

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad  
Intelectual  
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional  
7 de Junio de 2001 (07.06.2001)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional  
WO 01/40829 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes<sup>7</sup>: G02B 3/08,  
F24J 2/06

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo  
US): UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID  
[ES/ES]; Ramiro de Maeztu, 7, E-28040 Madrid (ES).

(21) Número de la solicitud internacional: PCT/ES00/00459

(72) Inventores; e

(22) Fecha de presentación internacional:  
1 de Diciembre de 2000 (01.12.2000)

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): MIÑANO  
DOMINGUEZ, Juan, Carlos [ES/ES]; DPTO. Elec-  
tronica Fisica, Etsi Telecomunicacion, Avda. Ciudad  
Universitaria, S.N., E-28040 Madrid (ES). BENITEZ  
GIMENEZ, Pablo [ES/ES]; DPTO. Electronica Fisica,  
Etsi Telecomunicacion, Avda. Ciudad Universitaria, S.N.,  
E-28040 Madrid (ES).

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

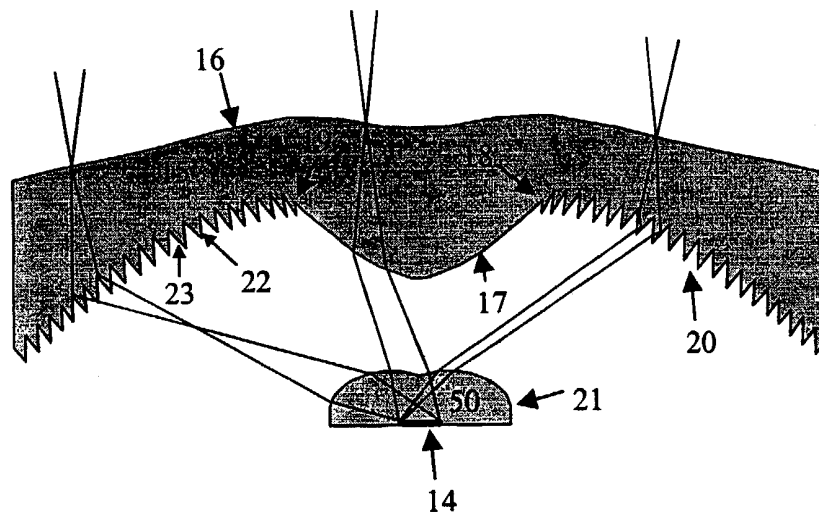
(30) Datos relativos a la prioridad:  
P 9902661 2 de Diciembre de 1999 (02.12.1999) ES

(81) Estados designados (nacional): AE, AL, AM, AT, AU,  
AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: DEVICE FOR CONCENTRATING OR COLLIMATING RADIANT ENERGY

(54) Título: DISPOSITIVO PARA CONCENTRACION O COLIMACION DE ENERGIA RADIANTE



(57) Abstract: The invention relates to an anidolic device for concentrating or collimating radiation on a receiver or an emitter (14) as the case may be. The device comprises a lens (50) surrounding the receiver and having an aspheric surface (21), in addition to the lens (15) whose top refractive surface (16) may be aspheric while the bottom surface is aspheric (17) in the central region thereof (between 18 and 19) and has a discontinuous slope structure (20) in the outer region thereof, in which the faces (22) fundamentally refract the rays while the faces (23) reflect the rays by total inner reflection. The design method makes it possible for the device to have considerably better concentration/collimation properties than existing inventions. Said lens can be used in radiation sensors, LED lighting systems, wireless optical communications or photovoltaic solar energy.

(57) Resumen: Esta invención consiste en un dispositivo anidólico para concentración o colimación de radiación sobre un receptor o un emisor (14), según sea el caso. El dispositivo consta de la lente (50), que rodea al receptor y que consta de la superficie esférica (21), y de la lente (15), cuya superficie refractiva superior (16) puede ser esférica, mientras que la superficie inferior es esférica (17) en su región central (entre 18 y 19) y tiene una estructura de pendiente discontinua (20) en su región externa, en la que

[Continúa en la página siguiente]



WO 01/40829 A1



DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), patente OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publicada:**

— *Con informe de búsqueda internacional.*

**(84) Estados designados (regional):** patente ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), patente euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), patente europea (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR,

*Para códigos de dos letras y otras abreviaturas, véase la sección "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" que aparece al principio de cada número regular de la Gaceta del PCT.*

---

las caras (22) fundamentalmente refractan los rayos mientras las caras (23) los reflejan por reflexión total interna. El método de diseño proporciona que el dispositivo tenga propiedades de concentración/colimación notablemente superiores a las invenciones existentes. Son posibles aplicaciones de dicha lente: los sensores de radiación, sistemas de iluminación con diodos LED, comunicaciones ópticas sin hilos o energía solar fotovoltaica.

**Título**

Dispositivo para concentración o colimación de energía radiante.

**Sector técnico**

- 5 Se enmarca dentro de los sistemas ópticos; concretamente de la Óptica Anidólica (u óptica no formadora de imagen).

**Estado de la Técnica anterior**

Existen inventos anteriores relacionados con la presente invención, todos ellos  
10 relacionados entre sí, que han dado lugar a varias patentes (US Pat. No. 4,337,759; US Pat. No. 5,404,869; US Pat. No. 5,577,493). Si bien a grandes rasgos alguna de las posibles geometrías de la presente invención se asemeja cualitativamente a dichas invenciones anteriores, existen varias diferencias fundamentales que marcan la novedad de esta invención y la ausencia de conflicto con las invenciones mencionadas. Dichas diferencias llevan a que las superficies ópticas de la  
15 invención son sustancialmente distintas, debido a que las condiciones que se imponen para realizar su diseño son diferentes y por tanto también su comportamiento óptico resultante. En particular, la invención presentada puede trabajar muy cerca (>95%) del límite termodinámico de concentración/colimación, mientras que las invenciones anteriores, que no se basan en las herramientas de la Óptica Anidólica, distan mucho de aproximarse a este límite (<80%) cuando  
20 la extensión angular de los haces de rayos a su paso por alguna de las superficies ópticas es grande ( $> 10^\circ$ ).

Las patentes relacionadas son: la patente de Popovich *et al.* US. Pat. No. 4,337,759,7/1982; la de W.A. Parkyn, Jr. *et al.*, US Pat. No. 5,404,869, 4/1995, y por último, W.A. Parkyn, Jr. *et al.*, US Pat. No. 5,577,493, 11/1996.

25 Los diseños de todas las invenciones mencionadas no se fundamentan (a diferencia de esta invención) en el teorema de rayos extremos de la Óptica Anidólica, lo que limita su funcionamiento con los haces extensos que producen muchos emisores y receptores que se usan en la práctica. Las patentes US. Pat. No. 4,337,759,7/1982 y US Pat. No. 5,404,869, 4/1995 consideran únicamente el rayo central de los haces en el diseño. Por su parte, la US Pat. No.  
30 5,577,493, 11/1996 considera la denominada óptica de primer orden en torno al rayo central (Luneburg, 1964), que proporciona un orden de aproximación superior al anterior, pero que aún así supone que el comportamiento que sus inventores le atribuyen para producir irradiancia constante es sólo preciso para haces de extensión angular muy reducida.

Además, la invención protegida por la US Pat. No. 5,577,493, 11/1996 es axisimétrica y considera como haz de salida el que produce una irradiancia uniforme en 3D en la apertura de salida. Este haz es sólo un caso particular de los considerados en la presente patente.

## 5 Explicación de la invención

Esta invención consiste en un dispositivo anidólico de concentración o colimación que consta de dos lentes esféricas, una de ellas conteniendo una estructura de pendiente discontinua (esto es, dentada), que concentran la radiación incidente sobre un receptor o coliman la radiación emitida por un emisor, según sea el caso. El método de diseño de este concentrador se basa en el método de diseño anidólico de las Superficies Múltiples Simultáneas o SMS (Miñano, González, 1992).

Para el diseño de esta invención se realiza el acoplamiento en geometría bidimensional (2D) de dos haces de rayos extensos (por ejemplo, no puntuales). Los dispositivos tridimensionales (3D) reales se obtienen por simetría de revolución (axisimétricos) o traslación (cilíndricos) y su funcionamiento se analiza *a posteriori*. Como ejemplos de haces de rayos de uso habitual (figura 1) están: (tipo 1) el compuesto por los rayos que inciden sobre un segmento (1) formando un ángulo inferior a un ángulo dado (2) (llamado *ángulo de aceptación* del haz) con la perpendicular a dicho segmento, y (tipo 2) el compuesto por los rayos que interceptan dos segmentos dados (3). Ambos tipos de haces pueden definirse de forma más general (tipo 3) si se substituyen los segmentos por tramos de curvas arbitrarias. La figura 1 muestra, además de dos haces de tipo 1 y 2, un haz del tipo 3 compuesto por los rayos que interceptan un rectángulo (4) y una semicircunferencia (5) (este haz es útil para modelar un LED o un IRED). Puede describirse otro haz de rayos (tipo 4) de carácter más general que los de tipo 1 y 2 (que los incluye como caso particular) como el compuesto por los rayos que inciden sobre un segmento con un ángulo de incidencia comprendido entre dos ángulos especificados para cada punto del segmento.

El diseño de la presente invención está basado en el denominado teorema de los rayos extremos de la Óptica Anidólica (Welford, Winston, 1989), que afirma que para realizar el acoplamiento entre dos haces asociados al emisor y el receptor, es necesario y suficiente acoplar los subconjuntos de rayos extremos de ambos haces. El uso de este teorema es clave para obtener dispositivos que trabajan muy cerca del límite termodinámico con haces de extensiones angulares no limitadas. Por ejemplo, los rayos extremos de los haces de la figura 1 son, para el haz de tipo 1, los que inciden sobre el segmento con un ángulo de incidencia igual al ángulo de aceptación del haz y los que pasan por los extremos del segmento (6) y (7); para el haz de tipo 2, los que pasan por alguno de los extremos (8), (9), (10) y (11) de los dos segmentos dados; y para

el haz de tipo 3, los que son tangentes al rectángulo y los que pasan por los extremos (12) y (13) de la semicircunferencia.

Una posible configuración del dispositivo inventado es la mostrada en la figura 2, en donde se muestra también su principio básico de funcionamiento como concentrador de radiación sobre un receptor (14). La lente (15)  $L_1$  consta de dos caras activas: la superficie refractiva superior (16), que denominaremos  $S_1$ , que es en general esférica, y la inferior,  $S_2$ , que consta de otra superficie refractiva esférica (17) en su región central (entre los puntos (18) y (19), que llamaremos P y P', respectivamente) y de una estructura de pendiente discontinua (20) en su región externa. La lente (50)  $L_2$  rodea al receptor y consta de la superficie refractiva esférica (21), que nombraremos  $S_3$ . Los rayos colectados que inciden en la región central (17) sufren tres refracciones consecutivas antes de llegar al receptor. Por otro lado, los rayos colectados que inciden en la región (20) más externa sufren las siguientes incidencias antes de alcanzar el receptor: una primera refracción sobre la superficie  $S_1$ , una (posible) reflexión total interna en la cara (22) (que denominaremos cara V) de los dientes de  $S_2$ , una reflexión total interna en la cara (23) de dichos dientes (que denominaremos cara T), una segunda refracción en la cara V y por último una tercera refracción en  $S_3$ . La reflexión total interna se produce cuando el ángulo de incidencia del rayo con la normal a la superficie es mayor que el llamado *ángulo crítico* de la interfaz, que viene dado por  $\arcsen(1/n)$ , siendo n el índice de refracción de la lente  $L_1$ .

Como casos particulares están aquellos en que el perfil de  $S_1$  es circular o plano. Éste último es de especial interés en algunas aplicaciones, como la concentración fotovoltaica, ya que permite el agrupamiento de un conjunto de dispositivos adheridos a una placa dieléctrica, como por ejemplo un vidrio plano, que actúa como referencia proporcionando el paralelismo entre los dispositivos, como protección en la intemperie y como filtro para la radiación ultravioleta.

En el diseño se calculan las superficies  $S_2$  y  $S_3$  a partir de la especificación del perfil de la superficie  $S_1$  y de los haces de entrada y salida. La definición del haz de entrada puede hacerse antes de su refracción en  $S_1$ , con lo cual su definición sería independiente de la de dicha superficie. Por ejemplo, podría ser un haz de tipo 1 con aceptación  $\alpha$  y con los extremos del segmento coincidentes con los dos puntos extremos de la superficie  $S_1$ . Otra posibilidad, que puede ser interesante en la práctica, es la de definir el haz de entrada después de su refracción en  $S_1$ , lo que permite, por ejemplo, que el segmento que atraviesan los rayos del haz sea el definido por los dos puntos extremos de la superficie  $S_2$ . Esto supone que la especificación del haz y de la superficie son interdependientes: si se desea definir el haz como el compuesto por los rayos que inciden dentro de la aceptación  $\alpha$  antes de la refracción en  $S_1$  y con los extremos del segmento coincidentes con los dos puntos extremos de la superficie  $S_2$ , será necesario, en general, realizar un trazado de rayos sobre la superficie  $S_1$ . En el caso de que la superficie  $S_1$  sea plana, dicho

trazado de rayos no es necesario por ser la refracción en esta superficie trivial, y así la especificación del haz después de la refracción es inmediata por aplicación de la ley de Snell: será un haz de tipo 1 con ángulo de aceptación igual a  $\alpha' = \arcsen(1/n \cdot \sen \alpha)$ , siendo  $n$  el índice de refracción de la lente  $L_1$ .

5            Para simplificar la explicación y a modo de ejemplo se va a suponer que  $S_1$  es un plano, que los haces de entrada y salida son ambos de tipo 1 y que ambos haces son simétricos respecto a un eje, como indica la figura 3. Para los otros tipos de haces el procedimiento es análogo. El haz de la entrada (especificado tras la refracción en  $S_1$ ) está definido por la aceptación (24) de valor  $\alpha'$ , y por los bordes (25) y (26) de la superficie  $S_2$ , que llamaremos  $I$  e  $I'$ , que determinan el  
10 segmento que denominaremos apertura de entrada. El haz de la salida está definido por el receptor, que es el segmento de extremos (27) y (51), que nombraremos respectivamente  $R$  y  $R'$ , y por el ángulo de iluminación limitado al ángulo de aceptación (28) de valor  $\beta$  (consideración habitual cuando la sensibilidad del receptor es baja para ángulos muy rasantes, como es común en fotodiodos o en células solares). Los bordes  $O$  y  $O'$  de la superficie  $S_3$  son los puntos  
15 simétricos (29) y (30). Dicha figura muestra también el sistema de coordenadas cartesiano (31) que se utilizará para la descripción, cuyo origen está centrado en el receptor.

Son parámetros de entrada de este diseño (además del perfil de la superficie  $S_1$ ) los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$ , la distancia  $RR'$ , el índice de refracción de los materiales dieléctricos a emplear ( $n$  para la lente  $L_1$  y  $n'$  para la  $L_2$ ), la ordenada del punto  $I$ , la abscisa del punto  $O$ , y la abscisa del  
20 punto  $P$ . La ordenada del punto  $O$  se calcula de forma inmediata a partir de su abscisa, la distancia  $RR'$  y el ángulo  $\beta$ . Sin embargo, el cálculo de la abscisa del punto  $I$  y de la ordenada del punto  $P$  se obtendrá más adelante, como resultado del diseño.

El procedimiento de diseño consta de tres fases. En la primera fase se escogen las  
25 condiciones de diseño para los dientes de la superficie  $S_2$  (que serán diferentes para concentración o colimación), suponiendo que tienen un tamaño infinitesimal. Con estas condiciones se calculan las expresiones que constituyen el diseño individual de dientes para los diferentes ángulos de incidencia respecto a la normal media del diente. En la segunda fase se diseñan de forma simultánea con el método SMS las superficies  $S_2$  y  $S_3$  que acoplan el haz de salida y el haz de entrada, teniendo en cuenta para ello las expresiones calculadas en la primera  
30 fase. Por último en la tercera fase, se generan los dientes de la superficie  $S_2$  con un tamaño finito (como se fabricarán en la práctica) a partir de los dientes infinitesimales calculados en la fase anterior.

Por otra parte, existen diferentes modalidades posibles para el diseño, según el nivel de complejidad de los dientes de tamaño finito de la superficie  $S_2$  tanto en su diseño en la tercera

fase como en su fabricación. Así, puede definirse como modalidad básica aquella en el que los perfiles de las caras T son rectilíneos, la modalidad estándar en que dichos perfiles son arcos de circunferencias y la modalidad avanzada en que son esféricos. Las tres modalidades convergen entre sí cuando el tamaño de los dientes es muy pequeño (proporcionando una calidad de funcionamiento coincidente con la prevista para dientes infinitesimales), pero su comportamiento se degrada de forma diferente cuando el tamaño de los dientes es mayor. En orden de calidad creciente están las modalidades básica, estándar y avanzada. Como el diseño de las modalidades estándar y avanzada se realiza a partir del resultado de la modalidad básica, empezaremos describiendo esta última antes de proceder con la explicación de las demás.

10            Considerérese para la primera fase la descripción de un diente diseñado en el primer cuadrante funcionando como concentrador según muestra la figura 4.a. Puesto que el tamaño del diente es infinitesimal (ampliado en la figura), esto supone que, en la escala de la figura, los dientes contiguos son idénticos y que los frentes de ondas asociados a los rayos extremos son planos. El vector (32), que llamaremos  $t$ , es el vector tangente macroscópico de la superficie  $S_2$ .

15    Se desea que la luz incidente a través del segmento (33), de extremos (34) y (35), con inclinación entre la de los rayos (36) y (37), que llamaremos respectivamente  $e(+)$  y  $e(-)$ , se transmita de forma óptima a través del segmento (38), de extremos (39) y (40), con inclinación entre la de los rayos (41) y (42), que llamaremos respectivamente  $i(-)$  e  $i(+)$ . Para ello se impondrán como características de diseño que: (1) no existan incidencias indeseadas y (2) la irradiancia a la salida

20    del diente sea lo más uniforme posible. Ambas características se obtienen al exigir las dos condiciones siguientes. Por un lado, que la cara V sea paralela a la bisectriz del haz incidente, que coincide con la llamada línea de flujo del haz (Welford, Winston, 1989). La cara V así situada tiene la propiedad de reflejar (por reflexión total interna) el haz sin que su geometría se vea modificada. Por otro lado, se debe exigir que el rayo  $e(-)$  que incide en el punto (34) tras la

25    reflexión total interna en la cara T y la refracción en la cara V, se transforme en el rayo  $i(-)$  que pasa por el punto (40). Nótese que por todos los puntos del segmento (38) pasan rayos  $i(-)$  transformados de los rayos  $e(+)$  y  $e(-)$ , pero que sólo de una porción del segmento (38) emergen rayos  $i(+)$  (por ello la irradiancia no es uniforme en (38), aunque sí lo más posible, como requería la condición (2)). No obstante, en la segunda fase se emplearán los rayos  $i(+)$  e  $i(-)$

30    como si emergieran de todo el segmento (38), lo que conllevará que no sea posible alcanzar el límite termodinámico de concentración/colimación (aunque la invención se sitúe muy cerca).

Estas dos condiciones para el diseño de los dientes infinitesimales, con las que se garantiza que funcionan de forma óptima, constituyen otra novedad respecto a las patentes relacionadas anteriormente citadas, ya que no están presentes en ninguna de ellas.

En la figura 4.b se representa un diente para el diseño básico funcionando como colimador. Como se puede apreciar la diferencia respecto al caso de la figura 4.a, en que se ha diseñado como concentrador, estriba en la segunda condición impuesta: en este caso es el rayo  $e(+)$  que incide en (34) el que debe transformarse en el rayo  $i(+)$  que pasa por el punto (40).

- 5 Al imponer las dos condiciones mencionadas se deduce que la cara V es vertical y se obtienen por cálculos trigonométricos las siguientes expresiones que relacionan los ángulos involucrados:

$$\tag \delta = \tag \psi + \frac{\text{sen } \psi}{\sqrt{n^2 - \text{sen}^2 \psi}} + \tag \gamma \quad (\text{Ec. 1.a})$$

$$n \cos(2\delta - \alpha') + \text{sen } \phi = 0 \quad (\text{Ec. 1.b})$$

$$n \cos(2\delta + \alpha') + \text{sen } \phi' = 0 \quad (\text{Ec. 1.c})$$

- 10 donde  $\phi$ ,  $\phi'$ ,  $\delta$  y  $\gamma$  son respectivamente los ángulos (54), (55), (56) y (57) mostrados en la figura 4,  $n$  es el índice de refracción de la lente y  $\psi \equiv \phi$  en el diseño del concentrador y  $\psi \equiv \phi'$  en el del colimador.

En la segunda fase, en que se diseñan los perfiles de las superficies  $S_1$  y  $S_2$ , se siguen los siguientes pasos:

- a) Escoja un valor para la abscisa del punto I (este valor se recalculará más adelante).
- 15 b) Mediante la aplicación (inversa) de la ley de Snell, calcule el vector tangente a  $S_3$  en el punto O con la condición que el rayo que incide desde I debe refractarse en O hacia R.
- c) Calcule el ángulo  $\delta$  del diente infinitesimal situado en el punto I con la condición de que el rayo  $i(+)$  asociado al diente se dirija hacia O. Esto puede hacerse utilizando la ecuación (Ec. 1.c), donde el ángulo  $\phi'$  se calcula a partir de los puntos I y O. Calcule también el ángulo  $\phi$  utilizando (Ec. 1.b), el ángulo  $\gamma$  utilizando (Ec. 1.a), y a partir de este último, calcule  $t_1 = (-\cos \gamma, \text{sen } \gamma)$ , que es el vector tangente macroscópico a  $S_2$  en I.
- 20 d) Halle el primer tramo de  $S_3$  por encima de O con la condición de que los rayos que provienen de I se refracten en dicha porción hacia el receptor con un ángulo de incidencia  $\beta$ . La solución de este problema viene dada por la constancia del camino óptico desde el punto I hasta un frente de ondas plano inclinado dicho ángulo  $\beta$ , y resulta ser una elipse. Ésta constituye un
- 25 caso particular de los denominados óvalos cartesianos. La tangente a  $S_3$  en dichos puntos puede



hallarse, una vez éstos calculados, por aplicación (inversa) de la ley de Snell como en el paso a). El último punto de esta porción lo marca el rayo que, una vez refractado, pase por R'.

5 e) Halle el siguiente tramo de  $S_3$ , con la condición de que los rayos que provienen de I se refracten en dicha porción hacia el punto R'. De nuevo, la solución viene dada por la constancia del camino óptico entre ambos puntos y constituye un caso particular de óvalo cartesiano, y la tangente a  $S_3$ , en dichos puntos se hallar por aplicación (inversa) de la ley de Snell. El último punto de este tramo, que llamará  $H_0$  y a su tangente  $t_{H_0}$ , es aquel para el que se ha empleado en su cálculo el rayo  $i(-)$  que sale de I.

10 f) Renombre I,  $t_i$ , O y  $t_o$  como  $F_0$ ,  $t_{F_0}$ ,  $G_0$  y  $t_{G_0}$ , respectivamente. De los tramos de  $S_3$  calculados en d) y f) escoja un número  $M$  de puntos uniformemente distribuidos (por ejemplo,  $M = 500$ ) y nómbrelos de  $F_1$  a  $F_M$ , con tangentes  $t_{F_1}$  a  $t_{F_M}$ . Nótese que  $H_0 \equiv F_M$  (y  $t_{H_0} \equiv t_{F_M}$ ).

15 g) Halle el siguiente punto macroscópico  $G_1$  de la superficie  $S_2$  como el punto de intersección entre la recta que pasa por  $G_0$  con vector director  $t_{G_0}$  y la trayectoria del rayo refractado en  $F_1$  proveniente de R (trazado en sentido inverso). Este rayo es el rayo  $i(+)$  asociado al diente infinitesimal en  $G_1$ , por lo que proporciona además el ángulo  $\phi'$  en dicho punto. Con las ecuaciones (Ec. 1.c), (Ec. 1.b) y (Ec. 1.a) pueden calcularse, respectivamente, los ángulos  $\delta$ ,  $\phi$  y  $\gamma$ , y a partir de este último,  $t_{G_1} = (-\cos \gamma, \sin \gamma)$ , que es el vector tangente macroscópico a  $S_2$  en  $G_1$ .

20 h) Calcule el siguiente punto  $H_1$  de la superficie  $S_3$  como el punto de intersección entre la recta que pasa por  $H_0$  con vector director  $t_{H_0}$  y el rayo  $i(-)$  asociado al diente infinitesimal de  $G_1$ . La tangente  $t_{H_1}$  a  $S_3$  en  $H_1$  puede hallarse de nuevo por aplicación (inversa) de la ley de Snell. Identifique  $H_1 \equiv F_{M+1}$  (y  $t_{H_1} \equiv t_{F_{M+1}}$ ).

25 i) Repita los pasos g) y h) incrementando los subíndices en una unidad, hasta que la abscisa de un punto  $G_n$  sea menor que la abscisa del punto P (escogida como parámetro de entrada). Puesto que la precisión sobre la abscisa del punto P escogida no es importante (y que al venir determinada dicha precisión por el valor del parámetro  $M$  escogido en el paso f) puede mejorarse a elección), se considerará para lo que sigue  $P \equiv G_n$ .

30 El perfil de la región central de  $S_2$  (entre P y P') se va a calcular (junto con la porción restante de  $S_3$ ), de acuerdo de nuevo con el teorema de rayos extremos, para que dirija los rayos  $e(+)$  hacia R' y los  $e(-)$  hacia R (Nótese que esta asignación es la contraria de la que se realizaba en los pasos g) y h) para la porción exterior de la  $S_2$ ). Puesto que las superficies son continuas, esto implica que el camino óptico desde el frente de ondas asociado a los rayos  $e(+)$  hasta R' será constante, así como el asociado a los rayos  $e(-)$  hasta R. Para que las superficies  $S_2$  y  $S_3$  no tengan discontinuidades en sus respectivos vértices, la simetría del diseño obliga a que ambos

caminos ópticos (medidos respecto a frentes de onda simétricos) sean además iguales entre sí. Esta condición va a permitir decidir sobre la bondad de la elección inicial de la abscisa del punto I.

5 j) Halle la tangente a  $S_2$  en P para que el rayo e(-) incidente se transforme tras la refracción en el rayo i(+) calculado en el punto P en el paso i). Calcule el rayo e(+) tras la refracción en P. Si el ángulo que forma con la horizontal es superior al ángulo  $\phi$  calculado en el punto P en el paso i), vuelva al inicio escogiendo un valor menor para la abscisa del punto P.

10 k) Calcule un nuevo tramo de  $S_3$  a continuación del punto  $H_n$  hallado en el paso i) con la condición de que los rayos que provienen de P se refracten en dicha porción hacia el punto R'. De nuevo, la solución viene dada por la constancia del camino óptico entre ambos puntos y la tangente a  $S_3$  en dichos puntos se halla por aplicación (inversa) de la ley de Snell. El último punto de este tramo es aquel para el que se ha empleado en su cálculo el rayo e(+) una vez refractado en P. Escoja un número  $M'$  de puntos uniformemente distribuidos (por ejemplo,  $M' = 50$ ) y nómbralos de forma correlativa a los anteriores, esto es, de  $H_{n+1}$  a  $H_{n+M'}$  (y de  $F_{M'+n+1}$  a  $F_{M'+n+M'}$ ).

15 l) Calcule los caminos ópticos C(+) y C(-) asociados a los rayos e(+) hasta R' y a los rayos e(-) hasta R, respectivamente.

m) Repita los pasos desde a) hasta l) iterando sobre el valor de la abscisa del punto I hasta lograr que  $|1 - C(+)/C(-)| < \epsilon$ , siendo  $\epsilon$  un margen de error prefijado (ej. 0.0001).

20 n) Calcule el siguiente punto  $G_{n+1}$  de  $S_2$  con la condición de que la trayectoria del rayo refractado en  $F_{n+1}$  proveniente de R (trazado en sentido inverso) se transforme tras la refracción en el punto buscado, en un rayo e(-). De nuevo, la solución se calcula porque el camino óptico C(-) es conocido y la tangente a  $S_2$  en  $G_{n+1}$  se halla por aplicación (inversa) de la ley de Snell.

25 o) Calcule el siguiente punto  $H_{n+M'+1}$  de  $S_3$  con la condición de que la trayectoria del rayo e(+) refractado en  $G_{n+1}$  se dirija tras la refracción en el punto buscado a R'. De nuevo, la solución se calcula porque el camino óptico C(+) es conocido y la tangente a  $S_3$  en  $H_{n+M'+1}$  se halla por aplicación (inversa) de la ley de Snell.

p) Repita los pasos n) y o) hasta alcanzar el eje de simetría, esto es, hasta que las abscisas de los puntos G y H calculados sean negativas.

30 Finalmente, para concluir el diseño básico sólo resta la tercera fase, en la que se generan los dientes de  $S_2$  con un tamaño finito (como se fabricarán en la práctica) y caras de perfil rectilíneo a partir de la superficie macroscópica y los dientes infinitesimales calculados en la fase anterior. Se procede desde el borde hacia el centro de la lente siguiendo los siguientes pasos:

a) Escoja, por ejemplo, el tamaño D de la proyección horizontal de los dientes finitos. Este tamaño debe ser tal que el trazado de rayos posterior muestre que no existe una degradación importante en el funcionamiento del dispositivo respecto al que se obtiene con un tamaño D/2.

5 b) Tome como puntos centrales de los dientes finitos aquellos puntos  $G_i$  de la superficie macroscópica entre P e I cuya abscisa diste con mejor aproximación del punto I un número impar de veces D/2.

c) Defina la inclinación de la cara T del diente finito al que pertenece  $G_i$  como la inclinación de la cara T definida en  $G_i$  por el diente infinitesimal. La cara T del diente finito se extiende simétricamente respecto al punto.

10 d) Las caras V se sitúan por tanto en abscisas que distan del punto I un número entero de veces D.

El diseño del concentrador según la modalidad básica está finalizado. En esta última fase puede tomarse otro criterio para la generación de dientes finitos, como que la distancia entre la envolvente superior e inferior de los dientes tome el valor D. El procedimiento de generación es similar al descrito, y el ajuste de los puntos centrales  $G_i$  de cada diente puede hacerse de forma iterativa.

La modalidad estándar se diferencia de la modalidad básica en la tercera fase, donde las caras T de los dientes finitos tienen por perfil un arco de circunferencia. El diseño de esta modalidad estándar puede hacer se de forma similar al de la básica. En la segunda fase, aunque el diseño resultante es idéntico, se añade en la modalidad estándar el cálculo de la curvatura de las caras T de los dientes infinitesimales (para su uso posterior en la tercera fase), que constituye un orden superior de precisión al empleado en la modalidad básica. Para realizar dicho cálculo se utiliza la siguiente ecuación que relaciona los radios de curvatura de una superficie y los de los frentes de onda incidente y refractado/reflejado:

$$\frac{n_i \cos^2 \theta_i}{\rho_i} + \frac{n_r \cos^2 \theta_r}{\rho_r} = \frac{n_i \cos \theta_i - n_r \cos \theta_r}{\rho_s} \quad (\text{Ec. 2})$$

25 donde los subíndices i, r y s se refieren a los frentes de onda incidente, refractado/reflejado y a la superficie, respectivamente, n denota índice de refracción,  $\theta$  ángulo del rayo respecto a la normal y  $\rho$  radio de curvatura. La ecuación (Ec. 2) se aplica a la reflexión haciendo  $\theta_r = \theta_i$  y  $n_r = -n_i$ .

30 Para calcular el radio de curvatura  $\rho_{sT}$  de la cara T de los dientes infinitesimales es necesario hallar previamente el radio de curvatura de  $S_3$  en los puntos  $F_1$  a  $F_M$  durante su cálculo en los pasos d) y e) de la segunda fase. Para ello se usa la expresión (Ec. 2) aplicada a la refracción en dichos puntos de los rayos provenientes de I. En este caso, para cada punto  $F_k$  y

denotando por  $\overline{AB}$  la longitud del segmento de extremos A y B, se tiene que  $\rho_i = \overline{IF_k}$ ,  $\rho_r = \infty$  en el paso d) y  $\rho_r = \overline{R'F_k}$  en el paso e).

En el paso f), en el que se calculan los puntos  $G_k$  apoyándose en los  $F_k$ , es donde se deben calcular los valores  $\rho_{sT}$  buscados. Se procede utilizando la expresión (Ec. 2) para las tres incidencias sucesivas que sufre el rayo que parte (en sentido inverso) desde R hacia  $F_k$ . Puesto que en el paso f) se calculan los puntos y las normales a las superficies, los ángulos de incidencia y de refracción/reflexión, como los índices de refracción, son parámetros conocidos en las tres incidencias. En la primera, en  $F_k$ , como el radio de curvatura  $\rho$ , ya es conocido y  $\rho_i = \overline{RF_k}$ , de (Ec. 2) se obtiene el radio de curvatura del frente de ondas refractado  $\rho_{r1}$ . Para la segunda 5 incidencias, que se da en la cara V del diente calculado en  $G_k$ , el radio de curvatura del frente de ondas incidente es  $\rho_i = \overline{G_k F_k} - \rho_{r1}$  y el radio de curvatura de la superficie es dato ( $\rho_{sv} = \infty$ ), por lo que de (Ec. 2) se obtiene el radio de curvatura del frente de ondas refractado  $\rho_{r2}$ . Finalmente, para la tercera incidencia, que ocurre en la cara T del diente, se conocen  $\rho_i = -\rho_{r2}$  y  $\rho_{r3} = \infty$ , por lo que se puede resolver (Ec. 2) con el radio de curvatura  $\rho_{sT}$  cómo incógnita, que era el valor 10 buscado.

Puesto que en el paso g) se calculan nuevos puntos  $F_j$ , inicialmente nombrados  $H_k$ , que se utilizarán de nuevo en el paso f) al repetirlo como indica h), es necesario también calcular el radio de curvatura de  $S_3$  en dichos puntos. Para ello se procede de forma análoga al cálculo de  $\rho_{sT}$  antes indicado, empleando la trayectoria del rayo con que se calcula  $H_k$ , que es el rayo  $e(+)$  20 incidente en  $G_k$ , y haciendo uso de que  $\rho_{sT}$  ya es conocido.

Respecto a la tercera fase de la modalidad estándar, que trata la generación de dientes de tamaño finito, la diferencia con la modalidad básica es que las caras T, en lugar de ser rectilíneas, se generan como arcos de circunferencia. El procedimiento de generación de los dientes es análogo al visto para la modalidad básica, con la única diferencia de que la cara T del diente 25 finito al que pertenece el punto  $G_i$  central de un diente finito es el arco de circunferencia que pasa por dicho punto, con la inclinación y radio de curvatura asociados al diente infinitesimal, y que se extiende simétricamente respecto al punto. Con esto concluye el diseño de la modalidad estándar.

Por último, la modalidad avanzada del diseño se caracteriza porque las caras T de los 30 dientes tienen un perfil esférico. El cálculo de estos perfiles se puede realizar a partir del diseño básico finalizado (con dientes finitos), siguiendo los siguientes pasos:

a) Trace en sentido inverso los haces uniparamétricos de rayos que parten de R y R', se refractan en  $S_3$  y en las caras V de los dientes finitos.

b) Para cada diente, cuyo punto central es  $G_i$ , calcule el perfil esférico de la cara T que pasa por  $G_i$  y cuyos puntos Q son tales que el rayo que incide verticalmente se refleja según la bisectriz de los rayos de los haces uniparamétricos que pasan por Q calculados en a). Este problema, que puede expresarse en forma de ecuación diferencial de primer orden, tiene solución  
5 única cuando por cada punto Q pasa un rayo y sólo uno de cada haz.

El diseño de la modalidad avanzada está concluido. La figura 11 muestra un ejemplo de un diseño avanzado. Como se mencionó anteriormente, los perfiles esféricos (54) de las caras permiten diseñarlos de mayor tamaño que en las modalidades básica y estándar, y aún así mantener un funcionamiento excelente, incluso cercano al límite termodinámico.

10 La descripción de los procedimientos de diseño de las tres modalidades (básica, estándar y avanzada) está concluido.

De igual modo, el diseño es esencialmente el mismo en caso de que los perfiles de las caras V no sean líneas verticales, sino que tengan un perfil rectilíneo inclinado, circular o esférico, que se haya prefijado. De hecho, un aspecto que no se ha considerado en las descripciones de los diseños es el hecho de que la fabricación de dientes con las caras V  
15 totalmente verticales puede no ser práctica (en el caso de fabricar la lente por inyección de un plástico, el desmoldeado de la pieza es difícil). Es posible mejorar este aspecto, por ejemplo, considerando en el diseño que las caras V están inclinadas un cierto ángulo (en el rango de  $0.5^\circ$  a  $1^\circ$  puede ser suficiente), lo que supone modificar convenientemente las expresiones (Ec. 1).  
20 Dicha inclinación es además útil para evitar los efectos indeseados que produce la redondez que aparece en la práctica en los vértices de los dientes. Como consecuencia negativa, la inclinación de la cara V hace que no sea paralela a una línea de flujo del haz incidente, por lo que la reflexión en dicha cara modificará (ligeramente) la geometría del haz. Esto significa que la característica de transmisión angular se degradará (esto es, será algo menos abrupta) respecto a la  
25 correspondiente a las caras V verticales. Por otro lado, la realización de los perfiles de las caras V como arcos de circunferencia o curvas esféricas prefijadas puede emplearse para facilitar aún más su fabricación (a costa de dificultar la fabricación del molde), disminuyendo, por ejemplo, la curvatura necesaria para los perfiles de las caras T.

Otro aspecto no considerado hasta ahora es el hecho de que la condición impuesta en el  
30 diseño de los dientes infinitesimales en concentración que obliga a que el rayo extremo e(-) que incide en el punto (34) se transforme en el rayo i(-) que pasa por el punto (40), puede relajarse (esto es, permitir que pase ligeramente por encima o por debajo de dicho punto) sin producir una degradación importante del funcionamiento.

Por todas estas consideraciones, puede afirmarse que es útil la posibilidad de que los perfiles de las caras V o T de los dientes tengan en cada punto una pendiente modificada en un ángulo inferior a 2 grados.

El dispositivo descrito para concentrar radiación sobre un receptor puede ser axisimétrico o cilíndrico, y se caracteriza por transformar los rayos extremos de un haz de rayos extenso de entrada en rayos extremos de otro haz de rayos extenso de salida que ilumina un receptor, estando ambos haces especificados en el plano de una sección transversal (que contiene al eje de simetría en el caso axisimétrico o es perpendicular a la dirección de simetría en el caso cilíndrico), mediante: (a) una lente  $L_1$  compuesta por un lado de una superficie refractiva esférica,  $S_1$ , sobre la que incide el haz de entrada y por el otro lado,  $S_2$ , de otra superficie refractiva esférica en su región central y de una estructura de pendiente discontinua en su región externa, cuya sección transversal está formada por dientes de dos caras esféricas tales que una de ellas, V, es paralela a las líneas de flujo del haz transmitido por  $S_1$ , la otra cara, T, refleja el haz por reflexión total interna hacia la cara V donde se refracta de forma que ningún rayo intercepte el diente contiguo y que el rayo extremo más próximo a hacerlo sea tangente a dicho diente; y (b) una segunda lente  $L_2$  que rodea al receptor compuesta por una superficie refractiva esférica sobre la que incide el haz transmitido por la lente  $L_1$ .

Por otro lado, el dispositivo empleado para colimar la radiación generada por un emisor puede ser axisimétrico o cilíndrico, y se caracteriza por transformar los rayos extremos de un haz de rayos extenso de entrada que genera un emisor en rayos extremos de otro haz de rayos extenso de salida, estando ambos haces especificados en el plano de una sección transversal, mediante: (a) una lente  $L_2$  que rodea al emisor compuesta por una superficie refractiva esférica sobre la que incide el haz de entrada; y (b) una segunda lente  $L_1$  compuesta por un lado de una superficie refractiva esférica,  $S_1$ , de la que parte el haz de salida y por el otro lado,  $S_2$ , de otra superficie refractiva esférica en su región central y de una estructura de pendiente discontinua en su región externa, cuya sección transversal está formada por dientes de dos caras esféricas tales que sobre una de ellas, V, se refracta el haz transmitido por  $S_2$  de forma que todos los rayos se reflejen por reflexión total interna en la otra cara, T, y que el rayo extremo más próximo a no ser reflejado sea tangente al perfil del diente, y que la cara V es paralela a las líneas de flujo del haz transmitido hacia  $S_1$ .

La US Pat. No. 5,577,493, 11/1996 describe un dispositivo axisimétrico cualitativamente similar y lo emplea para colimar la radiación generada por un emisor en que los haces de rayos son tales que el dispositivo proporciona irradiancia uniforme en tres dimensiones en la apertura de salida. Sin embargo, debido a las restricciones del método de diseño que emplea, sólo es adecuado cuando la extensión angular de los haces de rayos a su paso por todas las superficies ópticas es pequeño ( $< 10^\circ$ ). Además, las condiciones para el diseño de los dientes infinitesimales

empleadas (Ecuaciones 1.a, 1.b y 1.c), con las que se garantiza que funcionan de forma óptima, no se utilizan en dicha patente, lo que da lugar a que las superficies ópticas que se obtienen allí son sustancialmente distintas, y su comportamiento óptico notablemente inferior.

Los procedimientos descritos para las tres modalidades de diseño son igualmente aplicables a la situación que se muestra en la figura 5 en que la lente  $L_2$  consta de dos materiales dieléctricos diferentes separados por una superficie refractiva esférica o esférica (43), de perfil prefijado, sin más que considerar la refracción de los rayos extremos en dicha superficie durante el proceso.

Una variante de la configuración hasta ahora descrita consiste en substituir la superficie refractiva  $S_1$  por una estructura de pendiente discontinua (44) de Fresnel, como muestra por ejemplo la figura 6 para el caso de  $S_1$  plano y horizontal. Así se consigue que el material dieléctrico empleado sea menor, lo que reduce su peso y absorción. Ambas superficies, discontinua y continua, funcionan de forma análoga. De hecho, los perfiles de las restantes superficies ópticas son idénticos en los dos diseños. La única diferencia respecto a las trayectorias de los rayos es que estos pueden ahora incidir sobre la cara vertical de los escalones, cara que coincide con las líneas de flujo del haz incidente. Esto implica, de nuevo, que si dichas caras fueran espejos la reflexión de los rayos en ellas no modificaría la geometría del haz transmitido. Aunque cuando la incidencia se produce desde la cara interior del material dieléctrico dicha interfaz se comporta efectivamente como un espejo debido al fenómeno de reflexión total interna, esto no es así en el caso de incidencia desde el aire, lo que supone unas ciertas pérdidas. No obstante, para ángulos de aceptación  $\alpha$  pequeños ( $<5^\circ$ ) estas pérdidas son despreciables por la combinación de dos efectos: la reflectividad de dicha interfaz, si bien no es del 100%, es muy alta para ángulos de incidencia grandes (y en el caso que nos ocupa serán superiores a  $90^\circ - \alpha$ ), y la fracción de rayos que inciden sobre las caras verticales desde el aire es además pequeña si la aceptación es moderada.

La realización de la superficie  $S_1$  como estructura de pendiente discontinua puede además aprovecharse con otro fin, como muestra la figura 7. En este caso la superficie plana de la figura 2 se ha substituido por una estructura de pendiente discontinua con perfil en diente de sierra (45) que desvía el haz de entrada para modificar la dirección de las líneas de flujo (46). La lente se adhiere a una lámina dieléctrica mediante un adhesivo con un índice de refracción ligeramente diferente del de la lente. Esta estructura refracta los rayos del haz incidente de forma que progresen hacia  $S_2$  con una ligera inclinación divergente. Esto conlleva que la cara V de los dientes de la región exterior de  $S_2$ , si se ha diseñado con una inclinación no nula para facilitar su fabricación, producirá una degradación del comportamiento óptico menor al estar más próxima (o incluso coincidir) con la línea de flujo del haz divergente. Como la cara vertical de  $S_1$

introduce a su vez una degradación (por bloqueo de la trayectoria de los rayos), para cada inclinación de las caras  $V$  existe un ángulo óptimo de divergencia del haz, para el que la degradación es mínima.

Otra posibilidad (que puede también combinarse con cualquiera de las anteriores) consiste en realizar la región central de  $S_2$  como estructura de pendiente discontinua (47) de Fresnel, según muestra la figura 8.

Otra posible configuración consiste en realizar la lente intercambiando las superficies  $S_1$  y  $S_2$ , de forma que los dientes estén invertidos (48), como aparece en la figura 9. En el caso de simetría de revolución, para su fabricación por moldeo, es necesario que bien el molde, bien la lente sean flexibles, con el fin de poder extraer la lente del molde. En el caso de simetría de traslación, no sería necesario al poder fabricarse por extrusión. El procedimiento de diseño de las superficies ópticas es común para todas las configuraciones indicadas.

En la invención propuesta, empleada para concentrar la radiación sobre un receptor, éste podría ser optoelectrónico, como un fotodiodo, un fototransistor o una célula solar. Por otro lado, si se emplea para colimar la radiación producida por un emisor, también éste podría ser optoelectrónico, como un LED, un IRED o un láser.

La fabricación del concentrador objeto de esta invención se puede realizar mediante torneado con herramienta de punta de diamante con control numérico (CNC) sobre un material plástico, como por ejemplo polimetil metacrilato (PMMA). Otra posibilidad que conviene mencionar es la de inyección del PMMA en un molde adecuado, que permite una realización que también es objeto de esta patente y que muestra la figura 10: el dispositivo puede fabricarse con una porción ópticamente no activa (49) que une las dos lentes y de forma que constituyen una sola pieza que incluye un espacio interior (53). La unión puede realizarse por contacto antes de la solidificación de la última pieza inyectada o mediante pegado posterior. Al ser una sola pieza, el espacio intermedio entre las lentes está protegido del polvo y la humedad. Este espacio puede rellenarse, si se desea, de un gas inerte o hacerse en él vacío. La adhesión del receptor o el emisor al secundario puede realizarse mediante colada de una resina epoxi transparente.

Las mejoras y diferencias que introduce esta invención respecto al estado del arte mencionado se pueden resumir en:

(a) Las superficies y las caras de los dientes diseñadas son tales que el dispositivo acopla en dos dimensiones los rayos extremos de dos haces de rayos extensos, mientras que los de las invenciones mencionadas acoplan sólo el rayo central de los haces o su entorno hasta primer orden.

(b) En el caso del dispositivo axisimétrico y para colimación de un emisor, los haces de rayos de diseño incluyen como caso particular aquel que produce irradiancia uniforme en la



apertura de salida, caso que contempla la US Pat. No. 5,577,493, 11/1996, pero en dicha patente el diseño que se describe sólo es adecuado cuando la extensión angular de los haces de rayos a su paso por todas las superficies ópticas es pequeño ( $< 10^\circ$ ).

- 5 (c) Las condiciones para el diseño de los dientes infinitesimales empleadas (dadas por las ecuaciones 1.a, 1.b y 1.c, que proporcionan que las caras de los dientes son tales que una guía el haz como línea de flujo, producen la máxima uniformidad de irradiancia a la salida del diente, y evitan la incidencia indeseada en el diente contiguo) no se utilizan en el estado del arte anterior, lo que da lugar a que las superficies ópticas que se obtienen son sustancialmente distintas, y también su comportamiento óptico resultante.
- 10 (d) Su uso como concentrador sobre un receptor.  
(e) La simetría cilíndrica, en su caso.  
(f) Su posible fabricación en una sola pieza con un espacio interior.  
(g) La agrupación de un conjunto de dispositivos adheridos a una placa dieléctrica.

Las diferencias (a) y (c) confieren a esta invención un comportamiento óptico notablemente superior al de las invenciones anteriores, especialmente cuando la extensión angular de los haces de rayos a su paso por alguna de las superficies ópticas es grande ( $>10^\circ$ ).

15

#### Breve descripción de los dibujos

20 Figura 1: Haces de rayos extensos de uso habitual. A la izquierda, el haz de tipo 1, compuesto por los rayos que inciden sobre un segmento (1) de extremos (6) y (7) formando un ángulo inferior al ángulo de aceptación del haz (2) con la perpendicular a dicho segmento.

En el centro, el haz de tipo 2, compuesto por los rayos que interceptan dos segmentos dados (3). Los rayos extremos de este haz son los que pasan por alguno de los puntos extremos de dichos segmentos (8, 9, 10 y 11).

25

A la derecha, una haz de tipo 3 compuesto por los rayos que interceptan un rectángulo (4) y una semicircunferencia (5) de extremos (12) y (13).

Figura 2: Principio básico de funcionamiento de la invención como concentrador de radiación sobre un receptor (14). Consta de una lente (50) que rodea al receptor compuesta por una superficie refractiva esférica (21); y de otra lente (15) cuyo lado superior es una superficie refractiva esférica (16) y cuyo lado inferior consta de otra superficie refractiva esférica (17) en su región central (entre los puntos 18 y 19) y de una estructura de pendiente discontinua (20) en su región externa, cuyas caras (22) fundamentalmente refractan los rayos y las caras (23) los reflejan por reflexión total interna.

30

Figura 3: Sistema de coordenadas cartesiano (31) y parámetros geométricos iniciales para la realización del diseño escogido para concentrar radiación sobre un receptor. El haz de la entrada está definido por la aceptación (24) y por la apertura de entrada definida por los bordes (25) y (26) de la superficie  $S_2$ . El haz de la salida está definido por el segmento de extremos (27) y (51), que es el receptor, que se ilumina de la superficie  $S_3$ , cuyos extremos son (29) y (30), con un ángulo de iluminación limitado al ángulo de aceptación (28).

Figura 4: Dientes de la superficie  $S_2$  diseñado en la primera fase para el dispositivo actuando (a) como concentrador o (b) como colimador. Como tienen un tamaño infinitesimal (ampliado en la figura), los dientes contiguos son idénticos y los haces de rayos extremos son paralelos. Se desea que la luz incidente a través del segmento (33), de extremos (34) y (35), con inclinación entre la de los rayos (36) y (37), se transmita de forma óptima a través del segmento (38), de extremos (39) y (40), con inclinación entre la de los rayos (41) y (42), los cuales forman con la horizontal ángulos (54) y (55), respectivamente. La geometría del diente respecto a su vector tangente macroscópico (32) queda definida por los ángulos (56) y (57).

Figura 5: La lente  $L_2$  puede realizarse con dos materiales dieléctricos diferentes separados por una superficie esférica o esférica (43).

Figura 6: La superficie  $S_1$  puede substituirse por una estructura de pendiente discontinua (44) de Fresnel, con lo que se disminuye peso y absorción.

Figura 7: La realización de  $S_1$  como estructura de pendiente discontinua (45) con perfil en diente de sierra permite minimizar las pérdidas de transmisión cuando las caras  $V$  no coinciden con líneas de flujo (46) del haz transmitido por la superficie  $S_1$  continua.

Figura 8: La porción central de  $S_2$  puede substituirse por una estructura de pendiente discontinua (47) de Fresnel.

Figura 9: Configuración que consiste en realizar la lente intercambiando las superficies  $S_1$  y  $S_2$ , de forma que los dientes estén invertidos (48).

Figura 10: El dispositivo puede fabricarse con una porción ópticamente no activa (49) que une las dos lentes y de forma que constituyen una sola pieza que incluye un espacio interior (53).

Figura 11: El dispositivo puede diseñarse con caras esféricas (54) en la modalidad avanzada, lo que permite diseñarlos de mayor tamaño y aún así mantener un funcionamiento excelente.

### Aplicación industrial

La invención presentada tiene aplicación directa en diversos campos, como el de los sensores de radiación, sistemas de iluminación con diodos LED, comunicaciones ópticas sin hilos o energía solar fotovoltaica.

5 En el campo de los sensores, la invención propuesta permite alcanzar altas sensibilidades, próximas al límite termodinámico, sin menoscabo de la simplicidad y compacidad del dispositivo. Por otro lado, en el campo de iluminación con LED esta invención proporciona un haz óptimamente colimado con una geometría fácilmente compatible con las técnicas de fabricación actuales.

10 En comunicaciones ópticas sin hilos, el control de la respuesta angular de los dispositivos emisores y receptores y el uso de casi todas las direcciones posibles de emisión/recepción en el diseño, permite la realización de enlaces cuya relación señal-ruido sea cercana al máximo posible. Empleada en recepción, la invención propuesta utilizaría un sensor optoelectrónico como receptor (ej. un fotodiodo o un fototransistor). Por otro lado, en transmisión la invención emplearía un emisor optoelectrónico (LED, IRED o láser).

15 Por último, en aplicaciones fotovoltaicas esta invención constituye un dispositivo adecuado para células solares de alta concentración. Su comportamiento próximo al límite teórico supone que para un factor de concentración dado, la aceptación angular del dispositivo sea próxima al máximo posible, lo que es útil para permitir tolerancias altas en la fabricación del propio dispositivo y en el alineamiento de varios para formar un módulo (que puede realizarse de  
20 forma simple adhiriéndolos a un vidrio plano), una estructura soporte de módulos ligera y una precisión de seguimiento del sol baja.

**Reivindicaciones:**

1. Dispositivo para concentración de energía radiante caracterizado por ser axisimétrico o cilíndrico y transformar los rayos extremos de un haz de rayos extenso de entrada en rayos extremos de otro haz de rayos extenso de salida que ilumina un receptor, estando ambos haces especificados en el plano de una sección transversal, mediante:
  - 5 a) Una lente  $L_1$  compuesta por un lado de una superficie refractiva esférica,  $S_1$ , sobre la que incide el haz de entrada y por el otro lado,  $S_2$ , de otra superficie refractiva esférica en su región central y de una estructura de pendiente discontinua en su región externa, cuya sección transversal está formada por dientes de dos caras  
10 asféricas tales que una de ellas,  $V$ , es paralela a las líneas de flujo del haz transmitido por  $S_1$ , la otra cara,  $T$ , refleja el haz por reflexión total interna hacia la cara  $V$  donde se refracta de forma que ningún rayo intercepte el diente contiguo y que el rayo extremo más próximo a hacerlo sea tangente a dicho diente.
  - 15 b) Una segunda lente  $L_2$  que rodea al receptor compuesta por una superficie refractiva esférica sobre la que incide el haz transmitido por la lente  $L_1$ .
2. Dispositivo para concentración de energía radiante según reivindicación 1 caracterizado porque utiliza un receptor optoelectrónico.
3. Dispositivo para concentración de energía radiante según reivindicaciones 1 y 2  
20 caracterizado porque el receptor optoelectrónico es un fotodiodo, un fototransistor o una célula fotovoltaica.
4. Dispositivo para colimación de energía radiante caracterizado por ser axisimétrico o cilíndrico y transformar los rayos extremos de un haz de rayos extenso de entrada que genera un emisor en rayos extremos de otro haz de rayos extenso de salida, estando ambos haces especificados en el plano de una sección transversal, mediante:
  - 25 a) Una lente  $L_2$  que rodea al emisor compuesta por una superficie refractiva esférica sobre la que incide el haz de entrada.
  - b) Una segunda lente  $L_1$  compuesta por un lado de una superficie refractiva esférica,  $S_1$ , de la que parte el haz de salida y por el otro lado,  $S_2$ , de otra superficie refractiva  
30 esférica en su región central y de una estructura de pendiente discontinua en su región externa, cuya sección transversal está formada por dientes de dos caras asféricas tales que sobre una de ellas,  $V$ , se refracta el haz transmitido por  $S_2$  de forma que todos los rayos se reflejen por reflexión total interna en la otra cara,  $T$ , y que el rayo extremo más próximo a no ser reflejado sea tangente al perfil del diente, y que la cara  $V$  es paralela a las líneas de flujo del haz transmitido hacia  $S_1$ .
- 35 5. Dispositivo para colimación de energía radiante caracterizado por ser axisimétrico o cilíndrico y transformar los rayos extremos de un haz de rayos extenso de entrada que genera

- un emisor en rayos extremos de otro haz de rayos extenso de salida, estando ambos haces especificados en el plano de una sección transversal, excluyendo el caso axisimétrico en que los haces de rayos son tales que el dispositivo proporciona irradiancia uniforme en tres dimensiones en la apertura de salida cuando la extensión angular de los haces de rayos a su paso por todas las superficies ópticas es menor que  $10^\circ$ , mediante:
- 5 a) Una lente  $L_2$  que rodea al emisor compuesta por una superficie refractiva esférica sobre la que incide el haz de entrada.
  - b) Una segunda lente  $L_1$ , compuesta por un lado de una superficie refractiva esférica,  $S_1$ , de la que parte el haz de salida y por el otro lado,  $S_2$ , de otra superficie refractiva  
10 esférica en su región central y de una estructura de pendiente discontinua en su región externa, cuya sección transversal está formada por dientes de dos caras esféricas tales que sobre una de ellas,  $V$ , se refracta el haz transmitido por  $S_2$  de forma que todos los rayos se reflejen por reflexión total interna en la otra cara,  $T$ , y que el rayo extremo más próximo a no ser reflejado sea tangente al perfil del diente,  
15 y que la cara  $V$  es paralela a las líneas de flujo del haz transmitido hacia  $S_1$ .
6. Dispositivo para colimación de energía radiante caracterizado por ser axisimétrico o cilíndrico y transformar los rayos extremos de un haz de rayos extenso de entrada que genera un emisor en rayos extremos de otro haz de rayos extenso de salida, estando ambos haces especificados en el plano de una sección transversal, excluyendo el caso axisimétrico en que  
20 los haces de rayos son tales que el dispositivo proporciona irradiancia uniforme en tres dimensiones en la apertura de salida, mediante:
- a) Una lente  $L_2$  que rodea al emisor compuesta por una superficie refractiva esférica sobre la que incide el haz de entrada.
  - b) Una segunda lente  $L_1$ , compuesta por un lado de una superficie refractiva esférica,  $S_1$ ,  
25 de la que parte el haz de salida y por el otro lado,  $S_2$ , de otra superficie refractiva esférica en su región central y de una estructura de pendiente discontinua en su región externa, cuya sección transversal está formada por dientes de dos caras esféricas tales que sobre una de ellas,  $V$ , se refracta el haz transmitido por  $S_2$  de forma que todos los rayos se reflejen por reflexión total interna en la otra cara,  $T$ , y  
30 que el rayo extremo más próximo a no ser reflejado sea tangente al perfil del diente, y que la cara  $V$  es paralela a las líneas de flujo del haz transmitido hacia  $S_1$ .
7. Dispositivo para colimación de energía radiante según reivindicaciones 4 a 6 caracterizado porque utiliza un emisor optoelectrónico.
8. Dispositivo para colimación de energía radiante según reivindicaciones 4 a 7 caracterizado  
35 porque el emisor optoelectrónico es un LED, un IRED o un láser.

9. Dispositivo para concentración o colimación de energía radiante según reivindicaciones 1 a 8 caracterizado porque los perfiles de las caras de los dientes tienen en cada punto una pendiente modificada en un ángulo inferior a 2 grados.
10. Dispositivo para concentración o colimación de energía radiante según reivindicaciones 1 a 9  
5 caracterizado porque el perfil de  $S_1$  es circular o plano.
11. Dispositivo para concentración o colimación de energía radiante según reivindicaciones 1 a 10 caracterizado porque las superficies  $S_1$  y  $S_2$  de la lente están intercambiadas, de forma que los dientes aparecen invertidos.
12. Dispositivo para concentración o colimación de energía radiante según reivindicaciones 1 a  
10 11 caracterizado porque  $S_1$  tiene el perfil en diente de sierra que desvía el haz de entrada para modificar la dirección de las líneas de flujo.
13. Dispositivo para concentración o colimación de energía radiante según reivindicaciones 1 a 12 caracterizado porque  $S_1$  o la superficie refractiva de la porción central de  $S_2$ , o ambas, son estructuras de pendiente discontinua de Fresnel.
- 15 14. Dispositivo para concentración o colimación de energía radiante según reivindicaciones 1 a 13 caracterizado porque la lente  $L_2$  consta de dos materiales dieléctricos diferentes separados por una superficie esférica o asférica.
15. Dispositivo para concentración o colimación de energía radiante según reivindicaciones 1 a  
20 14 caracterizado porque la sección transversal de los dientes de  $S_2$  tienen caras de perfil circular o rectilíneo.
16. Dispositivo para concentración o colimación de energía radiante según reivindicaciones 1 a 15 caracterizado por fabricarse con una porción ópticamente no activa que une las dos lentes de forma que constituyen una sola pieza que incluye un espacio interior.
17. Dispositivo para concentración o colimación de energía radiante caracterizado por estar  
25 compuesto por un conjunto de dispositivos según reivindicación 1 a 16 adheridos a una placa dieléctrica.

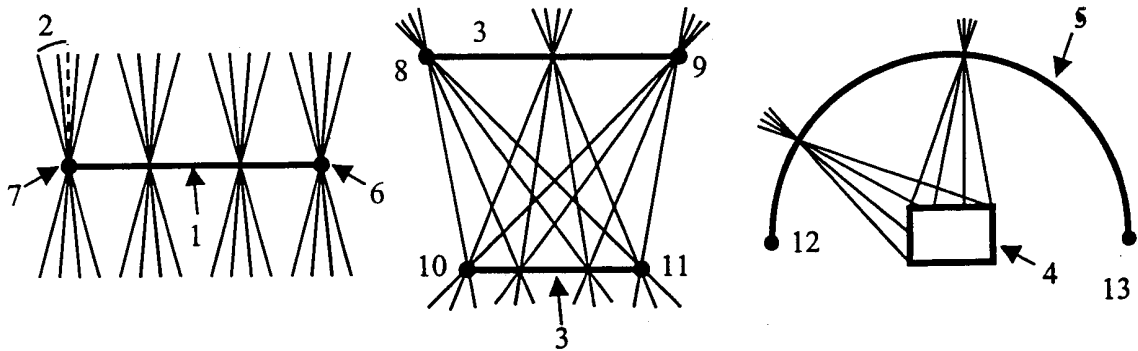


Fig. 1

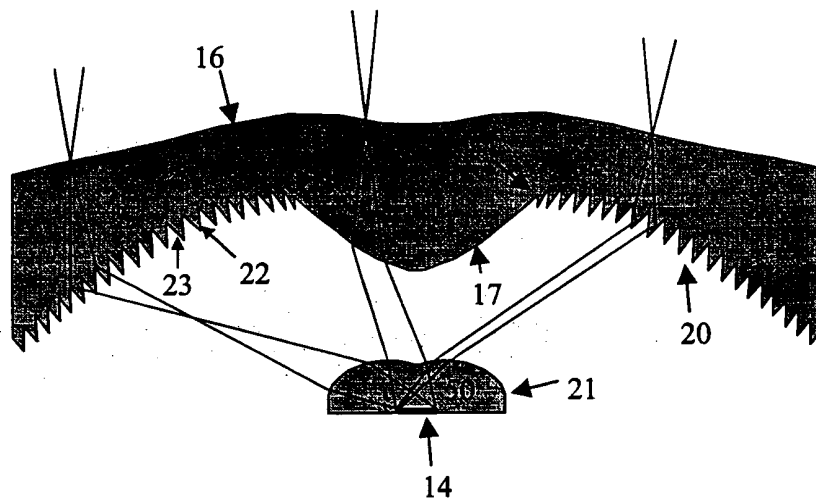


Fig. 2

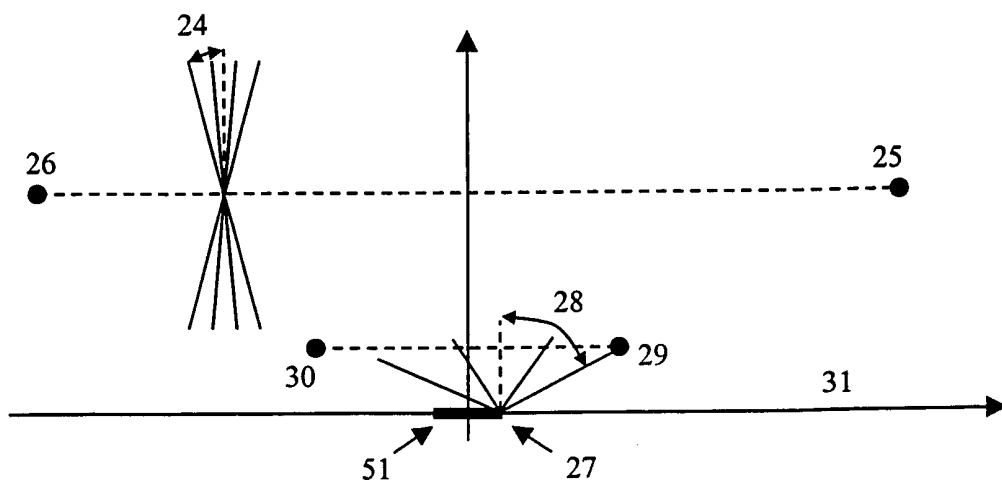


Fig. 3

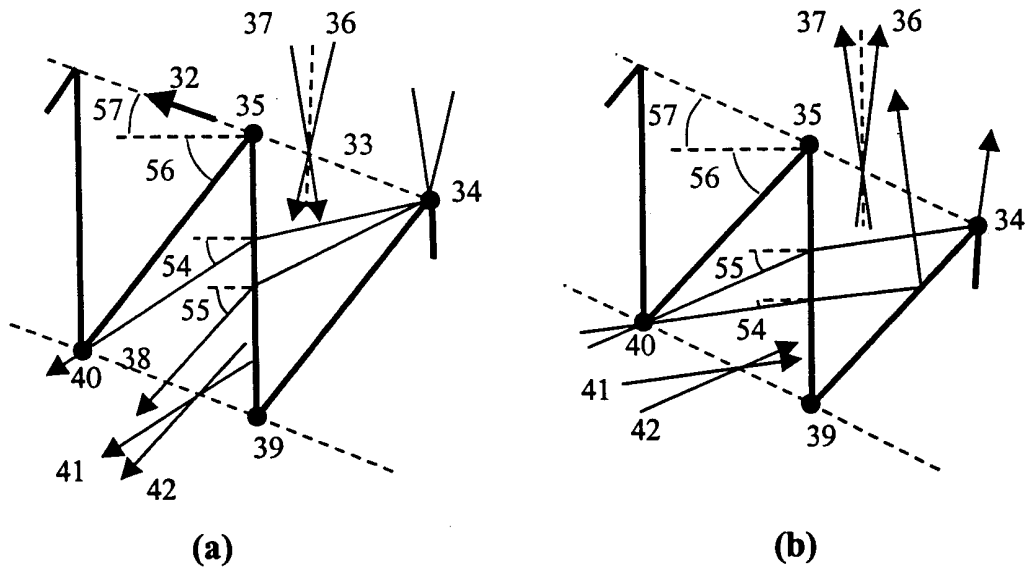


Fig. 4

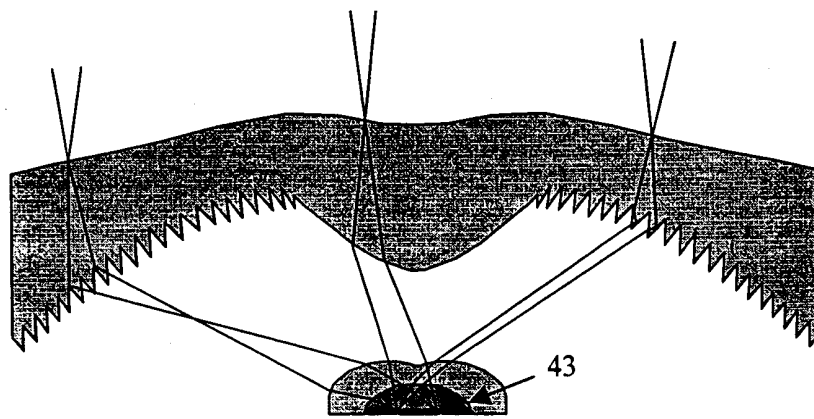


Fig. 5

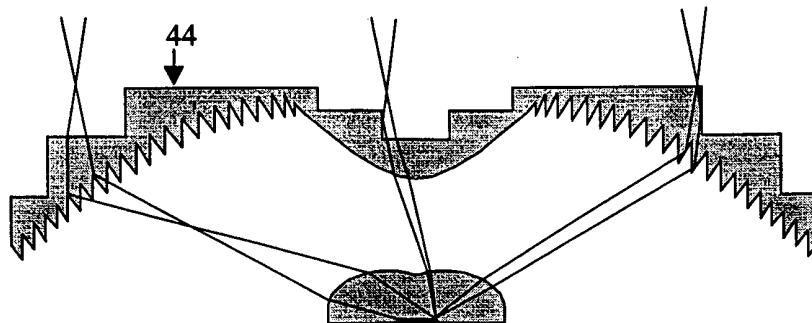


Fig. 6



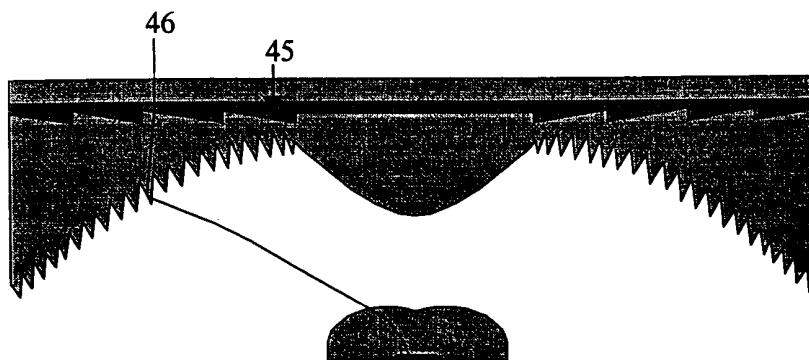


Fig. 7

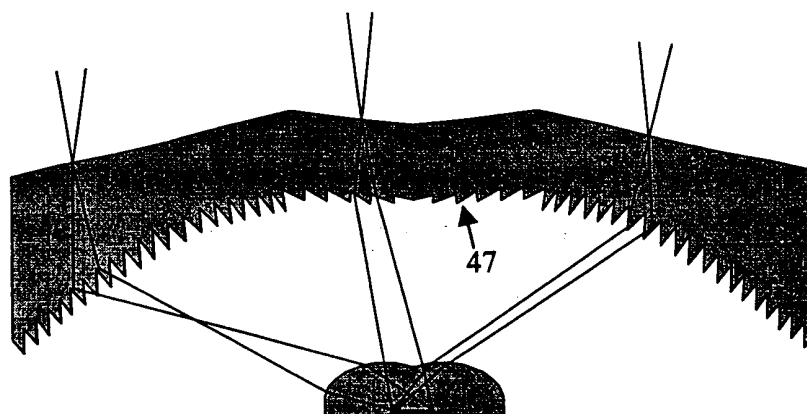


Fig. 8

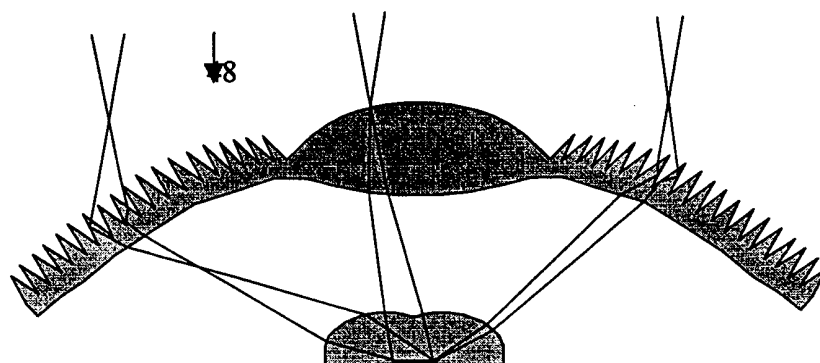


Fig. 9

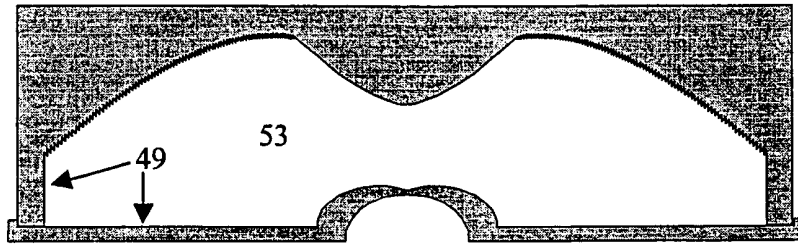


Fig. 10

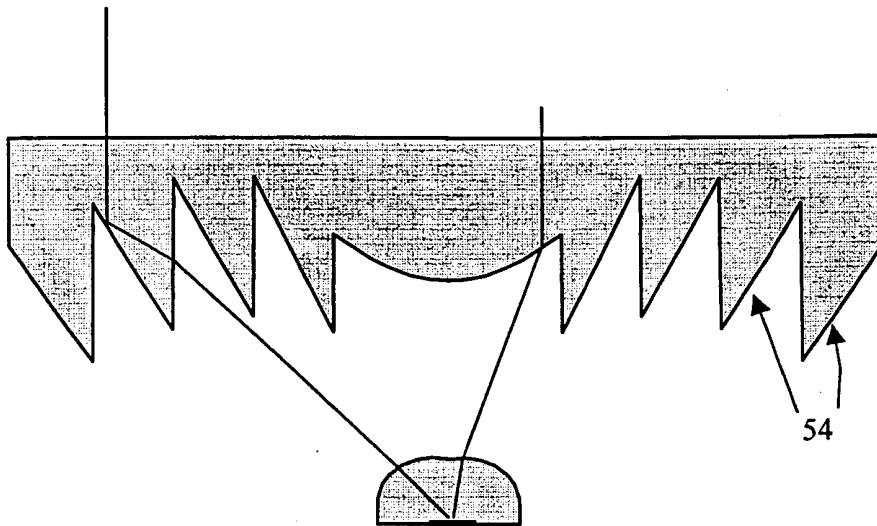


Fig. 11

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/ES 00/00459

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC7 G 02 B 3 / 08, F 24 J 2 / 06

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC7 G 02 B, F 24 J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)  
MISTRAL, EPODOC, PAJ, WPIL

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 9.321.484 A (TIR TECHNOLOGIES) 28 October 1993 (28.10.93), page 13, lin. 16-page 21, lin. 1; figs. 5-25	1,4,7,8,10-13,15,16
A	US 5.577.492 A (PARKYN,Jr. et al.) 26 November 1996 (26.11.96), column 6, lin. 6- column 11, lin. 48; clumn 13, lin.51- column 16, lin. 8; figs.1-10, 15-24	1-8,10-13,15
A	US 5.676.453 A (PARKYN,Jr. et al.) 14 October 1997 (14.10.97), column 4, lin. 10- column 9, lin. 12; column 11, lin. 46- column 13, lin. 7, column 15, lin. 33- column 16, lin. 36, figs. 1-25	1-8,10-13,15
A	US 5.577.493 A (PARKYN,Jr. et al.) 26 November 1996 (26.11.96), column 3, lin. 61- column 7, lin.25; figs. 1-15	4,5,8,10,14,15
A	US 4.337.759 A (POPOVICH et al.) 06 July 1982 (06.07.82), column 8, lin. 4- column 9, lin. 35; figs. 6-15	1,3,4,11,13

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier document but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search <b>18 January 2001 (18.01.01)</b>	Date of mailing of the international search report <b>29 January 2001 (29.01.01)</b>
--	---

Name and mailing address of the ISA  S.P.T.O.	Authorized officer  Telephone No.
---	---

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

**PCT/ES 00/00459**

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO9321484	1993-10-28 1	AU4106793	1993-11-18
		EP0636232	1995-02-01
		EP19930910648	
		US5404869	1995-04-11
		JP8500449T	1996-01-16
		US5577492	1996-11-26
		US5577493	1996-11-26
		US5613769	1997-03-25
		US5655832	1997-08-12
		US5676453	1997-10-14
		DE69316743D	1998-03-05
		DE69316743T	1998-07-09
		US5806955	1998-09-15
-----			
US5577492	1996-11-26	WO9321484	1993-10-28
		AU4106793	1993-11-18
		EP0636232 AB	1995-02-01
		EP19930910648	
		US5404869	1995-04-11
		JP8500449T	1996-01-16
		WO9631742	1996-10-10
		AU5530296	1996-10-23
		US5577493	1996-11-26
		US5613769	1997-03-25
		US5655832	1997-08-12
		US5676453	1997-10-14
		DE69316743D	1998-03-05
		CN1181131	1998-05-06
		EP0840875	1998-05-13
		EP19960912505	
DE69316743T	1998-07-09		
US5806955	1998-09-15		
JP11504124T	1999-04-06		
-----			
US5676453	1997-10-14	WO9321484	1993-10-28
		AU4106793	1993-11-18
		EP0636232	1995-02-01
		EP19930910648	
		US5404869	1995-04-11
		JP8500449T	1996-01-16
		WO9631742	1996-10-10
		AU5530296	1996-10-23
		US5577492	1996-11-26
		US5577493	1996-11-26
		US5613769	1997-03-25
		US5655832	1997-08-12

		DE69316743D	1998-03-05
		CN1181131	1998-05-06
		EP0840875	1998-05-13
		EP19960912505	
		DE69316743T	1998-07-09
		US5806955	1998-09-15
		JP11504124T	1999-04-06
US5577493	1996-11-26	WO9321484	1993-10-28
		AU4106793	1993-11-18
		EP0636232	1995-02-01
		EP19930910648	
		US5404869	1995-04-11
		JP8500449T	1996-01-16
		US5577492	1996-11-26
		US5613769	1997-03-25
		US5655832	1997-08-12
		US5676453	1997-10-14
		DE69316743D	1998-03-05
		DE69316743T	1998-07-09
		US5806955	1998-09-15
US4337759	1982-07-06	NONE	

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº  
PCT / ES 00 / 00459

## A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

CIP<sup>7</sup> G 02 B 3 / 08, F 24 J 2 / 06

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y la CIP.

## B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima consultada (sistema de clasificación, seguido de los símbolos de clasificación)

CIP<sup>7</sup> G 02 B, F 24 J

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

MISTRAL, EPODOC, PAJ, WPIL

## C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	WO 9.321.484 A ( TIR TECHNOLOGIES ) 28 Octubre 1993 (28. 10. 93), Página 13, lin.16 - pág. 21, lin. 1; figs. 5 - 25	1,4,7,8,10-13,15,16
A	US 5.577.492 A ( PARKYN,Jr. et al.) 26 Noviembre 1996 (26. 11. 96), Columna 6, lin. 6 - colum. 11, lin. 48; colum.13, lin.51 - colum. 16, lin. 8; figs. 1-10, 15-24	1-8,10-13,15
A	US 5.676.453 A ( PARKYN,Jr. et al.) 14 Octubre 1997 ( 14. 10. 97), Columna 4, lin. 10 - colum. 9,lin. 12; colum. 11, lin. 46 - colum. 13, lin. 7; colum. 15, lin. 33 - colum. 16, lin. 36, figs. 1-25	1-8,10-13,15
A	US 5.577.493 A ( PARKYN, Jr. et al.) 26 Noviembre 1996 ( 26. 11. 96) , Columna 3, lin. 61 - colum. 7, lin. 25; figs. 1-15	4,5,8,10,14,15
A	US 4.337.759 A ( POPOVICH et al.) 6 Julio 1982 ( 06. 07. 82), Columna 8, lin. 4 - colum. 9, lin. 35; figs. 6-15	1,3,4,11,13

En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos

Los documentos de familia de patentes se indican en el anexo

\* Categorías especiales de documentos citados:

"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.

"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.

"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).

"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.

"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.

"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.

"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.

"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.

"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional. 18 Enero 2001 (18. 01. 01)

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional

29 ENE 2001 29. 01. 01

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional O.E.P.M.

Funcionario autorizado  
NAVARRO FARELL, A.

C/Panamá 1, 28071 Madrid, España.  
nº de fax +34 91 3495304

nº de teléfono + 34 91 349 53 94

**INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL**  
 Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional nº

PCT/ ES 00 / 00459

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de publicación
WO9321484	1993-10-28 1	AU4106793	1993-11-18
		EP0636232	1995-02-01
		EP19930910648	
		US5404869	1995-04-11
		JP8500449T	1996-01-16
		US5577492	1996-11-26
		US5577493	1996-11-26
		US5613769	1997-03-25
		US5655832	1997-08-12
		US5676453	1997-10-14
		DE69316743D	1998-03-05
		DE69316743T	1998-07-09
		US5806955	1998-09-15
US5577492	1996-11-26	WO9321484	1993-10-28
		AU4106793	1993-11-18
		EP0636232 AB	1995-02-01
		EP19930910648	
		US5404869	1995-04-11
		JP8500449T	1996-01-16
		WO9631742	1996-10-10
		AU5530296	1996-10-23
		US5577493	1996-11-26
		US5613769	1997-03-25
		US5655832	1997-08-12
		US5676453	1997-10-14
		DE69316743D	1998-03-05
		CN1181131	1998-05-06
		EP0840875	1998-05-13
		EP19960912505	
		DE69316743T	1998-07-09
US5806955	1998-09-15		
JP11504124T	1999-04-06		
US5676453	1997-10-14	WO9321484	1993-10-28
		AU4106793	1993-11-18
		EP0636232	1995-02-01
		EP19930910648	
		US5404869	1995-04-11
		JP8500449T	1996-01-16
		WO9631742	1996-10-10
		AU5530296	1996-10-23
		US5577492	1996-11-26
		US5577493	1996-11-26
		US5613769	1997-03-25
		US5655832	1997-08-12

		DE69316743D	1998-03-05
		CN1181131	1998-05-06
		EP0840875	1998-05-13
		EP19960912505	
		DE69316743T	1998-07-09
		US5806955	1998-09-15
		JP11504124T	1999-04-06
<hr/>			
US5577493	1996-11-26	WO9321484	1993-10-28
		AU4106793	1993-11-18
		EP0636232	1995-02-01
		EP19930910648	
		US5404869	1995-04-11
		JP8500449T	1996-01-16
		US5577492	1996-11-26
		US5613769	1997-03-25
		US5655832	1997-08-12
		US5676453	1997-10-14
		DE69316743D	1998-03-05
		DE69316743T	1998-07-09
		US5806955	1998-09-15
<hr/>			
US4337759	1982-07-06	NINGUNA	