuente de luz dentro del cuerpo para emitir luz a través de la porción superior.

25 La solicitud de patente del Reino Unido GB 494 297 (Barrs *et al*) da a conocer reflectores que están dispuestos en una línea recta a lo largo de un bordillo u otro borde de una carretera. Los reflectores están dispuestos de modo que un haz de luz procedente del faro de un coche puede pasar desde el borde exterior de cada reflector hasta el siguiente reflector adyacente, con el fin de dar el efecto al conductor de una banda de luz continua a lo largo del bordillo. Los reflectores están montados en un surco en un bordillo y se iluminan por los faros de un coche. El surco puede ser continuo o puede proporcionarse una serie de surcos. Los reflectores pueden disponerse formando ángulos rectos con respecto a la línea de bordillo o formando un ángulo normal con respecto al haz del faro. En una modificación se disponen superficies reflectantes auxiliares a ambos lados de los reflectores principales.

35 La solicitud de patente del Reino Unido GB 485 940 (Mitchell) da a conocer que una superficie superior de un bordillo o borde de carretera similar se forma para presentar varias indentaciones o corrugaciones que tienen superficies reflectantes que presentan una tira de luz continua o prácticamente continua al conductor de un vehículo. Las indentaciones o corrugaciones pueden formarse del material del bordillo o de elementos colocados en el bordillo. En una construcción, se coloca una baldosa que tiene un refuerzo de metal dentro de la superficie superior del bordillo con su cara reflectante superior nivelada con la cara del bordillo.

40 Aunque los sistemas anteriores se han usado en algunas situaciones, presentan inconvenientes hasta el punto de que no proporcionan iluminación bien definida y extendida a lo largo de un camino. En el caso de Rizkin, el componente óptico clave (óptica de TIR) tiene que estar totalmente por encima del nivel del camino para funcionar de manera eficaz. Para evitar el posible daño por impacto de los vehículos que se acercan, las tachuelas de carretera no deben extenderse en gran medida por encima del suelo y deben tener un perfil aerodinámico. Por tanto, las disposiciones de la técnica anterior, incluyendo Rizkin, son desventajosas. Las disposiciones anteriores que no son altas por encima del nivel del suelo proporcionan poco en cuanto a proporcionar iluminación bien definida y extendida en el camino. Por extendido quiere decirse iluminación que se extiende a lo largo de una longitud de camino de aproximadamente 1 metro o más.

50 Antecedentes técnicos de la invención

A primera vista, puede argumentarse que encogiendo simplemente todos los componentes ópticos en disposiciones tales como Rizkin puede resolver la cuestión de compacidad y robustez al tiempo que se mantiene un haz extendido bien definido, sin embargo, hay motivos ópticos fundamentales y prácticos por los que esto no es así.

55 La siguiente discusión proporcionará una explicación de por qué reducir simplemente la escala de la óptica no proporciona un iluminador al nivel del suelo eficaz. Tales discusiones harán referencia a varias condiciones relevantes para la iluminación al nivel del suelo.

60 En primer lugar, el ángulo de incidencia de cualquier rayo de iluminación es de hecho pequeño, es decir a ángulos extremadamente oblicuos. Debido a la incidencia extremadamente oblicua en el plano de recepción, se usan fuentes de luz de muchos lúmenes que se requieren para lograr iluminación fácilmente visible, es decir, para proporcionar valores de lux suficientes. Normalmente, se requieren valores de varios lux o superiores por la noche en el suelo. Los LED son cada vez más la fuente de luz favorecida y los LED de muchos lúmenes tienen normalmente una amplia distribución angular (normalmente > 100 grados). Este hecho implica inmediatamente que cualquier óptica de captación debe recopilar luz a lo largo de un ángulo de entrada de 100 grados. Producir una óptica de bajo número f

(incluyendo ópticas de concentrador que no forma imágenes que pueden caracterizarse como que tienen un equivalente a un número f) supone un desafío técnico. Además, para producir un haz de baja divergencia, la longitud focal eficaz de la óptica de captación debe ser mucho mayor que el tamaño de fuente. En resumen, con disposiciones ópticas convencionales, f (la longitud focal) debe ser larga y si el número f es lo suficientemente bajo como para captar 100 grados de luz, se requiere una óptica grande y larga. Estos argumentos indican que tener una lente colimadora totalmente por encima del nivel del suelo para el fin de iluminación al nivel del suelo da como resultado una óptica relativamente alta, grande, lo cual es desventajoso.

Además, el requisito de robustez significa que ópticas discretas que tienen un espacio de aire entre las mismas o entre la fuente y la óptica son posibles puntos de debilidad mecánica. Cualquier espacio de aire dentro de las ópticas no son una fuente de debilidad mecánica si están ubicados directamente debajo de una pieza maciza gruesa de material protector robusto.

Se presenta la teoría y las suposiciones para determinar la forma de una superficie óptica desde los frentes de onda incidentes y refractados de un haz concentrado de rayos que incide sobre la superficie. Específicamente, se requiere la forma de la superficie S refractante requerida para colimar sustancialmente rayos procedentes de puntos en una superficie So de fuente. Además, la situación crucial de interés relacionada con la presente invención es cuando los rayos emergentes se coliman y el haz de rayos se refracta formando ángulos grandes. Esta condición se produce justo fuera de la condición de TIR (reflexión interna total). Para claridad en el análisis, se comentarán principalmente rayos simples y principales. Debido al tamaño finito de la fuente, particularmente una tal como una fuente de LED de alta potencia de lúmenes, los rayos serán mucho más complicados e incluirán muchos rayos parásitos. En efecto, los LED actúan como una multitud de fuentes puntuales, desplazadas unas de otras. Por tanto, la dirección de rayos colimatados que se originan desde cada fuente puntual variará y por tanto el haz de rayos total divergirá en cierta medida. Dado que los rayos reales procedentes de un LED se caracterizan bien mediante medición y pueden importarse a programas de simulación óptica como archivo de datos de rayo, todas las características reales de los rayos incluyendo rayos parásitos se tienen en cuenta en el modelado, diseño y optimización, de modo que se obtiene una superficie de refracción eficaz. Esta superficie será de manera natural algo diferente de las predicciones de este análisis teórico posterior.

Tal como se explicará a continuación, la teoría también se aplica cuando S es una superficie reflectante. Para los fines de explicar la teoría, la explicación se centrará en superficies refractantes. La configuración óptica se ilustra en vista en planta y lateral en la figura 24, en la que el eje de simetría es paralelo al eje de las y del sistema cartesiano xyz indicado. Las superficies de fuente y refractante se marcan So y S.

Un buen punto de partida para un análisis de este tipo es la teoría de Coddington desarrollada para el análisis de obtención de imágenes astigmáticas. Las ecuaciones de Coddington se definen habitualmente de la siguiente manera:

$$n_r / s_r - n_i / s_i = (n_r \cos \theta_r - n_i \cos \theta_i) / r_s \quad (1)$$

$$n_r \cos^2 \theta_r / t_r - n_i \cos^2 \theta_i / t_i = (n_r \cos \theta_r - n_i \cos \theta_i) / r_t \quad (2)$$

donde  $\theta_r$  y  $\theta_i$  son los ángulos de refracción y de incidencia de un rayo meridional refractado por una superficie con radios de curvatura principales locales  $r_s$  y  $r_t$ . La superficie de refracción separa medios de índices de refracción  $n_i$  y  $n_r$ . Las distancias  $s_r$  y  $s_i$  son las distancias conjugadas a lo largo del rayo hacia y desde el vértice de superficie respectivamente para el plano meridional, en las que los subíndices i y r se refieren a rayos incidentes y refractados (o reflejados). Las distancias  $t_r$  y  $t_i$  son las distancias conjugadas a lo largo del rayo hacia y desde el vértice de superficie respectivamente para el plano tangencial. Para los fines del presente análisis, se requiere una descripción más generalizada de la curvatura de superficie y las formas de frente de onda. Por tanto, el análisis se basará en las ecuaciones de Coddington generalizadas que están bien documentadas en la bibliografía técnica (Blendowske R., "Oblique Central Refraction in Tilted Spherocylindrical Lenses", Optometry and Vision Science vol. 79, n.º 1, 2002).

En la primera etapa del análisis se supone entonces que la superficie y las longitudes de onda incidentes y refractadas pueden aproximarse mediante funciones parabólicas. Por tanto, las ecuaciones para los frentes de onda incidentes y refractados son:

$$W_i = x^2 / 2 s_{ix} + xy / s_{ixy} + y^2 / 2 s_{iy} \quad (3)$$

$$W_r = x^2 / 2 s_{rx} + xy / s_{rxy} + y^2 / 2 s_{ry} \quad (4)$$

La ecuación para el elemento S de superficie es:

$$S = x^2 / 2 s_x + xy / s_{xy} + y^2 / 2 s_y \quad (5)$$

Obsérvese que los frentes de onda y la superficie S se definen cada uno por un sistema de referencia local: xyz, para la superficie S; y  $x_i y_i z_i$  y  $x_r y_r z_r$  para los frentes de onda  $W_i$  y  $W_r$  tal como se muestra en la figura 25. En el siguiente análisis, se derivan las expresiones para los coeficientes  $s_x$ ,  $s_{xy}$  y  $s_y$ .

5 Haciendo referencia a la geometría de la figura 25, las ecuaciones generalizadas de Coddington usando elementos de área de superficie pueden escribirse como:

$$n_r R_r C_r R_r^{-1} - n_i R_i C_i R_i^{-1} = (n_r \cos \theta_r - n_i \cos \theta_i) C \quad (6)$$

10 donde  $\theta_r$  y  $\theta_i$  son los ángulos de refracción y de incidencia de un rayo meridional como en las ecuaciones (1) y (2), los términos  $C_i$  y  $C_r$  son las matrices de curvatura de los frentes de onda incidentes y refractados, C es la matriz de curvatura del elemento de superficie,  $R_i$  y  $R_r$  son las matrices de rotación para los haces incidentes y refractados y  $n_i$  y  $n_r$  son los índices de refracción de los medios incidentes y refractados.

15 Usando un resultado convencional a partir de geometría diferencial, la matriz de curvatura para el elemento de superficie viene dada por:

$$C = \begin{vmatrix} \partial^2 / \partial x^2 & \partial^2 / \partial x \partial y \\ \partial^2 / \partial x \partial y & \partial^2 / \partial y^2 \end{vmatrix} \quad (7)$$

20 Usando las ecuaciones (3) y (4), la matriz de curvatura puede expresarse como:

$$C = \begin{vmatrix} 1 / s_x & 1 / 2s_{xy} \\ 1 / 2s_{xy} & 1 / s_y \end{vmatrix} \quad (8)$$

25 Las matrices de curvatura para los frentes de onda incidente ( $C_i$ ) y refractado ( $C_r$ ) pueden derivarse de manera similar usando las ecuaciones (1), (2) y (4).

$$C_i = \begin{vmatrix} 1 / s_{ix} & 1 / 2s_{ixy} \\ 1 / 2s_{ixy} & 1 / s_{iy} \end{vmatrix} \quad (9)$$

30 y

$$C_r = \begin{vmatrix} 1 / s_{rx} & 1 / 2s_{rxy} \\ 1 / 2s_{rxy} & 1 / s_{ry} \end{vmatrix} \quad (10)$$

Las matrices de rotación para los haces concentrados de rayos incidentes y refractados son:

$$35 \quad R_i = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \cos \theta_i \end{vmatrix} \quad (11)$$

y

$$40 \quad R_r = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \cos \theta_r \end{vmatrix} \quad (12)$$

Insertando las ecuaciones de matrices (7)-(12) en la ecuación (6) se obtienen, tras algo de álgebra, las siguientes ecuaciones para los coeficientes de la superficie S:

$$45 \quad s_{xy} = (n_r \cos \theta_r - n_i \cos \theta_i) s_{rxy} s_{ixy} / (s_{ixy} n_r \cos \theta_r - s_{rxy} n_i \cos \theta_i) \quad (13)$$

$$s_x = (n_r \cos \theta_r - n_i \cos \theta_i) s_{rx} s_{ix} / (s_{ix} n_r \cos \theta_r - s_{rx} n_i \cos \theta_i) \quad (14)$$

$$s_y = (n_r \cos \theta_r - n_i \cos \theta_i) s_{ry} s_{iy} / (s_{iy} n_r \cos^2 \theta_r - s_{ry} n_i \cos^2 \theta_i) \quad (15)$$

50 Insertando los coeficientes anteriores en la ecuación (5) se obtiene la ecuación de la superficie S. En muchos casos, resultará conveniente suponer que el frente de onda  $W_i$  es una onda esférica. Por tanto, el término en xy en la ecuación (3) puede establecerse a cero. En el caso de una superficie perfectamente colimadora, el frente de onda refractado será plano. Sin embargo, para fines prácticos debe suponerse que el haz refractado no se colimará perfectamente. Por tanto, el frente de onda  $W_r$ , definido en la ecuación (4) corresponde al error de frente de onda

máximo aceptable tras la refracción a través de la superficie S.

En el caso en el que la superficie S proporciona una colimación perfecta, los términos  $s_{rx}$ ,  $s_{ry}$  y  $s_{rxy}$  tienden al infinito. Suponiendo que los frentes de onda incidentes son parabólicos, las ecuaciones (13)-(15) pasan a ser:

$$s_{xy} = (n_r \cos \theta_r - n_i \cos \theta_i) s_{ixy} / (-n_i \cos \theta_i) \quad (16)$$

$$s_x = (n_r \cos \theta_r - n_i \cos \theta_i) s_{ix} / (-n_i \cos \theta_i) \quad (17)$$

$$s_y = (n_r \cos \theta_r - n_i \cos \theta_i) s_{iy} / (-n_i \cos^2 \theta_i) \quad (18)$$

Para frentes de onda incidentes esféricos de radio s se establece  $s_{ixy} = \text{infinito}$  y  $s_{ix} = s_{iy} = s$  para obtener:

$$s_x = (n_i \cos \theta_i - n_r \cos \theta_r) s / (n_i \cos \theta_i) \quad (19)$$

$$s_y = (n_i \cos \theta_i - n_r \cos \theta_r) s / (n_i \cos^2 \theta_i) \quad (20)$$

Las ecuaciones anteriores son esencialmente las ecuaciones de Coddington meridional y tangencial convencionales.

Obsérvese que en el análisis anterior la superficie refractante puede sustituirse por un espejo de la misma curvatura. La única modificación requerida a la teoría anterior es sustituir el índice  $n_r$  por  $-n_r$ . Obsérvese también que las divergencias de los haces y las curvaturas de superficie y frente de onda ilustradas en los dibujos se han exagerado en gran medida con el fin de ilustrar la teoría. Se aplican las limitaciones de la teoría de Coddington, restringiendo los ángulos de divergencia a unos pocos grados.

Haciendo referencia a la figura 26, se usarán las ecuaciones (13) a (15) para estimar la curvatura de superficie de los elementos de superficie  $\Delta S$  (dado por el producto  $\delta x \delta y$ ) de la superficie S.

El índice de refracción y los ángulos de haz son de la siguiente manera:

$n_r = 1,492$  (PMMA, material acrílico óptico) ;

$n_i = 1,585$  (policarbonato);

$\theta_i = 75^\circ$ ; y

$\theta_r = 85^\circ$ .

Se definen los parámetros del frente de onda "s" de las ecuaciones (3) a (4) de la siguiente manera:

$$s_{ix} = \delta x / \delta \theta_{ix}; \quad s_{iy} = \delta y \cos \theta_i / \delta \theta_{iy}; \quad s_{rx} = \delta x / \delta \theta_{rx}; \quad y \quad s_{ry} = \delta y \cos \theta_r / \delta \theta_{ry}$$

Los ángulos del haz divergencia son

$$\delta \theta_{ix} = 0,2^\circ; \quad \delta \theta_{iy} = 1^\circ; \quad \delta \theta_{rx} = 0,1^\circ; \quad y \quad \delta \theta_{ry} = 1,25^\circ$$

Finalmente, las dimensiones del elemento  $\Delta S$  de área de superficie son:

$$\delta x = \delta y = 1 \text{ mm.}$$

Aplicando ahora las ecuaciones (13) a (15) y suponiendo que los frentes de onda incidentes y refractados y la superficie tienen forma elíptica (permitiendo establecer  $s_{iy} = s_{rxy} = s_{xy} = \infty$ ) se obtiene para los coeficientes de la ecuación del elemento de superficie dado por la ecuación (5).

$$s_x = -95,7; \quad s_y = -64,8; \quad y \quad s_{xy} = \infty \text{ (las unidades son en milímetros)}$$

Los valores intermedios obtenidos en los cálculos se resumen en la tabla 1 a continuación.

Tabla 1

Dimensiones de elemento de superficie (mm)		Ángulos de divergencia de haz (grados)			
dx (mm)	dy (mm)	dtheta_ix	dtheta_	dtheta_rx	dtheta_

# ES 2 730 971 T3

				iy		ry
		Deg:	0,2	1	0,1	1,25
1,0	1,0	Rad.	0,00349	0,01746	0,00175	0,02182
Grados de ángulos de rayos principales (y cosenes)						
theta_i	theta_r					
75,0	85,0					
costheta_i	costheta_r					
0,3	0,1					
s_ix	s_iy					
286,4	14,8					
s_rx	s_ry					
572,9	4,0					
n_i	n_r					
1,585	1,492					
		$n_r * costheta_r - n_i * costheta_i$				
		0,280				
"Radios de curvatura" de superficie						
s_x	s_y					
-95,7	-64,8					

## Sumario de la invención

- 5 A diferencia de la técnica anterior, la presente invención proporciona unos medios de delinear una pista, camino o carretera con una óptica compacta y reducción de espacios de aire por encima del nivel del suelo. La presente invención proporciona un haz de iluminación bien definido mejorando por tanto la seguridad y motivando una navegación mejorada. La disposición óptica novedosa proporcionada también permite una geometría compacta que es mecánicamente robusta y tiene un perfil en sección suavemente decreciente de tal manera que cualquier impacto por un vehículo que discurre sobre la unidad tiene un efecto mínimo.
- 10 Además, el control electrónico de los componentes activos en la presente invención puede abordarse de manera remota de modo que pueden realizarse ajustes en el patrón de iluminación sin entrada directa en el alojamiento del sistema.
- 15 En una realización de la invención se proporciona una disposición casi de TIR (reflexión interna total) que capta luz a partir de una óptica de colimación situada totalmente por debajo del nivel del suelo. Después, esta luz se refracta lateralmente formando un ángulo oblicuo. La luz refractada se refracta adicionalmente y se condiciona mediante una lente de salida toroidal de modo que la disposición tiene una apertura de salida de pequeña altura que proporciona iluminación bien definida en el plano del suelo. Se alcanzan niveles de iluminación de varios lux o más en el punto
- 20 más alejado (normalmente alrededor de un metro o más) de la zona iluminada.
- En otra realización se proporcionan superficies reflectantes para redirigir luz de lo contrario desperdiciada sobre la célula solar o dispositivo fotoelectrónico similar.
- 25 En otra realización, la distribución de intensidad del haz de iluminación se usa para iluminar una zona de pintura u otra marca al nivel del suelo. La pintura puede ser simplemente reflectante (quizás potenciada por la adición de partículas reflectantes). Adicional o alternativamente, la pintura puede ser luminosa (fosforescente) de modo que cuando se ha "cargado" por luz incidente que incide sobre la misma desde el sistema de iluminación o desde el sol, posteriormente emite luz (no necesariamente a las mismas longitudes de onda que la luz incidente) a lo largo de un
- 30 periodo de tiempo prolongado, que puede ser de minutos u horas. La distribución de intensidad del haz de iluminación se controla de tal manera que proporciona una iluminación uniforme (cuando se ve por el usuario del camino) tras la reflexión a partir de dicha pintura luminosa. La zona pintada iluminada por el haz puede adoptar la forma de un patrón de puntos o tiras cuya densidad (es decir, el número de puntos por unidad de área) se controla de tal manera que puede lograrse un patrón de intensidad deseado.
- 35 Esto proporciona zonas iluminadas conformadas que tienen iluminación uniforme. En el caso de pintura recargable luminosa, la distribución de intensidad de la iluminación se dispone para proporcionar una carga eficaz de la pintura y valores de lux uniformes a lo largo de toda la longitud de la zona iluminada. Por la noche o en condiciones

nubladas en las que la pintura recargable autoluminosa no se cargará, se proporcionará automáticamente una carga por el sistema de iluminación. En combinación con la pintura, el sistema global requerirá mucha menos potencia electrónica porque sólo necesitará rellenar la "carga" en la pintura que no pueda proporcionarse por la luz solar. También se minimizarán la zona de terreno cubierta por la pintura y el volumen de pintura requerido. En una implementación práctica del patrón de tiras o puntos, se usará una plantilla de máscara delgada para permitir que la pintura se una únicamente donde se requiere y bloquear que la pintura alcance las zonas vacías entre las tiras.

Dentro del sistema propuesto hay unos medios para extraer cambios externos en el campo electromagnético de tal manera que se proporciona energía (tal como la disponible a partir del movimiento de un vehículo en movimiento). Esta energía puede usarse para activar de manera remota fuentes de luz auxiliares en el sistema. Estas fuentes de luz pueden encenderse para proporcionar iluminación en una dirección ortogonal a la dirección de camino principal. Esto se usará, por ejemplo, como luz de alerta en caso de una colisión de múltiples vehículos. La energía electromagnética externa extraída también puede usarse para proporcionar energía para cargar condensadores o baterías dentro del sistema.

También se proporciona en el sistema la detección de la temperatura externa o del suelo. Se proporciona un sensor de temperatura activo tal como un termistor para detectar esta temperatura. Cuando la temperatura disminuye por debajo del punto de congelación, un circuito de detector electrónico activa un controlador electrónico de tal manera que el haz de iluminación (LED) emite destellos de manera intermitente. Esta característica se emplea como alerta de hielo en el camino.

La invención se describe en cuanto a la iluminación al nivel del suelo y términos tales como "arriba", "abajo", "superior" e "inferior" se usan teniendo en cuenta esa orientación normal. En cualquier realización dada de un dispositivo según la invención, se espera que quedará claro a partir del diseño del dispositivo donde se pretende que se encuentre el nivel del suelo y la orientación en la que debe usarse (jes decir, con la luz emergiendo por encima del suelo!). Resulta fácilmente evidente que los dispositivos según la invención pueden usarse en otras orientaciones, quizás para proporcionar iluminación de emergencia a lo largo de paredes o techos o para iluminar avisos o anuncios publicitarios. Se pretende que tales usos se encuentren dentro del alcance de la invención, al igual que los dispositivos cuando se orientan de manera diferente durante la fabricación, transporte o almacenamiento antes de la instalación.

#### Breve descripción de las figuras

La figura 1 muestra una vista lateral en sección transversal de una tachuela de carretera según una realización preferida de la invención.

La figura 2 muestra una vista en sección transversal ampliada de rayos típicos reflejados y refractados por los componentes ópticos dentro de la tachuela de la figura 1.

La figura 3 muestra una vista en planta y rayos típicos en la tachuela de la figura 1.

La figura 4 muestra una vista lateral en sección transversal de una tachuela de carretera según una segunda realización de la invención.

La figura 5 muestra una vista en planta y rayos típicos en la tachuela de la figura 4.

La figura 6 muestra una vista en planta y rayos típicos en una variante de la tachuela de carretera de la figura 3, que proporciona iluminación en cuatro direcciones.

La figura 7 muestra una vista en sección transversal ampliada de rayos típicos reflejados y refractados por los componentes ópticos dentro de una tachuela de carretera según una tercera realización de la invención.

La figura 8 muestra una vista en planta de la lente de salida de una tachuela de carretera con un patrón graduado de tiras de pintura luminosa al nivel del suelo.

La figura 9 muestra el nivel de iluminación típico y la densidad de tiras frente a la distancia desde la lente de salida.

La figura 9a muestra el gráfico de distribución de intensidad angular típico a partir de una superficie iluminada que tiene una función de dispersión de Lambert.

La figura 9b muestra el gráfico de distribución de intensidad angular típico a partir de una superficie iluminada que tiene una función de dispersión asimétrica.

La figura 10 muestra una vista en sección transversal de una tachuela de carretera según otra realización de la invención que incorpora una bobina de inducción y núcleo de ferrita.

La figura 11 muestra una vista en sección transversal de una tachuela de carretera según otra realización de la invención que es adecuada para monitorizar niveles de luz en un camino o en pintura luminosa en un camino.

La figura 12 es una vista en planta de la tachuela de carretera de la figura 11.

La figura 13 muestra un esquema de la electrónica de detección y control de nivel de luz de LED.

La figura 14 muestra un esquema del procedimiento para controlar el sistema en respuesta a niveles de luz reflejada.

La figura 15 muestra una vista en planta desde arriba de una realización adicional de la invención, que usa matrices de prismas de Fresnel.

La figura 16 es una sección transversal vertical a través de la tachuela de carretera de la figura 15.

La figura 17A es una vista en sección transversal desde debajo de la tachuela de carretera de la figura 15.

La figura 17B es una vista en planta de un elemento de inserción de matriz de Fresnel de la tachuela de carretera de la figura 15.

La figura 18 es una sección transversal similar a la figura 16, que muestra una realización alternativa de tachuela de carretera según la invención, con LED inclinados dirigidos hacia un bloque de pirámide.

La figura 19 es una vista en sección transversal desde debajo de la tachuela de carretera de la figura 18.

La figura 20 es una sección transversal similar a la figura 16, que muestra una variante de la tachuela de carretera que puede generar haces en ocho direcciones.

La figura 21 es una vista en sección transversal desde debajo de la tachuela de carretera de la figura 20.

La figura 22 es una sección transversal parcial en un plano vertical, que muestra una realización alternativa de tachuela de carretera según la invención, con LED orientados verticalmente dirigidos hacia un bloque de pirámide.

La figura 23 es una vista en planta desde arriba del bloque de pirámide de la figura 22.

Las figuras 24 a 26 ilustran la aplicación de la teoría de Coddington al diseño de ópticas para su uso en la presente invención.

Descripción detallada de la invención

Ahora se describirá la invención en detalle con la ayuda de los dibujos adjuntos.

La figura 1 muestra una vista lateral en sección transversal de un sistema 1 de iluminación al nivel del suelo, tal como puede usarse para iluminar una carretera o camino. Por motivos de claridad, únicamente se describen en detalle los aspectos clave de la iluminación en una dirección. Sin embargo, la disposición es simétrica y proporciona iluminación bidireccional a los lados izquierdo y derecho según se observan en el dibujo. Un bloque 2 superior que comprende un material de bajo índice de refracción tiene una superficie 3 superior curvada. El índice de refracción del bloque 2 óptico superior es de 1,5 o menos. El bloque 2 superior incorpora una superficie 4 de refracción toroidal y una cavidad para alojar una célula 5 solar. La superficie 3 superior proporciona ganancia óptica y ayuda a la captación de energía de luz solar para la célula 5 solar. El bloque 2 superior tiene una superficie 6 curvada inferior y tiene una brida 7 que se asienta al nivel del suelo tal como se indica por la línea 8 de construcción.

La célula 5 solar se usa para suministrar potencia eléctrica a la electrónica y la fuente de luz. La superficie 6 inferior del bloque 2 superior está en contacto óptico con un bloque 9 óptico de alto índice de refracción. La forma de la superficie superior de bloque 9 óptico coincide con la forma de la superficie 6 inferior del bloque 2 superior. El índice de refracción del bloque 9 óptico es de 1,585 o mayor. En la práctica, los bloques 2 y 9 están en contacto óptico, es decir, están unidos entre sí con un adhesivo óptico. El adhesivo óptico tiene un índice de refracción que es similar al índice de refracción del bloque 2 óptico. La capa de adhesivo tiene normalmente un grosor de <100 micrómetros. El bloque 9 óptico incorpora una superficie 10 reflectante. Las dos facetas de la superficie 10 reflectante son preferiblemente bicónicas teniendo un radio convexo en el vértice de aproximadamente 600 mm en un azimut y un radio infinito en el otro azimut. El ángulo de la "V" de la superficie 10 es de aproximadamente 72 grados. Esto se refiere a la tangente promedio de las superficies de facetas.

Una placa 11 de circuito impreso (PCB) aloja una fuente 12 de luz de LED. Un colimador 13 reflectante, hueco (preferiblemente un concentrador parabólico compuesto) dirige rayos tales como rayos 14 directos y rayos 15 reflejados hacia la superficie 10 reflectante. La divergencia de los rayos tras salir de la parte superior del colimador

13 es de menos de 6 grados más o menos. El espacio inmediatamente por encima de las facetas de la superficie 10 reflectante es aire de tal manera que la reflexión se produce como reflexión interna total (TIR). Los rayos 14 y 15 incidentes en la superficie 10 y reflejados por la misma se refractan adicionalmente en una dirección predeterminada al pasar a través de la superficie 6 de contacto (la línea de demarcación entre regiones de alto y bajo índice de refracción). La superficie 6 de contacto es preferiblemente curva con un radio de aproximadamente 400 mm y un coeficiente cónico de -15. Los rayos son incidentes en la superficie 6 de contacto formando un ángulo próximo al que se obtendría como resultado en la reflexión interna total, lo cual limita la divergencia del haz refractado. Algunos rayos se refractan de manera casi horizontal y algunos formando ángulos mayores. Un ángulo ascendente máximo de los rayos útiles está limitado por el borde más superior de la lente 4 a un ángulo pequeño de menos de aproximadamente 15°. Preferiblemente, los rayos centrales del haz forman un ángulo de entre 5° y 7° con respecto a la horizontal.

Los rayos 16 que emergen tras la refracción por la superficie 4 toroidal se dirigen formando ángulos oblicuos sobre el nivel del suelo, por ejemplo una superficie de camino. El haz desciende formando un ángulo pequeño determinado por la altura de la lente 4 toroidal por encima del nivel 8 del suelo y la distancia de la zona del suelo que se pretende que ilumine el haz. El ángulo (medido para los rayos centrales del haz) es normalmente de menos de 5° y para la iluminación hasta una distancia de tan sólo un metro puede necesitarse que el ángulo sea de no más de 1°. Para lograr la longitud y el nivel de iluminación en lux deseados en el camino (para verse fácilmente a simple vista) los radios de la superficie 4 son de aproximadamente 40 mm en el plano vertical y 110 mm en el plano horizontal.

La figura 2 es una vista ampliada de las trayectorias de rayos y rayos 16 emergentes.

La figura 3 es una vista en planta del iluminador al nivel del suelo en la que sólo se dibujan determinados componentes por motivos de claridad. El colimador 13 reflectante se muestra como un círculo discontinuo. El diámetro de salida del colimador 13 es normalmente de 25 mm. Debe observarse que en una dirección la superficie 10 reflectante tiene una longitud mayor que el diámetro del colimador 13. Aunque la óptica produce rayos de manera bidireccional sólo se muestra que los rayos 16 se desplazan hacia la derecha tras refractarse por la lente 4 y que emergen desde la unidad.

A diferencia de los cálculos teóricos y las suposiciones anteriormente comentadas, los rayos reales dentro del haz de rayos incidentes sobre la superficie 6 de contacto divergen mucho más que unos pocos grados y se extienden a lo largo de la superficie mucho más que 1 mm. Los rayos incidentes sobre lente 4 toroidal son a su vez algo divergentes; dicho de otro modo, no se coliman con precisión. Se usa un algoritmo de optimización dentro del diseño óptico para crear una distribución de iluminación que está bien definida a lo largo de una longitud de 1 metro más o menos y con la anchura de iluminación similar a la anchura, por ejemplo, de marcas de carril de carretera. Tales marcas de carril se producen normalmente con material termoplástico reflectante, pintura o pintura autoluminosa (que puede cargarse por la luz solar) de índice de refracción intermedio.

La célula 5 solar puede unirse de manera segura en su sitio en su cavidad mediante el uso de un adhesivo transparente o encapsulante transparente. La profundidad de las paredes 17 laterales de la óptica 2 puede determinarse dependiendo del tipo de camino en el que se entierra el iluminador. El bloque 2 óptico puede construirse igualmente en dos partes con una división en o justo debajo del nivel de la brida 7 de modo que, por ejemplo, la parte ópticamente transparente puede fabricarse de un material elegido al menos parcialmente por sus propiedades ópticas, mientras que la parte restante puede fabricarse de un material diferente elegido por sus propiedades mecánicas. Esta disposición de iluminador al nivel del suelo ofrece ventajas con respecto a disposiciones de la técnica anterior en cuanto a que se proporciona un dispositivo mecánicamente robusto y al mismo tiempo la luz captada a lo largo de un ángulo sólido grande por debajo del nivel del suelo se dirige de manera útil al plano de recepción deseado. Otro beneficio es que daños tales como arañazos en la superficie más superior de la óptica 2 no afectan significativamente a la iluminación proporcionada en la carretera o el camino. La propia superficie de salida de la lente 4 está rebajada y protegida por rampas 18 de sección decreciente a cada lado. La disposición propuesta resulta ventajosa en cuanto a que la mayoría de los componentes clave están al o por debajo del nivel del suelo y que la superficie refractante final, la lente 4 toroidal, tiene una altura pequeña y normalmente tiene un tamaño similar a la dimensión del semidiámetro de la cara de salida del colimador 13. En la PCB 11 electrónica se proporcionan características y dispositivos electrónicos adicionales; no se muestran en este caso pero se describirán en más detalle en la siguiente descripción.

La figura 4 muestra en vista lateral en sección transversal un sistema de iluminación al nivel del suelo compacto alternativo. En esta realización se emplea una matriz de fuentes 20 de LED y lentes en una matriz 21 de lentes correspondiente coliman y dirigen la luz desde cada LED al interior del bloque 9 óptico. De nuevo, aunque el sistema es simétrico y produce iluminación de manera bidireccional, sólo se muestran los rayos de la derecha por motivos de claridad. (No resulta esencial que el sistema deba ser simétrico y produzca iluminación en dos direcciones que sean opuestas una con respecto a otra). Las trayectorias de rayos incidentes sobre la superficie 6 de contacto son similares a las trayectorias mostradas en la figura 1 y descritas en la realización anterior. Las matrices están dispuestas para encontrarse en una forma 22 de V poco profunda tal como se muestra. El eje de LED y el eje de cada lente correspondiente son colineales. Las matrices 21 de lentes a la izquierda y a la derecha pueden estar separadas y por tanto fabricarse en dos piezas o pueden formarse de una sola pieza. El material óptico de las

matrices 21 de lentes puede ser un plástico de calidad óptica. La matriz 21 de lentes está unida a la superficie inferior de bloque 9 de óptica y está en contacto óptico. La matriz 21 de lentes está dispuesta para dirigir rayos dentro de los bloques 2 y 9 a lo largo de trayectorias muy similares a los rayos mostrados en la figura 1.

5 En comparación con el LED 12 individual en la figura 1, los LED 20 en la figura 4 son preferiblemente tipos diferentes y tendrán características de salida angular más estrechas. Cada LED en la matriz 20 tiene una potencia de lúmenes inferior al LED 12 en la figura 1, pero los LED se seleccionan de modo que la potencia de lúmenes total de todos los LED 20 será similar a la del LED 12 individual mostrado en la figura 1. Aunque se muestra una matriz de lentes y LED triple, pueden emplearse otros números de LED 20 (dependiendo de sus características de salida) y lentes 21 correspondientes, incluyendo la posibilidad de tan sólo un LED individual en cada "matriz". Esta disposición es beneficiosa porque, aunque la apertura de la superficie 4 de lente restringe el haz de rayos en el plano vertical, no hay ninguna restricción fundamental en cuanto al tamaño de lente en la dirección horizontal. Dicho de otro modo, la superficie 4 de lente es mucho más ancha horizontalmente que su altura vertical. Esto corresponde al lado de entrada de una matriz 20 y 21 de lentes y LED extendida. La disposición se muestra en vista en planta en la figura 5.

15 Debe observarse que para las dos realizaciones anteriores, la divergencia de rayos en un plano vertical incidente sobre la lente 4 debe estar dentro de determinados límites. La divergencia de rayos en este plano vertical debe ser de unos pocos grados más o menos. En primer lugar, esto permite refractar rayos de manera apropiada formando ángulos pequeños en la superficie 6 de contacto y tal divergencia limitada también permite que los rayos pasen a través de la apertura vertical de la lente 4 sin pérdida de luz significativa. En el plano horizontal, puede permitirse una mayor divergencia y el radio horizontal de superficie 4 de lente puede ajustarse para compensar cualquier divergencia adicional enfocando los rayos emergentes en el plano horizontal de tal manera que se dirigen al camino de una manera bien delineada. La disposición mostrada en la figura 4 tiene el beneficio de que los bloques 2 y 6 y la célula 5 solar se combinan con la ayuda de adhesivo para formar, en efecto, un único bloque macizo robusto de material. La disposición de la realización de iluminador en las figuras 4 y 5 también tiene la ventaja de ser menos profunda, reduciendo por tanto la necesidad de crear un agujero profundo en la carretera o camino.

30 En ambas de las realizaciones anteriores se describe que los rayos de iluminación son bidireccionales, es decir que los rayos se desplazan o bien a la izquierda o bien a la derecha en la vista de las figuras. Debe observarse que también pueden iluminarse otras direcciones empleando fuentes de luz de LED adicionales o combinando la realización de la figura 1 y la realización de la figura 4. Por tanto, por ejemplo, puede proporcionarse iluminación a lo largo de cuatro direcciones. Esta realización se muestra en vista en planta en la figura 6. En este caso sólo se muestran rayos para dos de estas cuatro direcciones por motivos de claridad. Tampoco se dibujan todas las matrices de LED por motivos similares. Obsérvese que de aquí en adelante, la dirección de iluminación superior e inferior se denomina la dirección ortogonal. En la figura 6 las partes superior e inferior de matrices 18 de lentes en el dibujo están totalmente separadas de tal manera que no ocupan el mismo espacio que la óptica 10 reflectante. Con respecto a esta separación, pueden realizarse algunos ajustes minoritarios al ángulo general de incidencia en la superficie 6 y la forma local de la parte superior e inferior de la superficie 6 para las trayectorias de rayos que se desplazan hacia arriba o hacia abajo en la figura 6. Los LED 20 para las direcciones de iluminación ortogonales no están necesariamente encendidos en todo momento sino que se encienden cuando se activa un sensor por encima de un nivel predeterminado de efectos del entorno tales como temperatura o humedad o una fuerte vibración. Una fuerte vibración de este tipo puede activarse, por ejemplo, mediante una colisión de múltiples vehículos. Tal como se describirá en detalle en una realización posterior, los LED para la dirección de iluminación ortogonal también pueden encenderse de manera beneficiosa remotamente mediante señales recibidas como cambios externos en el campo electromagnético que inducen una carga dentro de una bobina de inducción contenida dentro del alojamiento de iluminador.

50 La figura 7 muestra en vista en sección transversal otra realización en la que una porción del reborde 25 del bloque 9 inferior está inclinada y recubierta con un recubrimiento reflectante de tal manera que cualquier rayo que se refleja totalmente de manera interna en la superficie 6 se refleja sobre la célula 5 solar. Tal como se observa en la figura 7, tras la reflexión a partir del reborde 25, los rayos pueden experimentar reflexión interna total adicional a partir de la superficie superior del bloque 2 superior para alcanzar la célula 5 solar. La porción reflectante en el reborde 25 está directamente por debajo de la lente 4 y tiene aproximadamente la misma anchura que la lente. Esta disposición tiene el beneficio de reflejar de vuelta luz que de lo contrario se pierde debido a rayos parásitos que se originan desde la fuente de LED y aumentar la energía captada por la célula 5 solar. El recubrimiento reflectante sobre la superficie 25 puede ser alternativamente un recubrimiento parcial, u omitirse totalmente, lo cual permitirá colocar un sensor de luz (no mostrado) después de la misma de modo que puede monitorizarse de manera continua el nivel de luz procedente del LED. La señal procedente de un sensor de luz de este tipo puede usarse para ajustar la corriente suministrada al LED y por tanto permitir mantener la salida de luz procedente del LED a un nivel constante.

60 La figura 8 muestra en vista en planta la superficie 4 de lente de salida del iluminador de suelo y un patrón de pintura o material luminoso en el camino dispuesto a lo largo de la dirección de los rayos de luz que emergen desde la superficie 4 de lente. La ventaja de usar el iluminador de suelo para iluminar tales patrones o de hecho un bloque macizo de pintura reflectante o luminosa es que el nivel de luz dispersada, emitida o reflejada aumenta haciendo por tanto que el patrón iluminado sea mucho más visible para un observador. Además, el iluminador al nivel del suelo tiene una ventaja con respecto a farolas a nivel alto porque está mucho más cerca de la carretera y por tanto puede

iluminar de manera más eficaz. En esta aplicación del iluminador al nivel del suelo puede reducirse la potencia electrónica suministrada al/a los LED de manera beneficiosa y/o puede emplearse una célula solar más pequeña, baterías o condensador de menor valor.

5 Tal como se observa en la figura 8, el patrón deseado en el suelo puede construirse de manera conveniente a partir de unidades de repetición tales como puntos o tiras 26. La densidad de tales puntos o tiras (es decir, la proporción del área de suelo que cubren) puede variarse con la distancia desde el iluminador para dar un aspecto uniforme tras tener en cuenta la atenuación o dispersión del haz. En la figura 8, las tiras 26 se muestran con anchuras diferentes. Sin embargo, si las tiras (u otras unidades de repetición) tienen todas la misma forma o anchura, su densidad puede  
10 variarse de manera conveniente cambiando la separación de las unidades con la distancia desde el iluminador.

La figura 9 muestra como línea 27 continua un gráfico típico de iluminación (en lux) frente a la distancia desde el iluminador de suelo. El nivel de iluminación disminuye con la distancia a medida que el haz se extiende (si no se colima perfectamente) y a medida que la luz se dispersa por partículas en el aire. La línea 28 discontinua en el  
15 gráfico indica la frecuencia de puntos o tiras de tamaño uniforme que, cuando se iluminan según las realizaciones anteriores, proporcionan una iluminación uniforme (lux uniformes tal como se observa por un observador) a lo largo de toda la longitud del patrón de tiras iluminadas. La frecuencia de los puntos puede disponerse de modo que se compensa adicionalmente la oblicuidad de los rayos de luz que inciden en la superficie del material luminoso.

20 La figura 9a muestra un patrón de dispersión/reflexión a partir de una superficie de Lambert, es decir dispersión uniforme en todas las direcciones. La figura 9b muestra un patrón de dispersión/reflexión direccional a partir de un difusor direccional. Puede ser deseable que el patrón en el suelo deba percibirse como uniforme preferiblemente desde una determinada dirección 29, por ejemplo desde la dirección de viajeros que se aproximan tales como conductores de vehículos. Dado que el iluminador al nivel del suelo propuesto produce un haz oblicuo dirigido hacia  
25 el viajero que se aproxima, la visibilidad de la pintura iluminada por un haz de este tipo aumenta de manera beneficiosa en esa dirección. También resulta beneficioso para reducir los requisitos de carga de la pintura o de hecho la densidad de los componentes luminosos activos en la mezcla de pintura.

En la segunda tira iluminada de un iluminador bidireccional, es decir, en la que la luz está desplazándose en la  
30 misma dirección que el viajero, pueden incorporarse esferas de vidrio dentro de la pintura y éstas reflejarán de vuelta la luz sustancialmente hacia el viajero. Alternativamente, las marcas de carretera pueden formarse previamente o moldearse *in situ* para crear una textura de superficie con cualquier patrón deseado de superficies reflectantes o dispersantes, quizás diseñado según principios de Fresnel.

35 La figura 10 muestra una vista en sección transversal de otra realización de iluminador al nivel del suelo destinada a su uso como tachuela de carretera. Una bobina 30 de inducción se enrolla dentro de la pared 17 del bloque 2. Un componente adicional, tal como un cilindro de ferrita, puede usarse dentro del cilindro formado por la bobina 30. La bobina tiene normalmente 100 espiras de alambre aislado. La PCB 11 aloja las fuentes de luz, un sensor 32 de temperatura y otros componentes electrónicos para recopilar energía a partir de corrientes inducidas en la bobina 30  
40 mediante los campos electromagnéticos cambiantes de vehículos a motor que pasan y para almacenar esa energía, por ejemplo en condensadores o baterías, para su uso posterior por el sistema. La corriente que fluye en la bobina depende de un cambio en el campo magnético dentro de la bobina a medida que pasa el vehículo. El cambio puede surgir a partir del campo magnético del propio vehículo (que se ha medido que es de aproximadamente 10  $\mu$ T a una distancia de 1 m) o puede surgir a partir de la alteración del campo magnético de fondo a medida que el vehículo  
45 pasa a través del mismo. Este último efecto puede potenciarse proporcionando un imán permanente posicionado de manera adecuada para reforzar artificialmente el campo de fondo. Pueden usarse sistemas alternativos para recopilar energía a partir de vehículos que pasan, por ejemplo generadores piezoeléctricos, o para recopilar energía a partir del entorno, por ejemplo aprovechando diferencias entre la temperatura del suelo y del aire.

50 Las figuras 11 y 12 muestran una vista lateral en sección transversal y vista en planta de aún otra realización, que es adecuada para monitorizar el nivel de luz reflejado de vuelta a partir de un camino o a partir de pintura luminosa en un camino 35. El nivel de luz a partir de una fuente 12 de LED pulsado se usa para iluminar un camino cercano o pintura luminosa en un camino 35 cercano junto con el sistema óptico anteriormente descrito mostrado en la figura 1. Los rayos 36 de esta luz pulsada, reflejados de vuelta a partir del camino o la pintura 35 luminosa, se dirigen de  
55 vuelta a través del sistema óptico y se enfocan por medio de una lente 38 sobre un sensor 40. En la vista en planta de la figura 12, los rayos 36 pasan a través de porciones de la óptica de manera periférica a los rayos transmitidos mostrados en la figura 1, etc.; dicho de otro modo, los rayos 36 se encuentran fuera del colimador 13 (mostrado como círculo discontinuo). La lente 38 recopila todos los haces de tales rayos periféricos y los dirige sobre el sensor 40. El nivel de luz emitido directamente por el LED 12 se mide enfocando una pequeña porción de la luz procedente del LED 12 sobre un sensor 44 mediante una lente 42 de enfoque. La lente 42 y el sensor 44 para medir la luz directa procedente del LED 12 pueden estar igualmente en otras posiciones, tales como el espacio detrás del espejo parcial en el reborde 25 del bloque 9 de óptica tal como se describió en la realización de la figura 7, aunque  
60 entonces se necesitan cables largos para conectar el sensor a la PCB 11.

65 La figura 13 ilustra esquemáticamente un circuito de control para el sistema de iluminación. La célula 5 solar y la bobina 30 magnética suministran potencia a una batería 70 recargable, que a su vez alimenta al resto del circuito de

control y los LED 12. Alternativamente, la célula 5 solar y la bobina 30 magnética pueden alimentar al circuito directamente. El nivel de tensión de la batería 70 se monitoriza mediante un circuito 72 de conmutación, que controla la carga y descarga de la batería 70 y el suministro de potencia hacia delante al circuito. En particular, el circuito 72 apagará el suministro de la batería 70 si la tensión disminuye hasta ser demasiado baja.

5 Puede proporcionarse un conmutador 73 maestro de encendido/apagado, que está bajo el control de una conmutador 75 de láminas. Tras la fabricación, el circuito puede apagarse con el fin de impedir que los haces funcionen en las condiciones de oscuridad en las que se almacenará normalmente la tachuela de carretera antes de su uso. Cuando la tachuela de carretera está lista para instalarse en una carretera, entonces puede aplicarse un imán al exterior del alojamiento para hacer funcionar el conmutador 75 de láminas y encender el conmutador 73 maestro. Pueden usarse otros medios de hacer funcionar de manera remota el conmutador 73 maestro, incluyendo medios que permiten encender y apagar el funcionamiento del circuito tras la instalación de la tachuela de carretera.

15 El suministro de potencia al circuito funciona de manera ideal como fuente 74 de corriente constante, que suministra potencia al LED 12 principal y a uno o más LED 76 auxiliares opcionales. Los LED 76 auxiliares pueden proporcionar reserva en caso de detectar fallo del LED 12 principal y/o pueden emitir luz de una longitud de onda diferente, por ejemplo infrarrojos, con el fin de detección de niebla tal como se explica a continuación. Se ilustra de manera puramente esquemática un circuito 78 lógico para controlar el funcionamiento de los LED 12, 76. El método preferido de control del brillo (promedio) de los LED 12, 76 no es hacerlos funcionar de manera continua sino encenderlos y apagarlos con una razón de trabajo-reposo variable. La salida de la fuente de corriente se controla por tanto mediante un multivibrador 80 de trabajo-reposo variable para encender y apagar la corriente a alta frecuencia en la razón de trabajo-reposo deseada para alimentar potencia a los LED.

25 El multivibrador 80 puede ser sensible a diversas entradas que afectan a la conmutación de los LED 12, 76. Por ejemplo, un primer comparador 82 compara la luz retrorreflejada a partir de las marcas de carretera con la salida conocida del LED 12 principal. La salida del primer comparador 82 se hace pasar a través de un integrador para generar una señal que puede indicar cuándo necesita aumentarse el brillo del LED 12 con el fin de recargar la pintura luminosa de las marcas de carretera, tal como se explica en relación con la figura 14 a continuación. El integrador calcula el promedio de la señal a lo largo de un periodo de tiempo de, por ejemplo, 15 minutos con el fin de que el sistema no reaccione frente a cambios a corto plazo en la iluminación tales como faros de vehículos. Un comparador similar (no ilustrado) puede comparar la intensidad de luz recibida directamente a partir del LED 12 principal con una señal de referencia como parte de un bucle de realimentación para compensar cualquier atenuación inherente de la salida de LED.

35 Un comparador 84 adicional compara la luz blanca retrorreflejada a partir del LED 12 principal con la luz infrarroja retrorreflejada a partir de un LED 76 de infrarrojo auxiliar para identificar la presencia de niebla en las proximidades, tal como se explica en más detalle a continuación. Si se detecta niebla, puede aumentarse el brillo del LED 12 principal y/o puede hacerse que emita destellos en un patrón de alerta para motoristas. Un conmutador 32 térmico tal como un termistor puede detectar condiciones de congelación y proporcionar una señal al multivibrador de modo que de nuevo el LED 12 principal puede hacerse emitir destellos en un patrón distintivo para alertar a usuarios de la carretera de la presencia probable de hielo. Finalmente, se ilustra una segunda bobina 86 magnética, que tiene su propio circuito 88 de control. Un vehículo que pasa inducirá un pulso electromagnético en la bobina 86 que puede detectarse por el circuito 88 de control, que a su vez transmite una señal al multivibrador 80 para indicar la presencia del vehículo. Por medio de esto, en carreteras poco usadas puede ahorrarse potencia encendiendo el LED 12 únicamente cuando está pasando un vehículo. Estas entradas en el multivibrador 80 son esencialmente independientes unas de otras de modo que quedará claro que puede usarse cualquier subconjunto de las mismas en combinación dentro del alcance de la invención.

50 En la figura 13 se ilustra una segunda bobina 86 magnética para detectar el campo magnético de un vehículo a motor que pasa separada de la primera bobina 30 magnética que deriva potencia del campo magnético de un vehículo a motor que pasa. Resultará evidente que con electrónica adecuada puede usarse una bobina común para ambas tareas. Alternativamente, si se encuentra que no puede generarse potencia de manera eficiente a partir de vehículos que pasan, puede omitirse la primera bobina 30 pero conservarse la segunda bobina 86. Experimentos han mostrado que un coche que pasa por un detector a aproximadamente 50 km/h a una distancia de 1 metro provoca una variación en la intensidad del campo magnético local de aproximadamente 3000 nT a lo largo de una escala de tiempo de aproximadamente 3 segundos, lo cual puede detectarse fácilmente. La segunda bobina 86 magnética también puede disponerse para recibir una señal pulsada (por ejemplo una señal de frecuencia de radio) a partir de un vehículo adaptado de manera especial con el fin de programar o cambiar el modo de funcionamiento del dispositivo. Por ejemplo, las autoridades de tráfico pueden encender todos los dispositivos a lo largo de un tramo de carretera para alertar de un accidente de vehículos u otro peligro más adelante.

60 Tal como ya se mencionó, el comparador 84 compara luz blanca que se ha emitido a partir del LED 12 principal y reflejado a partir de las marcas de carretera con luz infrarroja que se ha emitido a partir de un LED 76 auxiliar y reflejado a partir de las marcas de carretera. Se ha encontrado que al pasar a través de niebla, longitudes de onda más cortas de luz se atenúan más fuertemente de modo que la luz visible se atenúa más fuertemente que la luz en el infrarrojo cercano. Monitorizando la razón de luz infrarroja con respecto a luz blanca retrorreflejadas (o con

respecto a alguna longitud de onda específica de luz visible), un cambio en la razón indicará la presencia de niebla, lo cual puede usarse como factor desencadenante para aumentar el brillo del LED 12 principal y/o para hacer que el LED 12 principal emita destellos en un patrón de alerta a usuarios de la carretera. En vez de usar un LED 76 de infrarrojo dedicado, sería posible llevar a cabo la misma comparación usando filtros para detectar la razón de intensidad de luz a dos longitudes de onda diferentes emitidas por el LED blanco, por ejemplo luz azul a 450 nm y luz roja a 660 nm, mientras se indica que cuanto más próximas están las dos longitudes de onda, menor será la diferencia de atenuación entre las mismas. En lugar de basarse en la retroreflexión a partir de las marcas de carretera (que pueden introducir un factor de complicación si se usa pintura luminiscente), puede establecerse un reflector dedicado en la superficie de carretera o colocarse en el lado de carretera para su uso en la detección de niebla. Alternativamente, en la situación habitual en la que los dispositivos de iluminación están dispuestos en una línea a lo largo de una carretera, las longitudes de onda de luz emitida por un dispositivo pueden medirse por el siguiente dispositivo en secuencia para indicar la presencia de niebla entre los mismos.

La electrónica de control mostrada en la figura 13 mantiene la iluminación de las marcas a un nivel de luz constante usando un procedimiento tal como se muestra esquemáticamente en la figura 14. El nivel de luz retroreflejada por el sensor 50 se compara con un nivel predeterminado en la etapa 54. Si se encuentra por debajo del nivel predeterminado, el sistema electrónico ajusta la ganancia (etapa 56) o bien ajustando el nivel de luz del LED 12 para mantener un nivel de luz retroreflejada constante (etapa 58); o bien aumentando temporalmente (durante un periodo establecido) la corriente que fluye en el LED 12 (etapa 60) tal como para aumentar temporalmente la luz incidente sobre la pintura y por tanto cargar dicha zona de pintura 35 autoluminosa cerca en el suelo. En lugar de variar la corriente para cambiar el nivel de luz emitido por el LED, puede hacerse funcionar a un único nivel de corriente pero pulsarse con una razón de trabajo con respecto a reposo variable para cambiar la intensidad promedio de la luz emitida, tal como se describió anteriormente en relación con la figura 13. Si la luz emitida es directamente visible para los observadores, entonces normalmente la frecuencia de pulso debe volverse lo suficientemente alta como para no poder percibirse. (Esto no contradice la opción de hacer simultáneamente que el LED emita destellos a una frecuencia inferior como alerta de niebla o hielo).

Dado que el LED 12 es pulsado, el conjunto de circuitos de control mostrado en la figura 13 puede incluir un filtro 52 en la salida del sensor 50 de luz, que se ajusta a una banda de paso alrededor de la frecuencia de pulso de modo que sólo se mide la luz retroreflejada que se origina a partir del LED 12. Esta disposición garantiza que la luz de LED no se cambia en respuesta a cambios en el nivel de luz ambiental o, en el caso de carreteras, luces de vehículos. Adicional o alternativamente, el nivel de luz ambiental puede tenerse en cuenta midiéndolo entre los pulsos de LED o usando un segundo filtro de paso bajo en la salida del sensor 50 o midiendo la salida de la célula 5 solar. El sensor 50 sólo mide luz retroreflejada. Este sensor está alojado en un compartimento que está totalmente protegido frente a la luz directa del LED 12. Se incorporan diversos niveles de control electrónico preestablecidos como medidas de seguridad dentro del sistema electrónico de modo que la luz del LED 12 no se cambia de manera incontrolada o con frecuencia. La razón de trabajo con respecto a reposo de los pulsos del LED 12 será de al menos 50:50 y preferiblemente 80:20, es decir el 80% encendido y el 20% apagado.

Debe observarse que esta disposición puede usarse para monitorizar luz retroreflejada de marcas de pintura en una dirección usando la disposición que emplea un LED como en la figura 11 (esencialmente, esto es una disposición similar a la de la figura 1). En este caso, esta dirección será la dirección más importante ya que monitoriza marcas tal como se observan por viajeros que se aproximan tales como conductores en vehículos. Cuando se requiere monitorización en dos direcciones, puede emplearse una disposición de monitorización correspondiente, pero junto con la realización mostrada en la figura 4. En este caso, los rayos retroreflejados a partir de las marcas de carretera o pintura se desplazan de manera inversa a los rayos 16 mostrados en la figura 4, pero sólo los rayos desviados a cada lado de las matrices 20 de LED se detectan por los sensores. Dicho de otro modo, en la vista en planta de la figura 5, los sensores están posicionados más allá del extremo de cada matriz, es decir por encima del LED superior y por debajo del LED (repetido para cada lado, izquierdo y derecho). En esta disposición, la luz retroreflejada a partir de marcas de carretera o pintura en los lados izquierdo o derecho puede monitorizarse de manera independiente y usarse para controlar el nivel de luz de la matriz de LED correspondiente.

El circuito de control puede incorporar medios de recepción (no mostrados) para permitir que pueda abordarse de manera remota desde un controlador central, por ejemplo para activar el sistema como alerta en caso de accidentes, congestión de tráfico o niebla. También puede incorporar medios de transmisión (no mostrados) para permitirle enviar señales de vuelta al controlador central, por ejemplo para notificar la temperatura local, niveles de luz, movimientos de tráfico o condiciones de fallo. El circuito de control puede incorporar características que se activan automáticamente dependiendo de condiciones del entorno. Por ejemplo, el sensor 32 de temperatura, que puede ser un termistor, puede detectar la temperatura externa o del suelo. Cuando la temperatura disminuye por debajo del punto de congelación, puede hacerse que el haz de iluminación principal o un LED secundario emita destellos de manera intermitente como alerta de hielo en el camino.

El color y brillo del/de los LED pueden elegirse para adaptarse a la aplicación deseada. Si el LED debe iluminar la superficie del suelo mediante reflexión, entonces el color debe ser blanco, o cualquier color que se desee que vean los observadores. Si el propósito principal del sistema es "cargar" marcas luminosas, entonces el LED debe elegirse para emitir de manera intensa a las longitudes de onda de luz que se absorben más fuertemente por el material

luminiscente, que no se necesita que sean visibles para el ojo humano.

Puede usarse esencialmente la misma disposición óptica que la descrita en relación con las figuras 1 a 3 con una fuente de láser en lugar del LED 12. El haz de láser puede ensancharse para actuar al igual que el haz colimado procedente del LED. Alternativamente el haz de láser puede alimentarse a través de una disposición de direccionamiento de haz montada en el cuerpo del sistema para trazar un patrón deseado sobre la superficie de carretera (tras tener debidamente en cuenta la distorsión del patrón como resultado de la óptica). Esta disposición permitirá proteger el mecanismo de direccionamiento de haz delicado mediante el conjunto robusto del bloque 2 superior y el bloque 9 de óptica, al tiempo que se dirige el haz formando un ángulo altamente oblicuo con respecto a la superficie de carretera. Un haz de láser está bien colimado de manera natural y debe ser posible proyectarlo a lo largo de largas distancias, quizás superiores a 10 metros para una superficie de carretera lisa, nivelada y recta. Una fila de tales sistemas puede proporcionar un haz esencialmente continuo o iluminar una línea continua.

Opcionalmente, se proporciona un sensor que detecta la proximidad de una persona o vehículo y enciende la iluminación cuando están dentro de un intervalo predefinido. El sensor puede ser un sensor de luz adaptado para detectar luz procedente de un faro de vehículo que se acerca; un sensor de movimiento o vibración adaptado para detectar el movimiento de la persona o el vehículo; o un sensor de ruido que detecta el sonido del motor del vehículo. Alternativamente, un sensor de nivel de luz ambiental, tal como la célula 5 solar, puede encender la iluminación a un nivel de luz preestablecido de modo que se emite luz de manera continua durante la oscuridad.

Una realización preferida para un iluminador cuádruple se muestra en la figura 15 en vista en planta y en la figura 16 en vista lateral en sección transversal a lo largo de la sección A-A'. En la figura 17 se muestra una vista desde abajo de la realización.

En la figura 15, se muestran cuatro lentes 4. El contorno del bloque 9 óptico inferior se muestra (de manera discontinua) como una forma de cruz.

En las figuras 16 y 17A una placa 97 de circuito impreso (PCB) aloja cuatro LED 98. Cuatro colimadores 100 dirigen la luz colimada con una divergencia de menos de 15 grados sobre una faceta de una matriz 101 reflectante. La matriz 101 reflectante está unida al bloque 9 inferior mediante una placa 103 que se encuentra plana contra parte de la superficie inferior del bloque 9 inferior. Alternativamente, la matriz 101 reflectante puede unirse al bloque 9 inferior mediante adhesión en el borde de contacto o mediante espigas de bayoneta (no mostradas) solidarias con el borde superior de la matriz. Las espigas se ubican en agujeros apropiados en el bloque 9 inferior. Tras la reflexión a partir de la faceta, la luz se dirige al interior de una matriz 102 de prismas de Fresnel de tal manera que se transmite luz en una dirección deseada a través del bloque 9 inferior y después se refracta al interior del bloque 2 superior. Finalmente, la luz emerge fuera del sistema a través de una lente 4. La dirección de los rayos reflejados por una faceta de la matriz 101 reflectante está en la misma dirección que la dirección de rayos creada por la reflexión del haz colimado a partir de la superficie 10 reflectante en la realización de la figura 1.

En esta realización, el bloque 2 superior es generalmente similar al de la figura 1, excepto porque comprende un elemento 105 de inserción, visto en sección transversal en la figura 16. El elemento 105 de inserción se muestra en vista en planta en la figura 17B. Una superficie inferior del elemento 105 de inserción define la superficie inferior del bloque 2 superior, y por tanto también proporciona la superficie de contacto con el bloque 9 inferior para refractar la luz para dar un haz ascendente según la presente invención. Una superficie superior del elemento 105 de inserción está formada como segunda matriz de prismas de Fresnel que está unida a una superficie de forma complementaria del bloque 2 superior principal. Los beneficios de esta estructura compuesta del bloque 2 superior son que el material del elemento de inserción (por ejemplo PMMA) puede elegirse principalmente por sus propiedades ópticas para definir la refracción en la superficie de contacto mientras que el material del bloque superior principal (por ejemplo policarbonato) puede elegirse principalmente por sus propiedades mecánicas (aunque también determina la refracción en las lentes 4). Debe observarse que las dos matrices de prismas de Fresnel en esta realización se usan de una manera no convencional, mediante lo cual no cambian sustancialmente la dirección de los haces de luz que pasan a través de las mismas, estando las facetas de cada matriz alineadas de modo que los haces son aproximadamente normales a las mismas. El propósito de las matrices de Fresnel es permitir que los haces de luz pasen entre dos medios de índice de refracción diferente sin refracción significativa y sin reflexiones parásitas, en una disposición más compacta de lo que sería posible de otro modo (por ejemplo, un bloque de prisma con una única superficie alineada en la misma orientación que las facetas de la matriz de Fresnel). Esto permite aumentar el grosor relativo del bloque 2 superior dentro de la envolvente global de la tachuela de carretera, lo que proporciona buena resistencia al impacto para la protección de la matriz 5 solar y otros componentes delicados.

La matriz 101 reflectante, el bloque 9 inferior y la PCB 97 forman un espacio encerrado hermético cuando se ensamblan. El volumen fuera de este conjunto, dentro del alojamiento 17, puede llenarse de manera permanente con un compuesto de encapsulado para proporcionar inmunidad frente a la entrada de humedad. Encerrando los componentes y las baterías 106 de esta manera, se minimiza el deterioro de componentes debido a efectos del entorno y humedad.

Tal como se muestra en la figura 16, una ventaja de esta realización es que los LED 98 están todos en una PCB 97

plana. Sin embargo, debido a la geometría compacta de la matriz 102 de prismas de Fresnel, existe una ventaja adicional de que la matriz 102 de prismas de Fresnel y el bloque 9 de óptica inferior pueden fabricarse de una pieza mediante moldeo por inyección u otros métodos de termoconformación.

5 En la figura 18 se muestra en vista en sección transversal, y en la figura 19 se muestra en vista en planta desde abajo, la construcción del alojamiento que es diferente de las realizaciones anteriores. Un anillo 96 de metal forma una brida que descansa sobre la superficie del suelo alrededor del agujero en el que se despliega la tachuela de carretera. Una cubierta 92 de metal cubre el bloque 2 superior de índice (de refracción inferior) y tiene aberturas para cada una de las lentes 4. Se usan pernos (no mostrados por claridad) para fijar la cubierta 92 superior al anillo 96 y, cuando se bloquean, retienen todos los componentes ópticos de manera segura en su sitio. Un alojamiento 104 está fijado debajo del anillo 96 para proporcionar un cerramiento estanco al agua para las baterías 106.

15 En esta realización un bloque 110 piramidal fabricado del mismo material que el bloque 9 de óptica inferior está unido al bloque de óptica inferior usando un adhesivo transparente de índice coincidente. Los colimadores 112 están posicionados cerca de, y en contacto óptico con, las caras inclinadas del bloque 110 piramidal. De nuevo, se proporciona contacto óptico empleando un adhesivo transparente. Un alojamiento 114 interno contiene una PCB sobre la que se fijan los LED 118. La luz de LED se colima mediante un colimador 120 de CPC, que dirige la luz a través del bloque 110 de pirámide y al interior del bloque 9 inferior de tal manera que, tras la refracción en la superficie 6 de contacto, la luz se dirige al interior de una lente 4. La lente 4 dirige la luz sobre la superficie de carretera. La ventaja de esta realización en comparación con la figura 16 es una profundidad compacta de modo que es útil cuando la profundidad de carretera metalizada es limitada. También es útil en situaciones en las que el nivel freático del agregado no es tan profundo como es preferible para evitar agua estancada. Con esta disposición sólo se necesita un agujero de profundidad poco profunda. El espacio de aire entre los colimadores 120 y las baterías 106 mostrados en la figura puede reducirse.

25 La realización de las figuras 15 a 17 puede extenderse para permitir la iluminación mediante un número mayor de LED 98. En las figuras 20 y 21 se muestra una realización con ocho LED. En este caso, los bloques 9, 2 de óptica inferior y superior son circulares en vista en planta. Encendiendo secuencialmente los LED 98, pueden iluminarse tiras horizontales de la superficie de carretera a lo largo de un ángulo de 360 grados. En este caso, la lente está formada con una superficie 122 continua alrededor del reborde del bloque 2 superior. Esta lente 122 de reborde dirige y acondiciona los rayos principalmente en el plano vertical. Puede proporcionarse acondicionamiento adicional en el plano horizontal (paralelo a la superficie de carretera) incorporando potencia óptica en el plano horizontal de la faceta 101 de reflector. Esto será normalmente un radio de faceta cilíndrica (plano horizontal) de unos pocos cientos de mm. Alternativamente, el reborde 122 del bloque 2 superior puede incorporar una matriz de lentes con potencia refractante en los planos vertical y horizontal. En este caso, las facetas de la matriz 101 reflectante serán planas.

35 Las figuras 22 y 23 ilustran una realización adicional de la óptica para dirigir los rayos de luz desde los LED 98 al interior del bloque 9 inferior. El bloque 124 de pirámide es una pieza para poder moldearse por inyección de una pieza. Es independiente del bloque 9 de óptica inferior, pero se fabrica del mismo material. Se une al bloque 9 de óptica inferior con un adhesivo con el mismo índice de refracción. Esta unión hace eficazmente que el bloque 124 de pirámide, el bloque 100 de colimador y el bloque 9 de óptica inferior sean una pieza. La parte superior del bloque 124 de pirámide dirige rayos al interior del bloque 9 de óptica inferior mediante reflexión interna total en sus facetas inclinadas. Tras la refracción al interior del bloque 2 superior, los rayos inciden en la lente (no mostrada en la figura 22) tal como se describió anteriormente. Las ventajas son que las facetas reflectantes funcionan mediante T.I.R. de modo que no se necesita ninguna metalización de superficie y además que los LED están todos en una PCB plana.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de iluminación al nivel del suelo que comprende:
- 5 un cuerpo (17, 104) que tiene un nivel (8) del suelo definido;
- una fuente (12, 20, 98) de luz posicionada en el cuerpo (17, 104) por debajo de dicho nivel (8) del suelo;
- 10 un bloque (9) de óptica inferior para transmitir luz desde la fuente (8) de luz hasta una superficie superior del bloque (9) de óptica inferior; y
- un bloque (2) de óptica superior para transmitir luz desde una superficie inferior del bloque (2) de óptica superior hasta el exterior;
- 15 caracterizado porque:
- la superficie superior del bloque (9) de óptica inferior está en contacto óptico con la superficie inferior del bloque (2) de óptica superior, estando la superficie (6) de contacto entre la superficie superior y la superficie inferior conformada para refractar la luz desde la fuente (12, 20, 98) a un haz que asciende formando un primer ángulo con respecto al nivel (8) del suelo; y
- 20 el bloque (2) de óptica superior comprende una ventana (4, 122) por encima del nivel (8) del suelo, a través de la cual emerge la luz al exterior, estando la ventana (4, 122) conformada para refractar la luz a un haz (16) que desciende formando un segundo ángulo con respecto al nivel (8) del suelo.
- 25 2. Sistema de iluminación al nivel del suelo según la reivindicación 1, en el que la ventana (4, 122) del bloque (2) de óptica superior tiene la forma de parte de una lente toroidal.
- 30 3. Sistema de iluminación al nivel del suelo según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el bloque (2) de óptica superior tiene una superficie (3) superior con un perfil en bóveda, proporcionándose la ventana (4, 122) en un rebaje en la superficie (3) superior.
- 35 4. Sistema de iluminación al nivel del suelo según cualquier reivindicación anterior, que comprende además una célula (5) solar por debajo del bloque (2) de óptica superior, en el que el bloque (9) de óptica inferior comprende además una superficie (25) reflectante dispuesta para interceptar luz que se ha reflejado desde la superficie de contacto entre el bloque (9) de óptica inferior y el bloque (2) de óptica superior y para redirigir la luz interceptada hacia la célula (5) solar.
- 40 5. Sistema de iluminación al nivel del suelo según cualquier reivindicación anterior, en el que el bloque (9) de óptica inferior tiene un índice de refracción superior al bloque (2) de óptica superior.
- 45 6. Sistema de iluminación al nivel del suelo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además un colimador (13) generalmente parabólico entre la fuente (12, 20, 98) de luz y el bloque (9) de óptica inferior, en el que el colimador (13) parabólico dirige luz (14, 15) desde la fuente (12, 20, 98) a un haz generalmente vertical, comprendiendo el sistema además una superficie (10, 101) reflectante dispuesta para redirigir la luz desde el colimador (13) de manera oblicua hacia la superficie superior del bloque (9) de óptica inferior.
- 50 7. Sistema de iluminación al nivel del suelo según la reivindicación 6, en el que el bloque (2) de óptica superior comprende dos de las ventanas (4) orientadas en direcciones opuestas y el bloque (9) de óptica inferior comprende dos de las superficies (10) reflectantes dispuestas para dividir la luz (14, 15) desde el colimador (13) a dos haces y para redirigir los haces de manera oblicua hacia la superficie superior del bloque de (9) óptica inferior en dos direcciones, para emerger en última instancia respectivamente desde las dos ventanas (4) en el bloque (2) de óptica superior.
- 55 8. Sistema de iluminación al nivel del suelo según la reivindicación 1, que comprende además una matriz (102) de prismas de Fresnel en la superficie en la que luz desde la fuente (98) de luz entra en el bloque (9) de óptica inferior, en el que la luz entra en el bloque (9) de óptica inferior a través de facetas de la matriz (102) de prismas de Fresnel en una dirección que es sustancialmente normal con respecto a las facetas.
- 60 9. Sistema de iluminación al nivel del suelo según la reivindicación 1, en el que el bloque (2) de óptica superior comprende un elemento (105) de inserción, teniendo el elemento (105) de inserción una superficie inferior que define la superficie inferior del bloque (2) de óptica superior y teniendo una superficie superior en forma de una matriz de prismas de Fresnel que hace tope con una superficie complementaria del bloque (2) de óptica superior, en el que pasa luz desde el elemento (105) de inserción al interior del bloque (2) de óptica superior a través de facetas de la matriz de prismas de Fresnel en una dirección que es sustancialmente normal a las facetas.
- 65

10. Sistema de iluminación al nivel del suelo según la reivindicación 1, en el que el primer ángulo es de entre 5 y 7 grados.
- 5 11. Sistema de iluminación al nivel del suelo según la reivindicación 1, en el que el segundo ángulo es de menos de 5 grados.
- 10 12. Sistema de iluminación al nivel del suelo según la reivindicación 1, que comprende además: un sensor (82) primario para detectar la intensidad de luz que se recibe por el sistema desde su entorno; y medios (80) de realimentación que responden al sensor (82) primario para ajustar el suministro de potencia de la fuente (12) de luz para mantener la intensidad de luz detectada dentro de un intervalo predeterminado.
- 15 13. Sistema de iluminación al nivel del suelo según la reivindicación 12, en el que la fuente (12) de luz emite pulsos de luz, y en el que el sensor (82) primario detecta preferiblemente la luz pulsada o los medios (80) de realimentación responden preferiblemente a la luz pulsada con el fin de distinguir luz ambiental de luz que se ha emitido por la fuente (12) de luz y reflejado por el entorno.
- 20 14. Sistema de iluminación al nivel del suelo según la reivindicación 12 o la reivindicación 13, en el que el sensor (82) primario detecta luz en un primer intervalo de longitudes de onda; que comprende además un sensor (84) secundario para detectar la intensidad de luz que se recibe por el sistema desde su entorno en un segundo intervalo de longitudes de onda; y medios para comparar señales desde los sensores (82, 84) primario y secundario para detectar la presencia de niebla en el entorno del sistema.
- 25 15. Instalación que comprende un sistema de iluminación al nivel del suelo según la reivindicación 1 instalado en una superficie (8) de suelo y que comprende además una marca (26) reflectante aplicado a la superficie (8) de suelo para su iluminación por el sistema.

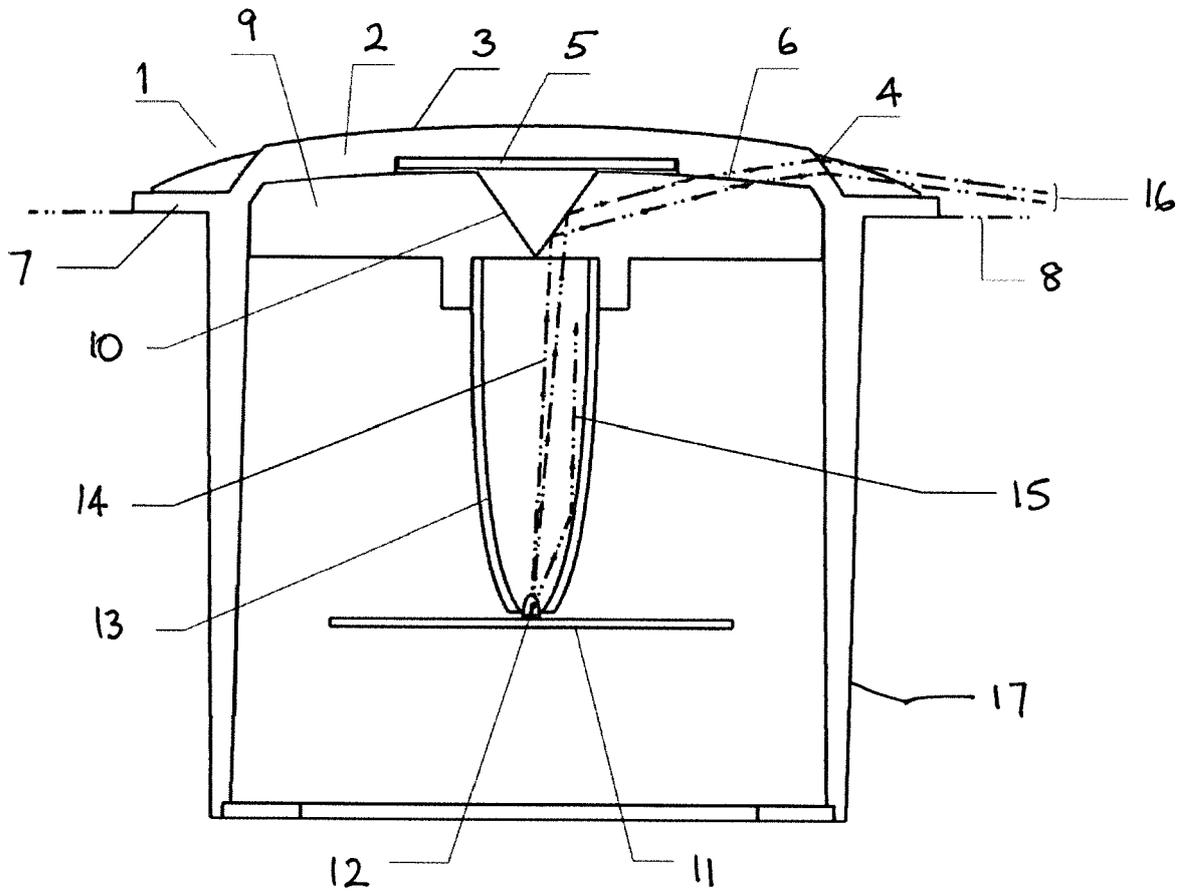


Fig. 1

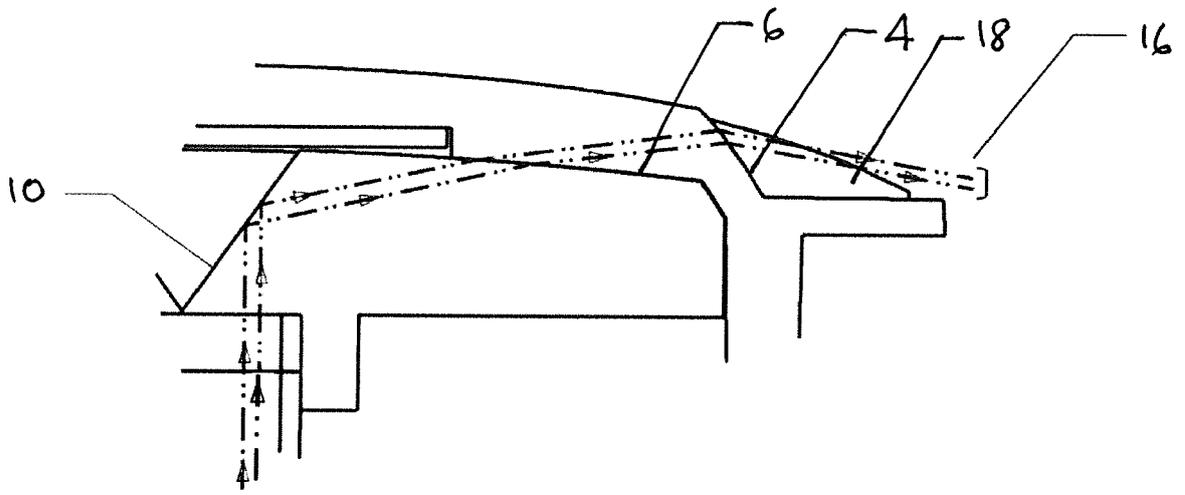


Fig. 2

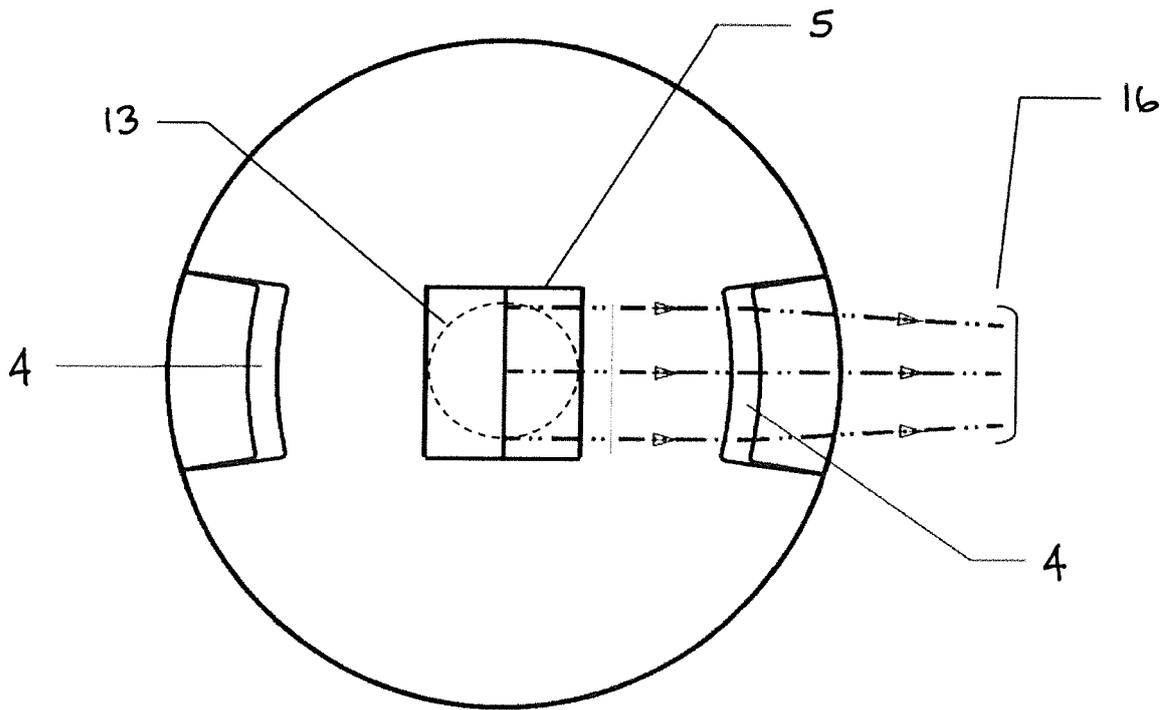


Fig. 3

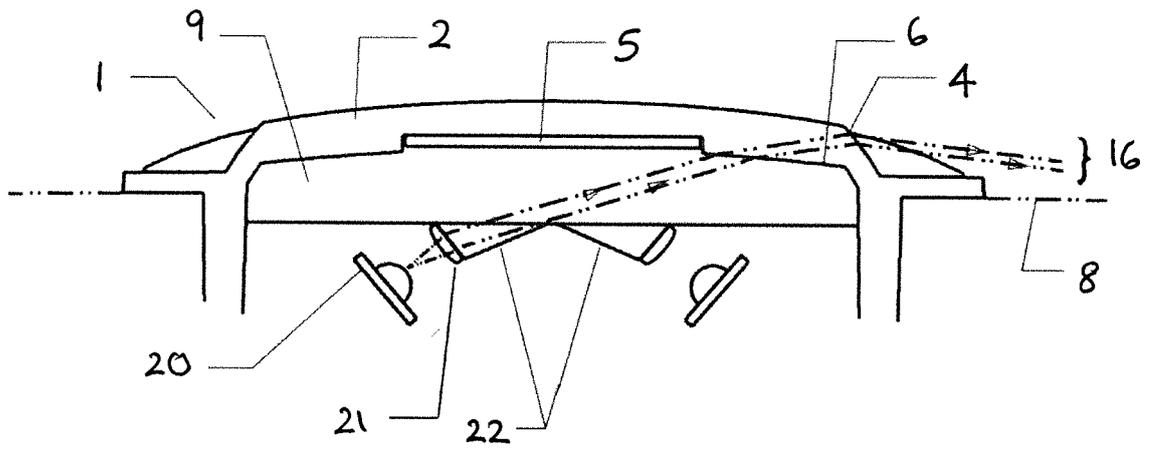


Fig. 4

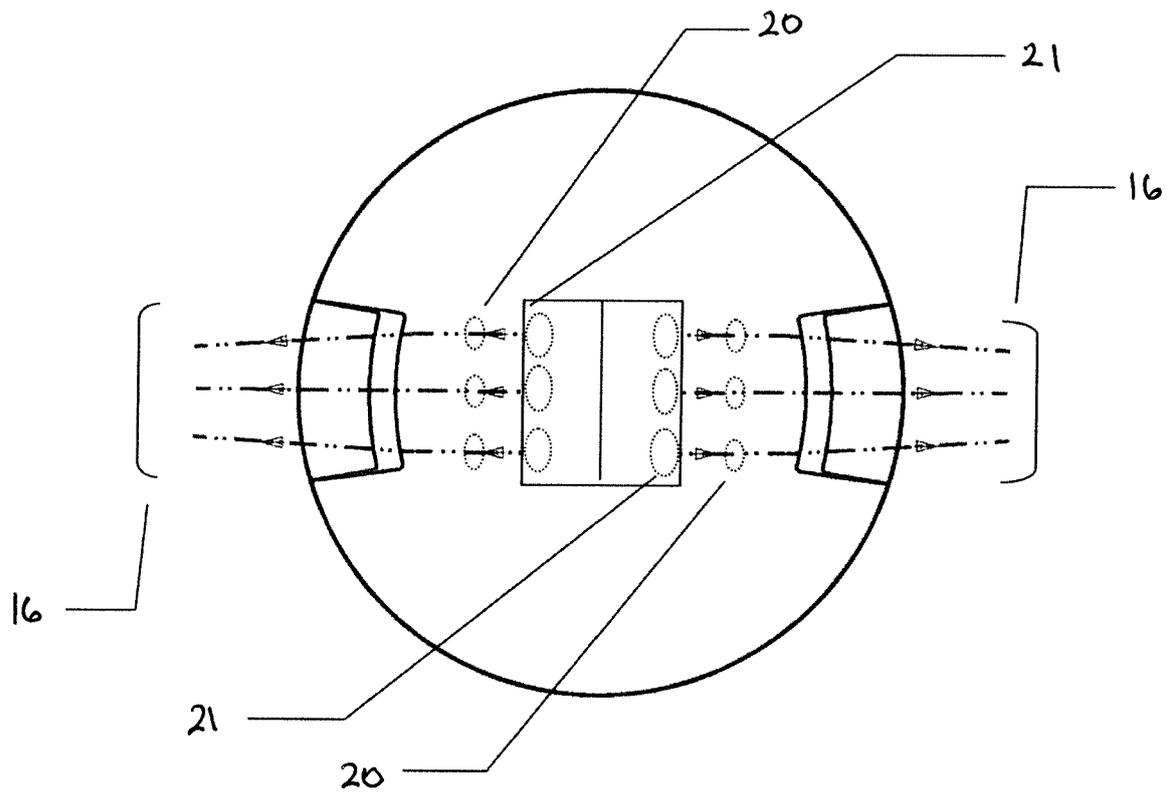


Fig. 5

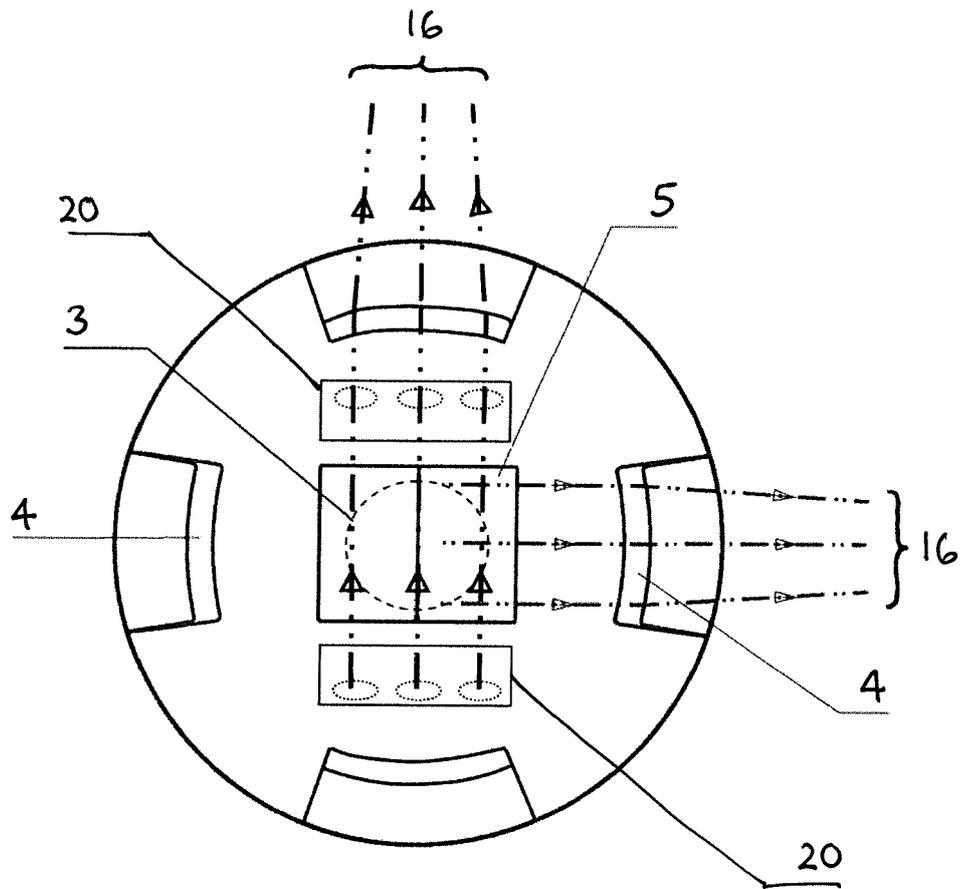


Fig. 6

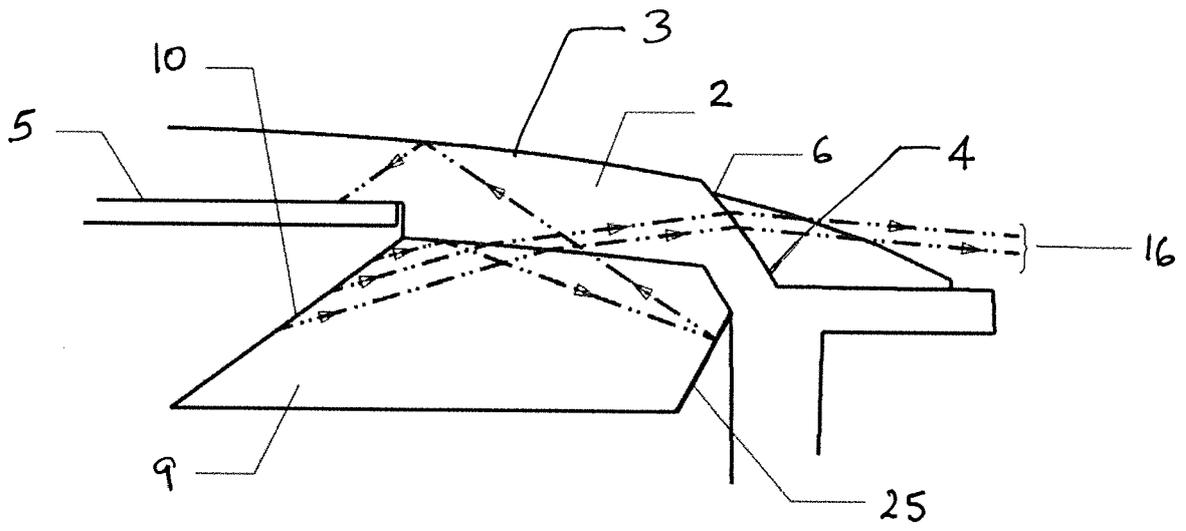


Fig. 7

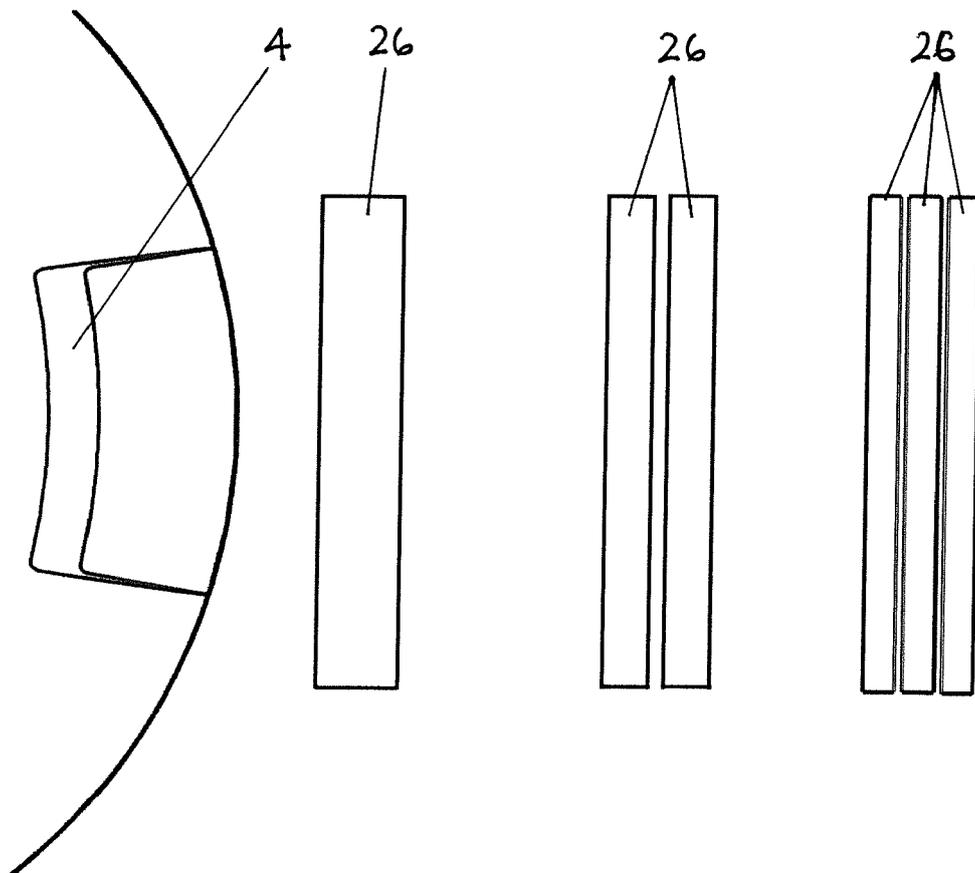


Fig. 8

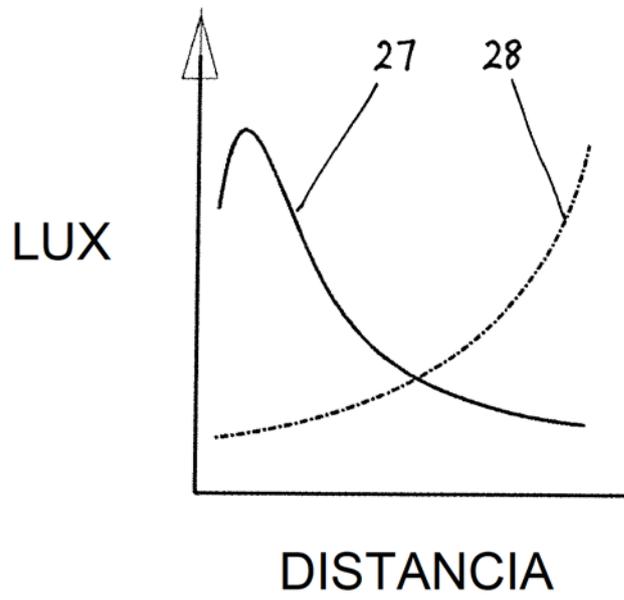


Fig. 9

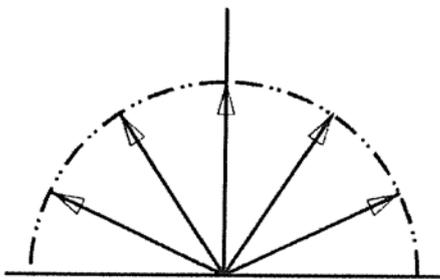


Fig. 9a

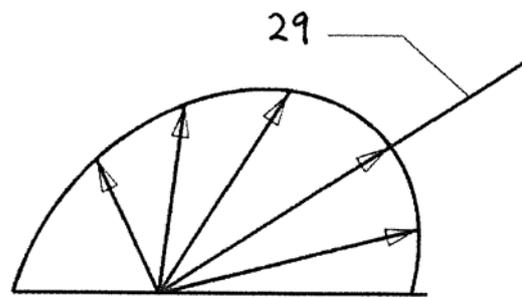


Fig. 9b

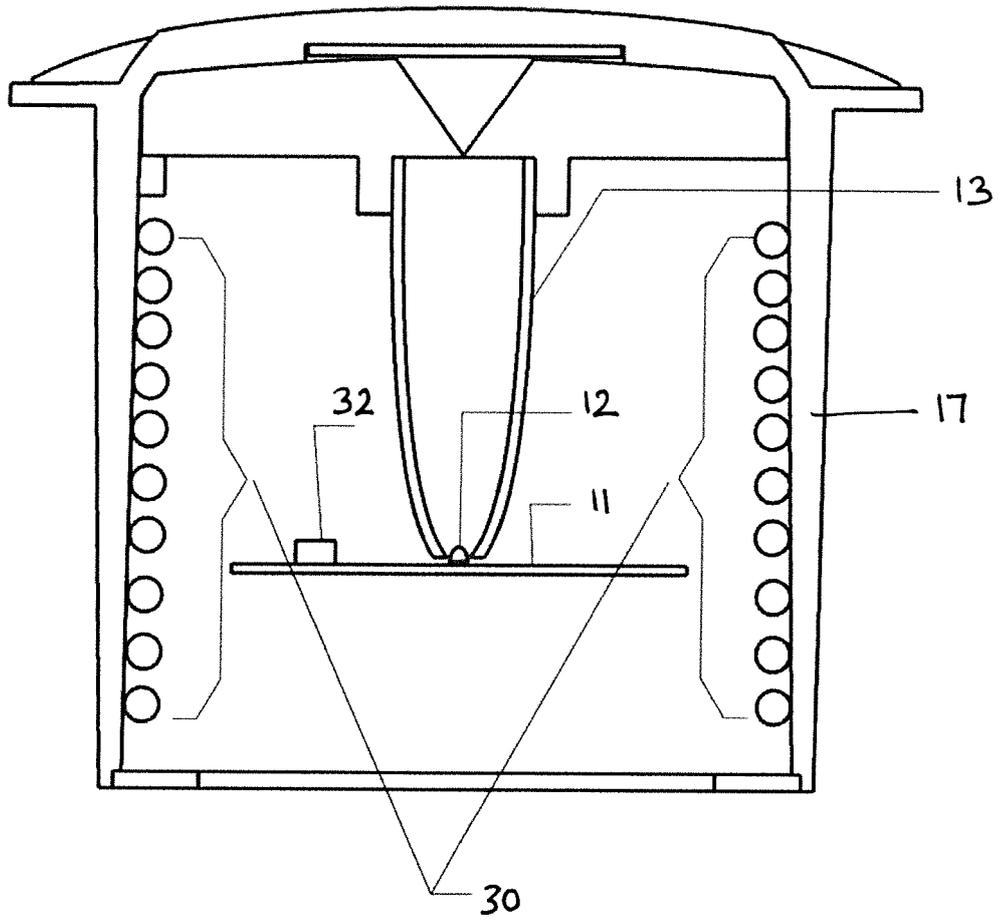


Fig. 10

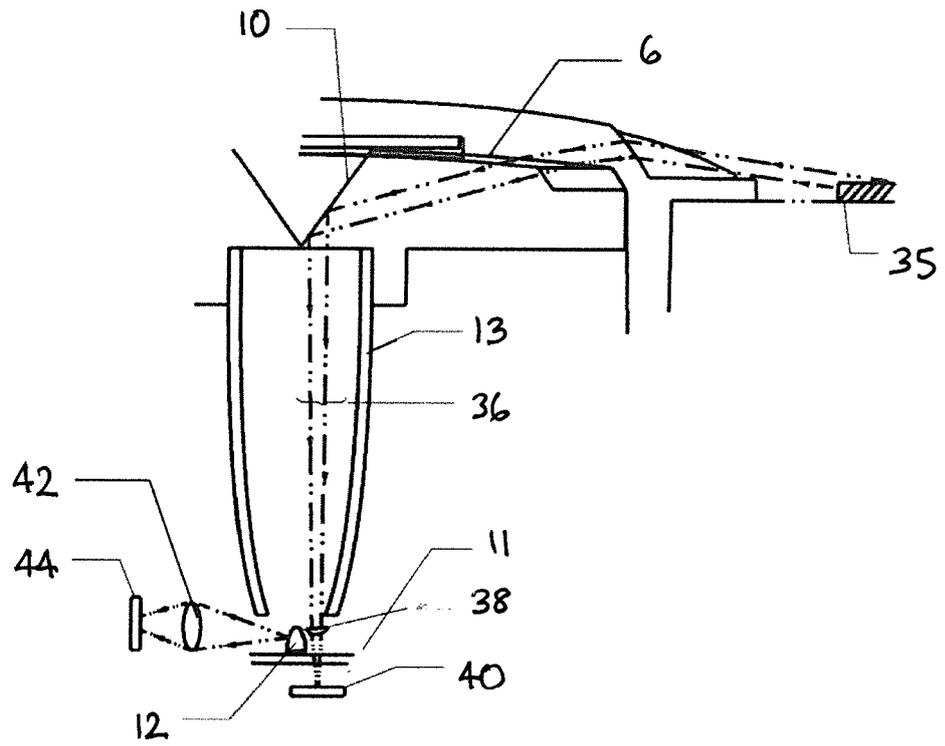


Fig. 11

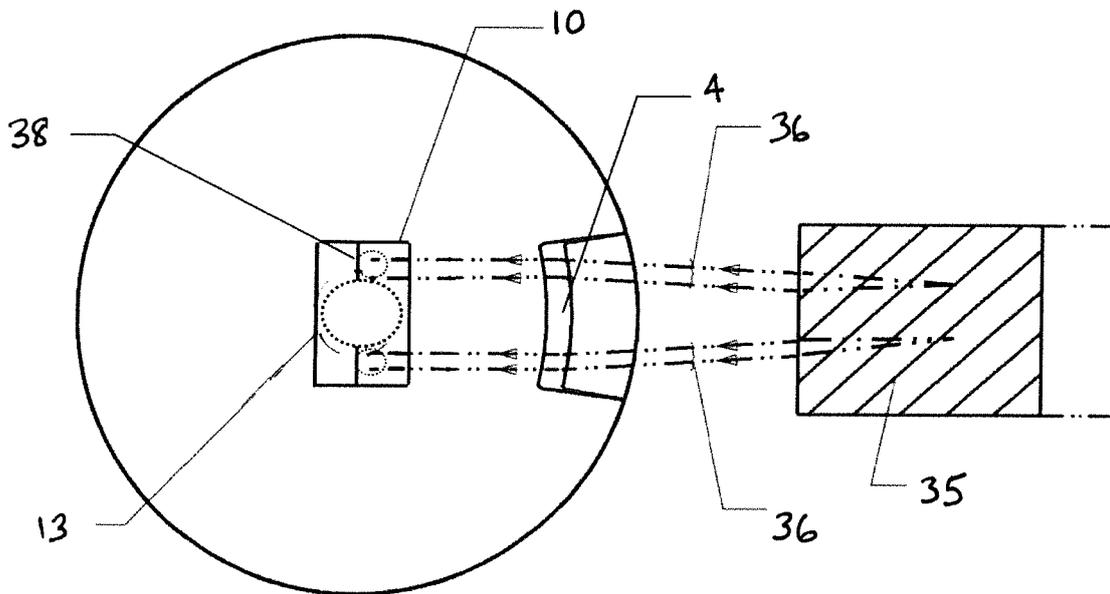


Fig. 12



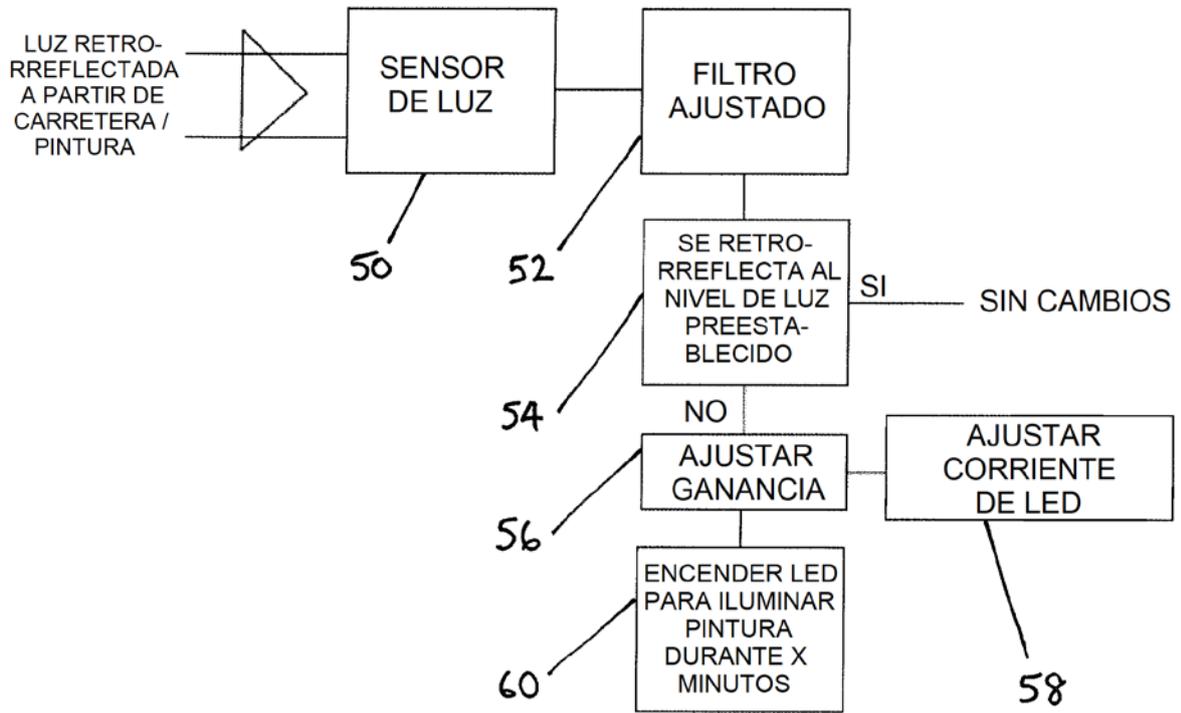
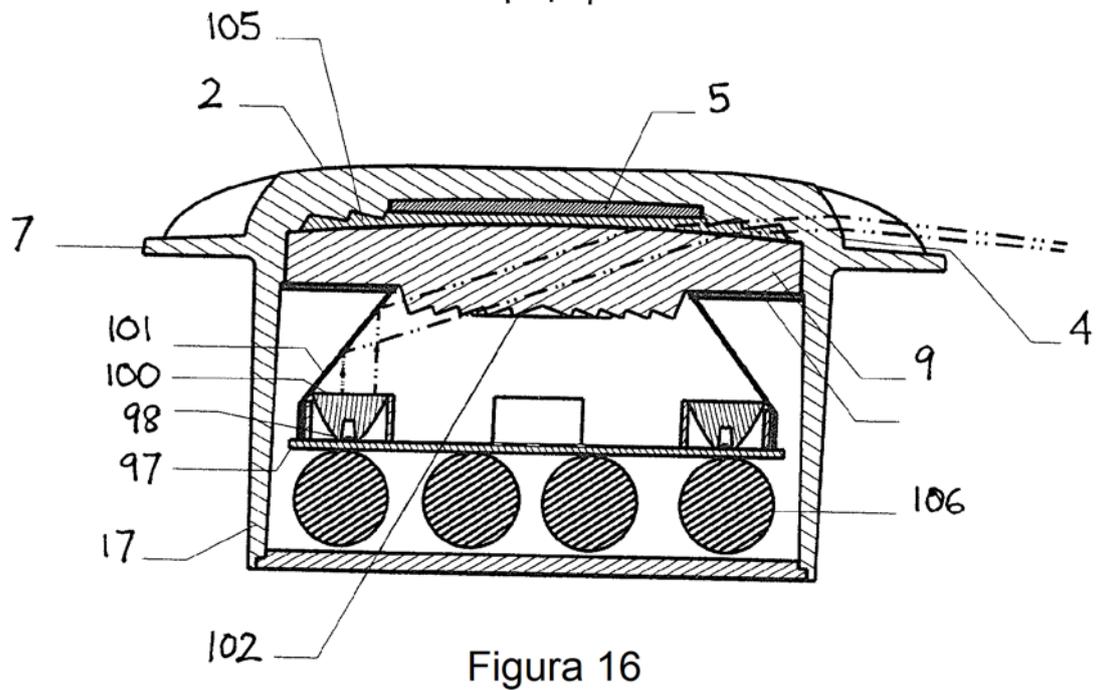
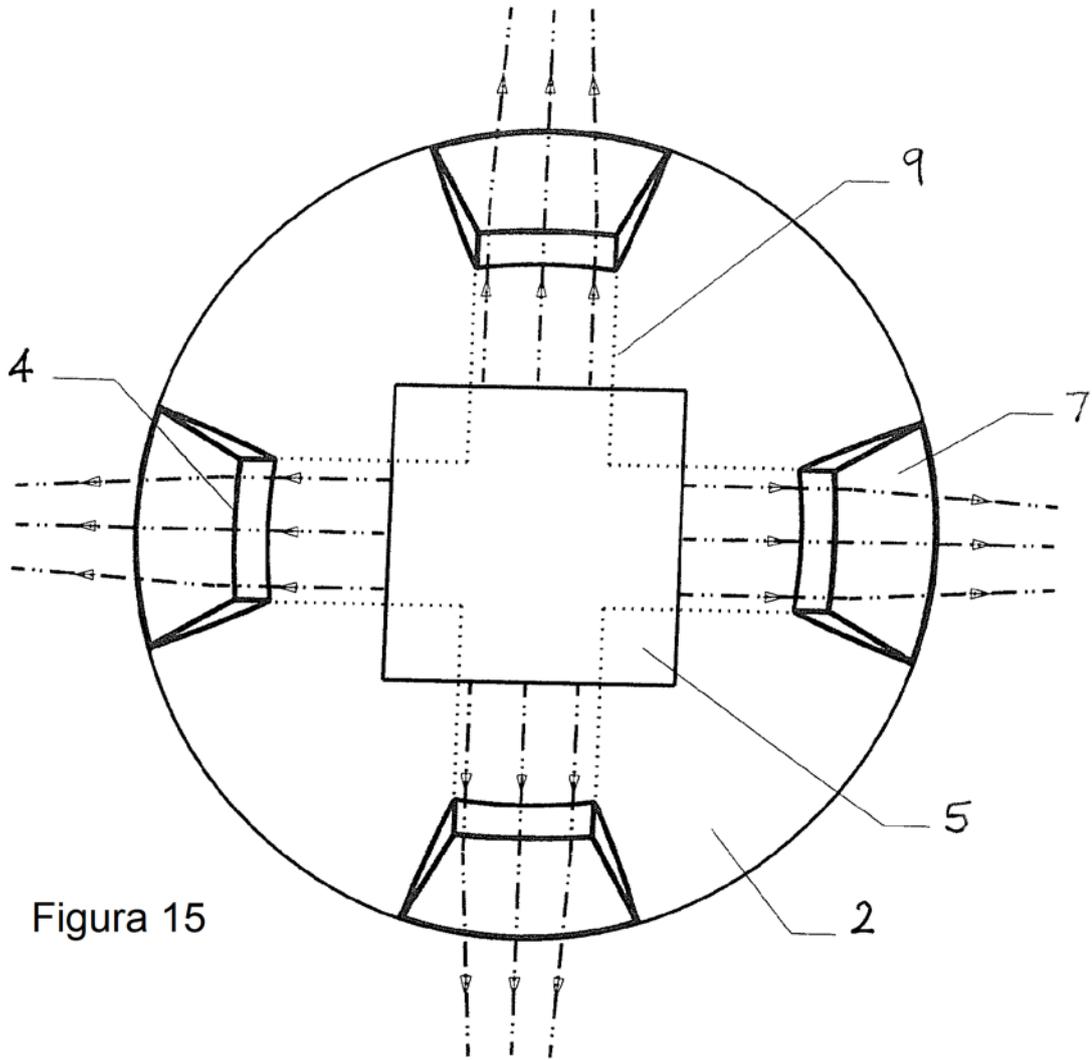


Fig. 14



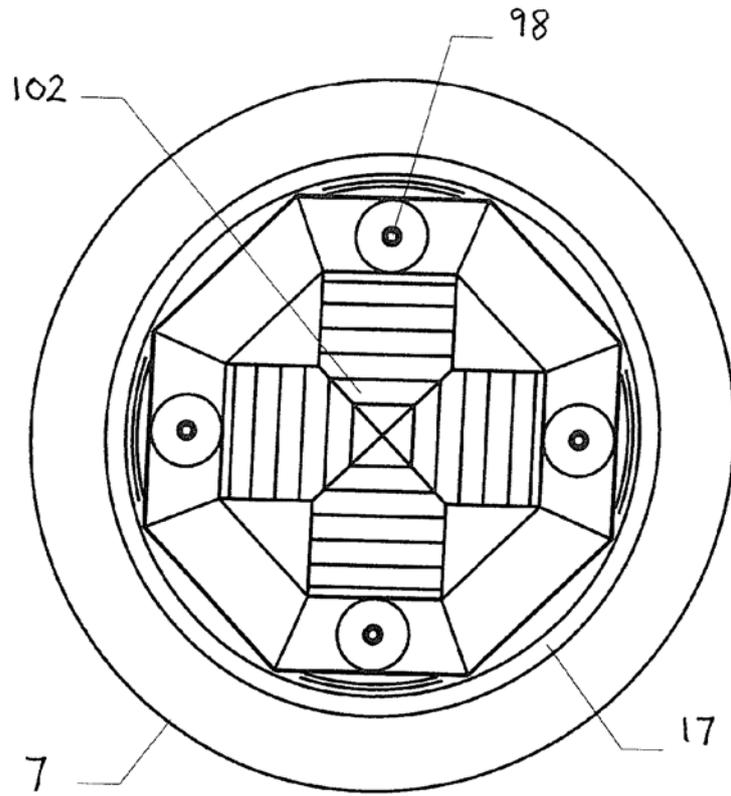


Figura 17A

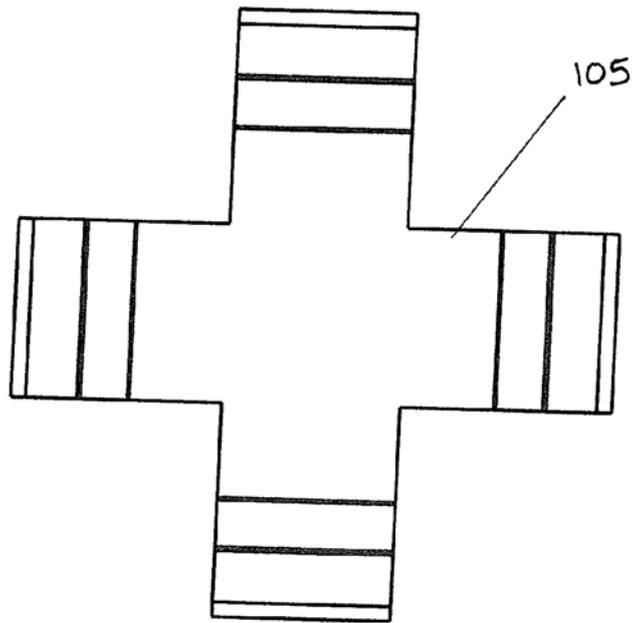


Figura 17B

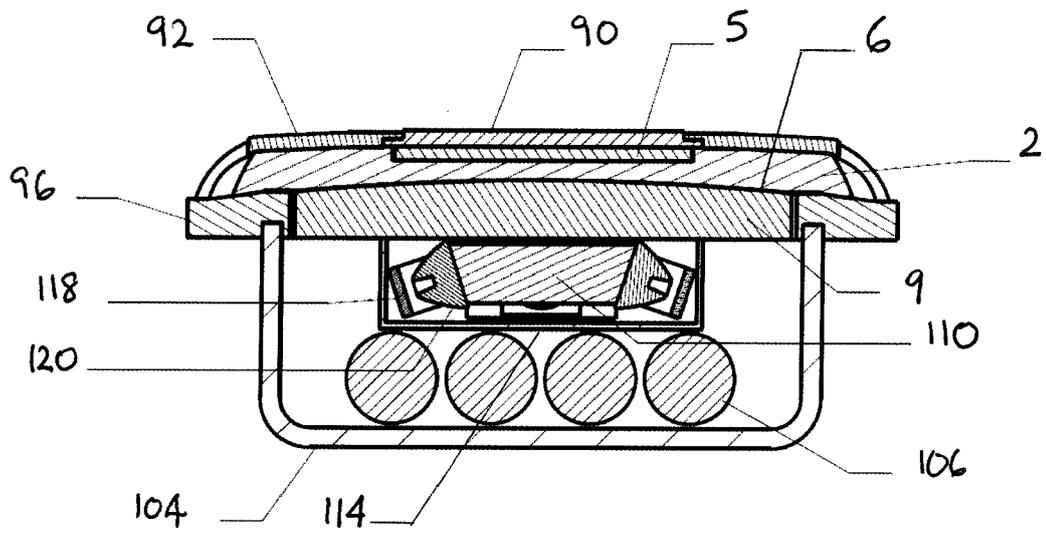


Fig. 18

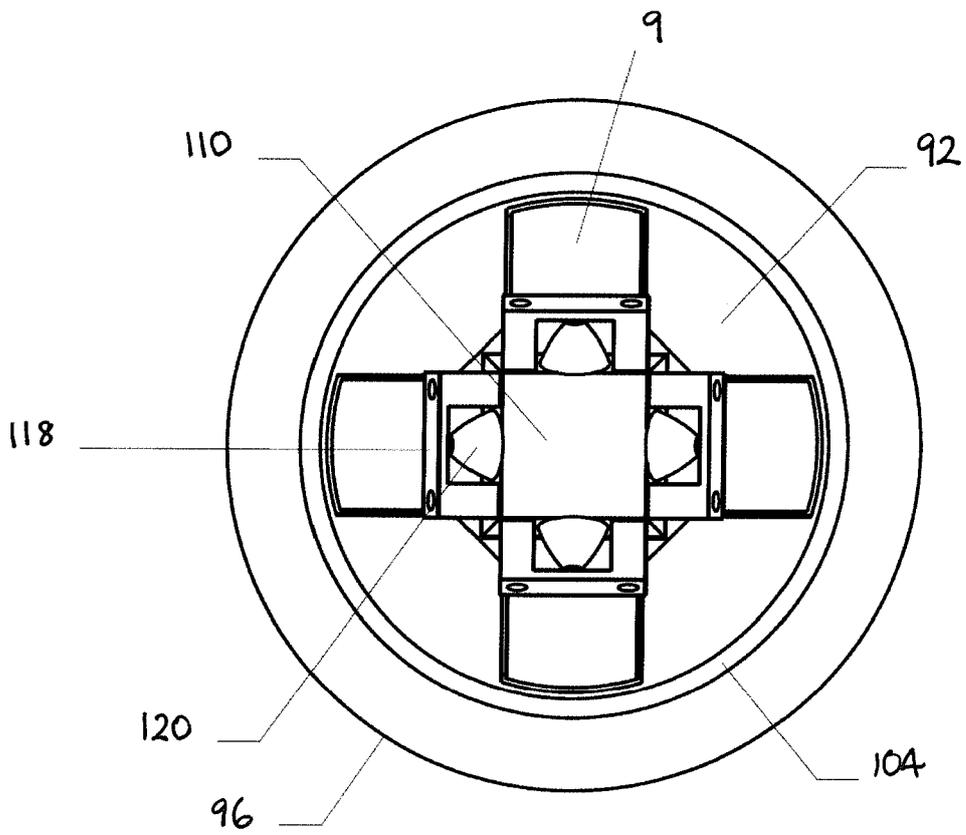


Fig. 19

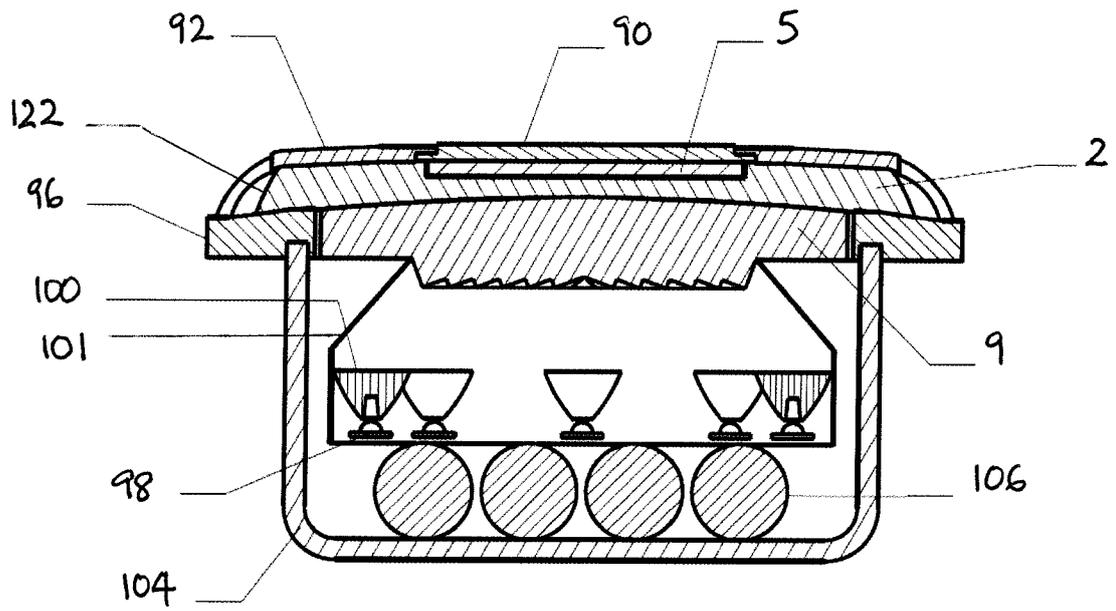


Fig. 20

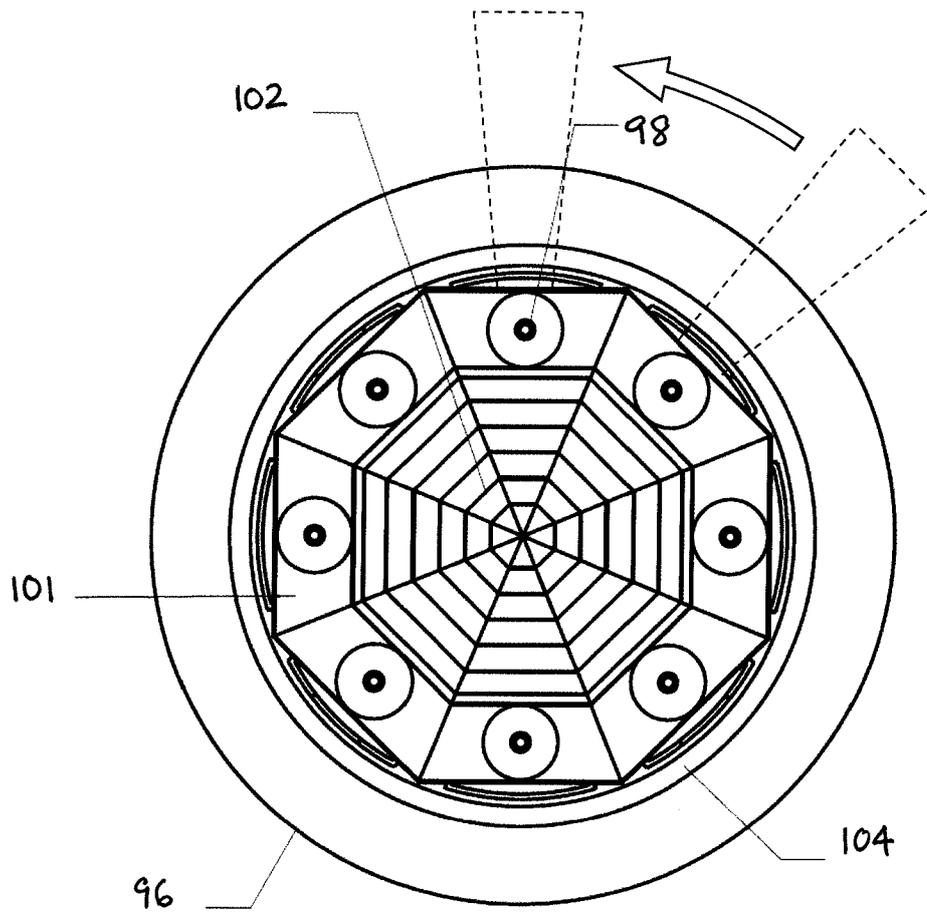


Fig. 21

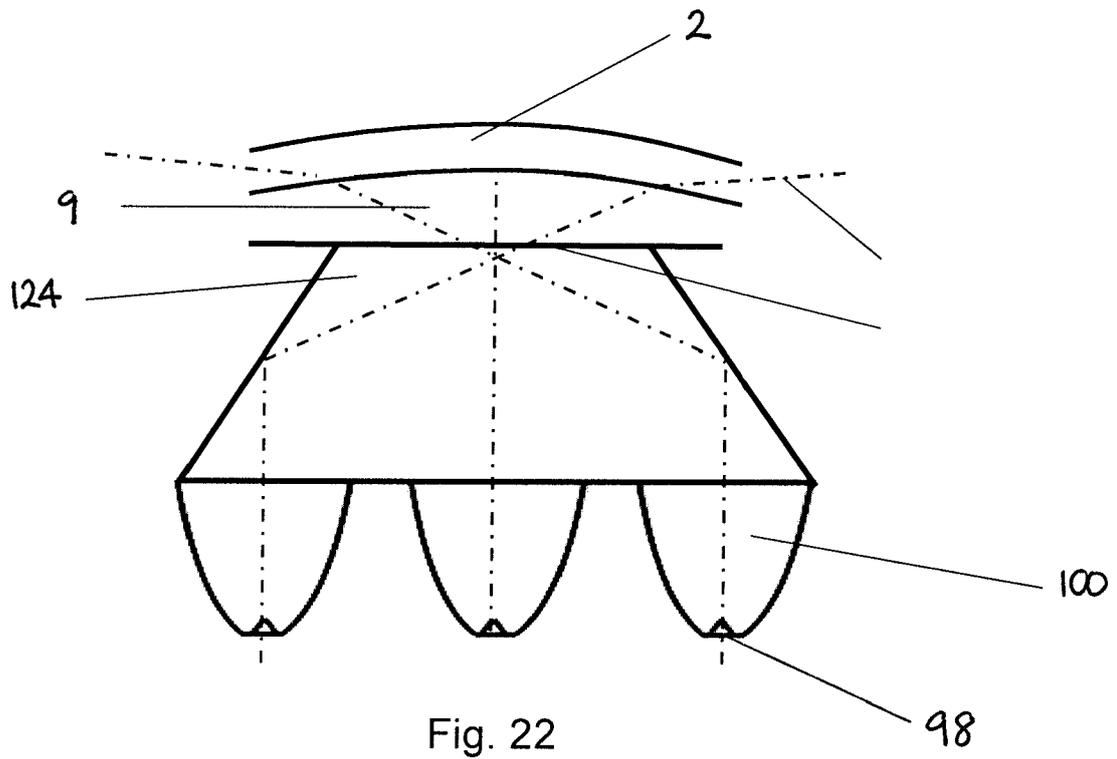


Fig. 22

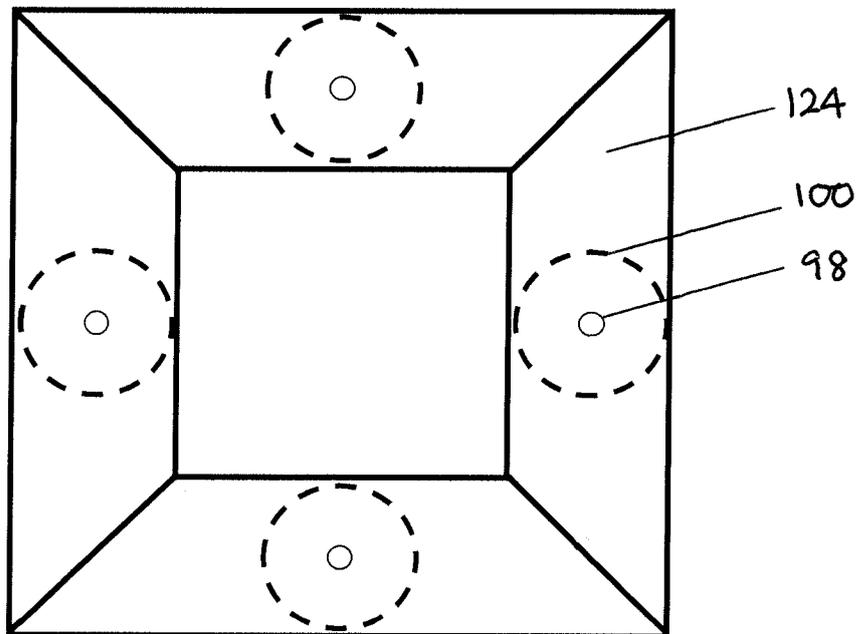


Fig. 23

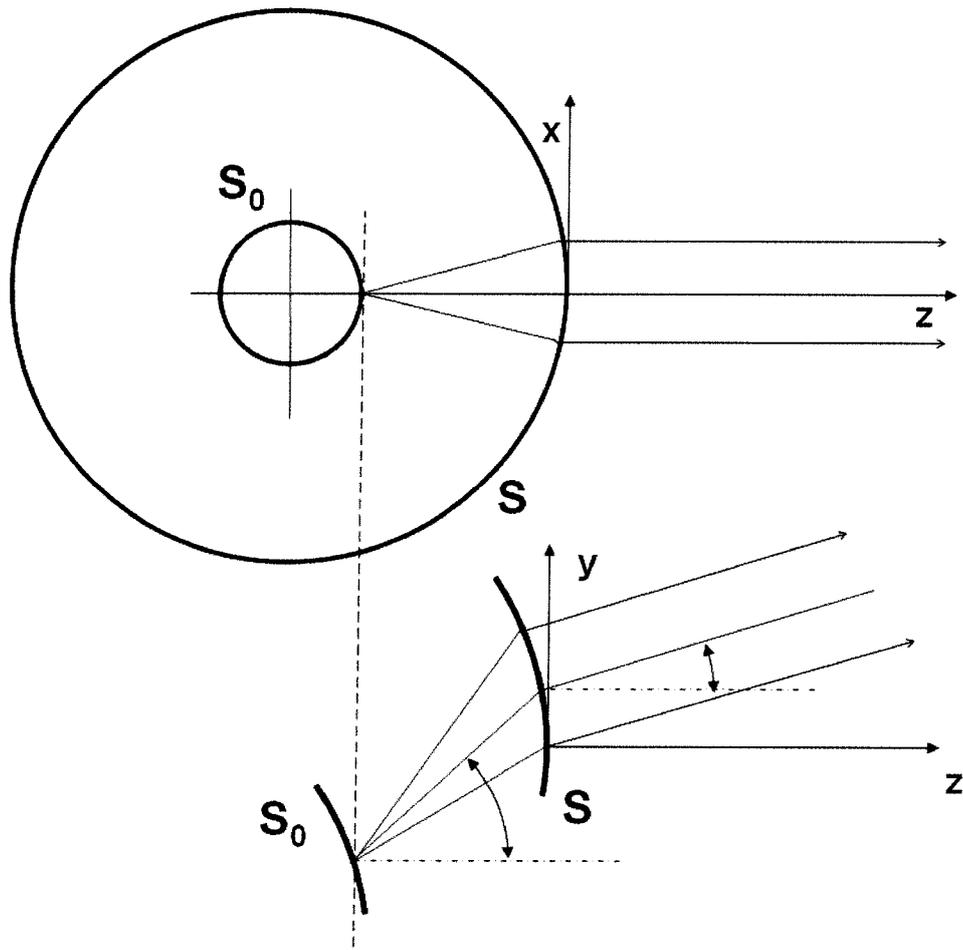


Fig. 24

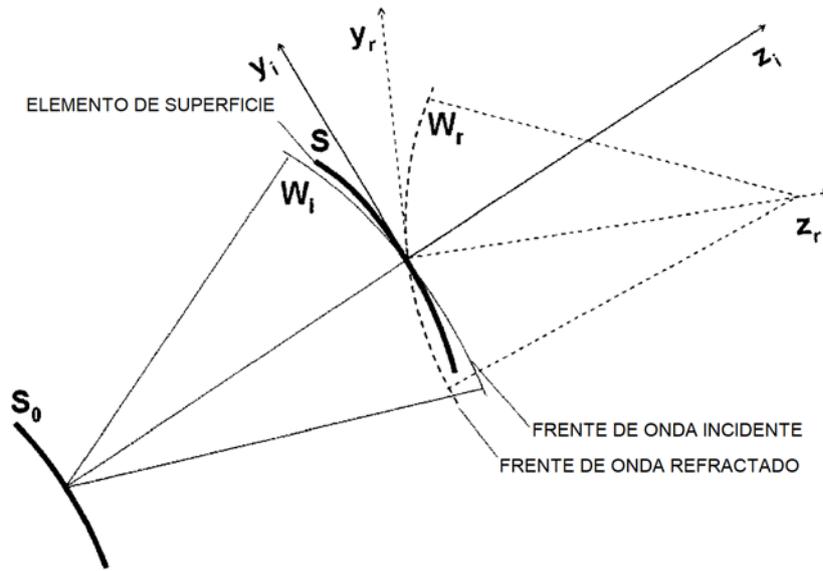


Fig. 25

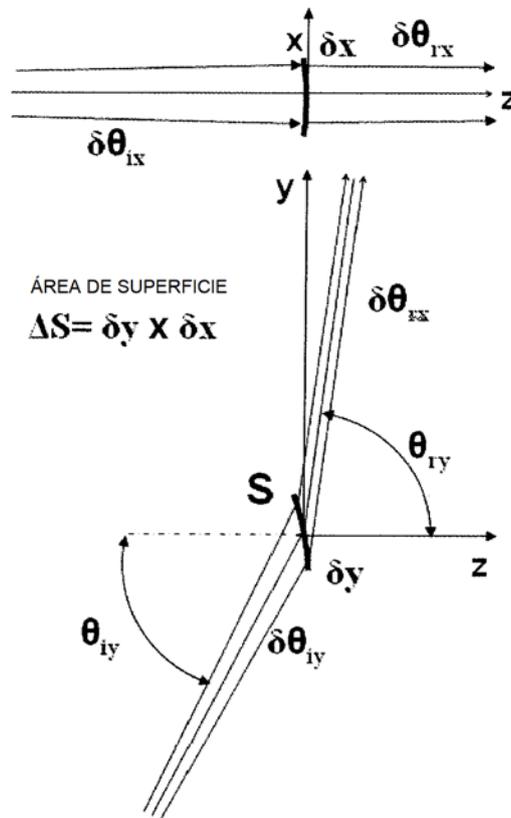


Fig. 26