

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 613**

51 Int. Cl.:

H01L 31/052

(2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.04.2014** **PCT/EP2014/000895**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.10.2014** **WO14166609**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.04.2014** **E 14738373 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.02.2017** **EP 2984683**

54 Título: **Concentrador solar para sistemas fotovoltaicos**

30 Prioridad:

10.04.2013 IT MI20130567

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

17.07.2017

73 Titular/es:

**RICERCA SUL SISTEMA ENERGETICO - RSE
S.P.A. (100.0%)
Via R. Rubattino,54
20134 Milano, IT**

72 Inventor/es:

TRESPIDI, FRANCO

74 Agente/Representante:

RUO , Alessandro

ES 2 624 613 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

Concentrador solar para sistemas fotovoltaicos.

[0001] La invención se refiere a un concentrador solar de reflexión para sistemas ópticos fotovoltaicos que trabajan bajo un factor de alta concentración, en particular, un concentrador hecho por un sistema óptico primario que puede conseguirse con un paraboloide fuera del eje u otra superficie equivalente con el fin de reflejar los rayos solares, tal como una porción de una superficie esférica o elíptica u otras superficies curvadas adaptadas para enfocar la radiación (superficies que se denominarán convencionalmente "paraboloide/s" a continuación), y por un elemento óptico secundario que actúa principalmente como un homogeneizador y también como un concentrador de los rayos solares en una célula de recogida.

Técnica anterior

[0002] Las técnicas de concentración solar de reflexión que funcionan bajo un factor de alta concentración usan en su mayor parte sistemas simétricos con respecto a un eje central (tipo Cassegrain). La ventaja de estos sistemas es que son equipos muy compactos, mientras que la desventaja es que tienen un oscurecimiento central causado por la óptica secundaria o por la célula de recogida, lo que afecta a la eficacia de la recogida.

[0003] Otros sistemas que usan concentradores parabólicos fuera del eje montan la célula en la posición superior o en su media altura. Estas disposiciones no ayudan a la disipación de calor que, en estos casos, puede realizarse en el lado superior, el lado iluminado por el sol, o en la pared lateral que, en un sistema completo, normalmente no está directamente expuesta al exterior, reduciendo de este modo la eficiencia del calor. Los documentos US2009/114213A y US 4 114 592A describen concentradores solares.

[0004] Para un sistema que utiliza el mismo sistema óptico primario que comprende un paraboloide fuera del eje, el uso de cualquier homogeneizador convencional con forma de pirámide truncada o de cono truncado no permite obtener los máximos rendimientos en cuanto a aceptación angular. La aceptación angular se refiere, en este campo técnico, al ángulo de desalineación máximo aceptable entre la fuente, el sol y el sistema óptico de recogida y concentración. Como desalineación angular máxima aceptable se define normalmente aquella en la que la eficiencia de la recogida de radiación es mayor que una fracción del valor máximo, fracción que, por ejemplo, puede ser del 90 %.

[0005] En particular, en este campo se conocen los documentos U.S. 7.607.429 B2, U.S. 5.180.441 y U.S. 2010/0275972 A1. El primer documento muestra un colector que concentra la radiación en una dirección y utiliza una pluralidad de espejos como elementos primarios ópticos que envían las radiaciones a un elemento secundario óptico también del tipo de reflexión, pero de tipo simétrico. El segundo documento desvela un panel de concentrador solar que implica una serie de espejos parabólicos cilíndricos fuera del eje con una disposición óptica de células solares de longitud focal relativamente reducida y dispuestos para convertir la luz solar en electricidad, utilizándose las superficies traseras de los espejos como soporte para las células solares y como superficies disipadoras de calor para las células montadas sobre ellas; la luz solar reflejada puede dirigirse a las células solares montadas en la parte posterior de los espejos adyacentes. El tercer documento desvela un concentrador fuera del eje que incluye una cámara definida por una pared receptora, una pared reflectante y al menos dos paredes finales, definiendo conjuntamente un objeto tridimensional dotado de una entrada en la que un eje vertical de la cámara es generalmente perpendicular a la entrada e incluye un receptor montado en la pared de la cámara receptora, portando el receptor al menos una célula fotovoltaica, estando dispuesto un eje vertical del receptor según un ángulo diferente de cero con respecto al eje vertical de la cámara y siendo adecuadas otras disposiciones para alinear el elemento óptico con el receptor.

Inconvenientes de la técnica anterior.

[0006] En general, el uso de un homogeneizador convencional, que tiene una abertura superior paralela al plano de la célula, no permite recoger mejor los rayos desde un paraboloide fuera del eje en presencia del desalineación del sistema de recogida de la radiación relativa al sol. En particular, los documentos U.S. 5.180.441 y U.S. 2010/0275972 A1 se refieren a soluciones en las que se usan paraboloides fuera del eje para el enfoque del haz, pero sin un homogeneizador. Además, la célula se coloca en el nivel superior del módulo (es decir, del conjunto de concentradores) y no en el nivel inferior como se propone en esta invención que, en su lugar, favorece la disipación térmica de la célula fotovoltaica. El documento U.S. 7.607.429 B2 desvela un concentrador de tipo cilíndrico que, no obstante, tiene un homogeneizador de forma simétrica, con la sección superior paralela a la sección del plano de la celda.

Problema técnico resuelto por la invención

[0007] El problema que la invención resuelve por medio de los sistemas ópticos primario y secundario es concentrar la radiación solar en la célula de una manera convenientemente alta y uniforme y asegurar al mismo tiempo una alta aceptación angular del sistema óptico global.

5 Divulgación de la invención

[0008] El concentrador solar inventado está convencionalmente constituido por un sistema óptico primario realizado con un paraboloide fuera del eje y un elemento óptico secundario que actúa como un homogeneizador que, de una nueva forma, presenta su propia abertura de entrada para la radiación (a continuación "abertura superior") en una posición no perpendicular a su eje central de simetría, una posición que en la siguiente descripción se denominará convencionalmente "oblicua" y que está adaptada para recoger la parte de la radiación que se perdería si fuera paralela al plano de la abertura de salida del homogeneizador ("abertura inferior"), que a su vez, es paralela al plano de la célula fotovoltaica subyacente y que permite rastrear la posición de "mejor enfoque" creada por las aberraciones del paraboloide fuera del eje, recogiendo de este modo un mayor número de rayos, mejorando así las características de la aceptación angular del sistema en presencia de desalineaciones, sin cambiar la eficiencia máxima obtenible por el sistema óptico.

[0009] La razón de la sección transversal oblicua está relacionada con las aberraciones producidas por el paraboloide fuera del eje o, de todos modos, por una óptica de enfoque de la radiación que funciona de forma no simétrica. El comportamiento asimétrico del paraboloide fuera del eje en función de la desalineación solar en el plano medio significa que la posición del "mejor enfoque" (el punto de mejor enfoque de los haces procedentes del paraboloide fuera del eje) se desplaza a lo largo de una línea no necesariamente recta y no paralela al plano de la celda situada en la parte inferior del homogeneizador.

[0010] Como será evidente a partir de los ejemplos de realización, el sistema maximiza la recogida de la radiación en altos ángulos de desalineación solar sin tener que aumentar la pendiente de la pirámide o el cono, es decir, el ángulo en el ápice de la pirámide o el cono del que se obtiene el homogeneizador, aumento de pendiente que pondría en peligro la eficiencia del concentrador.

[0011] Obsérvese que una extensión de todo el homogeneizador, para mantener la forma convencional, daría como resultado el bloqueo de algunos rayos en presencia de ciertas desalineaciones, como se observará en algunas de las figuras adjuntas.

[0012] Esto es una evidencia de que en esta configuración óptica la forma óptima del homogeneizador no puede ser la convencional, sino que la forma debe tener una abertura superior en una posición oblicua con respecto a su eje central de simetría.

[0013] Las aberraciones generadas por el paraboloide fuera del eje hacen que el mejor enfoque, en una primera aproximación, se desplace a lo largo de una línea oblicua recta.

[0014] El ángulo de inclinación de dicha posición oblicua se determinará en función de las características geométricas del paraboloide fuera del eje y de la inclinación del homogeneizador con respecto al espejo primario.

[0015] En principio, el perfil de la abertura superior también podría ser curvado en el caso en el que el mejor enfoque producido por las aberraciones se desplace a lo largo de una línea no recta.

[0016] El homogeneizador con abertura superior oblicua puede tener una forma de pirámide truncada, una forma de cono truncado u otra forma mixta que se describirá en uno de los ejemplos de realización.

[0017] Se ha de apreciar que, para optimizar la recogida de la radiación, el eje central de simetría del homogeneizador se inclina unos pocos grados con respecto al eje óptico procedente del espejo primario, lo que permite optimizar el acoplamiento entre el sistema óptico primario y el elemento óptico oblicuo secundario.

[0018] Los efectos del homogeneizador inventado se muestran preliminarmente en las gráficas de las figuras A, B, C, donde se comparan los tamaños de las áreas definidas por las curvas de iso-eficiencia del sistema óptico, dependiendo de los ángulos ortogonales de la desalineación del sol. Cuanto mayor es el área definida por las curvas de iso-eficiencia, mayor es la aceptación angular del sistema. La comparación entre dichos tamaños se realiza manteniendo la forma del paraboloide fuera del eje y simulando tanto un homogeneizador convencional en forma de pirámide truncada como un homogeneizador en forma de pirámide truncada con una abertura oblicua superior.

[0019] En el ejemplo de la figura A, el ángulo de desalineación en el plano considerado (el que se beneficia del uso del presente nuevo homogeneizador) es el ángulo Phi. La figura muestra la curva de iso-eficiencia al 90 % del valor máximo de eficiencia en función de los ángulos de la desalineación ortogonal, obteniéndose la curva mediante

un homogeneizador convencional en forma de pirámide truncada.

[0020] La figura B muestra la curva de iso-eficiencia al 90 % del valor máximo de eficiencia en función de los ángulos de desalineación ortogonal, obteniéndose la curva con un homogeneizador en pirámide truncada convencional modificado para tener una abertura oblicua superior.

[0021] La figura C muestra la comparación entre las curvas de iso-eficiencia al 90 % del valor máximo de eficiencia obtenida con los dos homogeneizadores: la curva discontinua se refiere a un homogeneizador convencional, toda la curva se refiere a un homogeneizador con abertura oblicua superior. Como puede verse a partir de la comparación entre dichas dos curvas, en el caso de un concentrador que hace uso de un homogeneizador fabricado con una abertura oblicua superior con respecto al eje central de simetría, se produce un aumento de la aceptación angular media (equivalente al área inscrita en la curva).

[0022] Las curvas de iso-eficiencia se calculan al 90 % del valor máximo, siendo este valor utilizado típicamente para definir la aceptación angular. El resultado obtenido es, sin embargo, de tipo general y también se aplica a curvas de iso-eficiencia calculadas con porcentajes diferentes.

[0023] Sin embargo, la misma observación podría extenderse al ángulo ortogonal de desalineación. De hecho, se puede considerar un paraboloide que actúa fuera del eje también con respecto al segundo eje de desalineación; esto haría que el homogeneizador cambiara a un ángulo del sistema óptico. En el caso anterior, también en el otro plano de desalineación, el identificado por el ángulo theta, se beneficiaría de una inclinación de la abertura oblicua superior en el homogeneizador.

[0024] Una alternativa al homogeneizador mostrado anteriormente es un homogeneizador dotado de una abertura superior oblicua circular o elíptica que se convierte en una abertura inferior cuadrada o rectangular.

[0025] Para aclarar el significado de "oblicua" referido a la abertura superior del homogeneizador, se observa que la oblicuidad de dicha abertura con respecto al eje principal de simetría del homogeneizador es la oblicuidad con respecto a una u otra de las dos direcciones de desalineación con respecto a una dirección de desalineación intermedia a las dos mencionadas anteriormente, también con respecto al plano de la celda.

Ventajas de la invención

[0026] La geometría del sistema es tal que mantiene la posición de la celda en la parte inferior del sistema óptico y hace posible el uso de sistemas de seguimiento menos eficaces para rastrear el sol y ayudar a la disipación de calor que se produce eficazmente aprovechando, como elemento disipador, la pared inferior del homogeneizador que está expuesta al exterior y se sitúa ventajosamente en la sombra. Además, en caso de desalineación del sistema receptor, se mejora la eficiencia de recogida, la homogeneización y la concentración de la radiación luminosa gracias a la mayor aceptación angular que ofrece el homogeneizador. Finalmente, el uso de un paraboloide fuera del eje como óptica primaria, o una forma similar adecuada para enfocar la radiación solar sin obstrucción del haz entrante, evita oscurecer parte del área de recogida y maximiza la radiación capturada.

Descripción detallada de la invención

[0027] La invención se describirá ahora con más detalle con ejemplos de realización y la ayuda de dibujos esquemáticos, en los que

- las figuras 1a, 2 - 5 y 10, 11 son vistas en planta y
- las figuras 1b, 6a - 9 son vistas tridimensionales.

La figura 1 muestra un sistema de concentración compuesto por un paraboloide fuera del eje, o espejo primario 1, y por un homogeneizador 2. El espejo primario es capaz de enviar la radiación solar dentro del homogeneizador que tiene una forma adecuada para recoger en el mejor de los casos la radiación solar 3a, 3b, 3c procedente del espejo primario 1 y enviarla a la célula fotovoltaica 4 que convierte la radiación electromagnética en corriente eléctrica.

La figura 1b muestra las dos direcciones de desalineación Phi y Theta consideradas para simular la desalineación de los rayos solares con respecto al sistema óptico de recogida. La desalineación Phi se encuentra en el plano del dibujo y la desalineación Theta se encuentra en el plano ortogonal al dibujo y que pasa a través del haz 3b considerado en la condición de desalineación nula.

La figura 2a muestra un homogeneizador 2 de forma convencional en el que los rayos 3d y 3e se reflejan desde la superficie reflectante del homogeneizador hasta que llegan a la célula fotovoltaica 4 en la parte inferior del homogeneizador. La abertura superior IN del homogeneizador 2 es paralela a la abertura inferior y no está optimizada para recoger la radiación entrante en el mejor de los casos.

La figura 2b muestra un homogeneizador que, conformado como un cono truncado con una abertura superior oblicua con respecto al eje central de simetría, es adecuado para recoger la cantidad máxima de radiación procedente del espejo primario (del cual se muestran dos rayos 3d y 3e) y distribuirla uniformemente en la celda fotovoltaica 4. La abertura superior de homogeneizador IN, oblicua con respecto

al eje central de simetría, es también oblicua con respecto a una u otra de las dos direcciones de desalineación o con respecto a una dirección de desalineación intermedia a las dos anteriores. La figura 3a muestra un homogeneizador 2 conformado de acuerdo con la invención en el caso en el que el sol está alineado con el sistema óptico de recogida. Los rayos 3d y 3e procedentes del espejo primario están enfocados cerca del centro de la abertura superior IN del homogeneizador 2, cuya abertura superior es una superficie delimitada por el perfil p.

La figura 3b muestra un homogeneizador 2 en el caso en el que el sol tiene una desalineación positiva en una dirección con respecto al espejo primario, y luego con respecto a todo el sistema óptico de recogida. Los rayos 3f y 3g, procedentes del espejo primario, están enfocados en la proximidad de un borde de la abertura superior IN del homogeneizador 2 y se envían a la celda 4. Como es bien sabido, la mezcla (homogeneización) de los rayos en la célula fotovoltaica 4 normalmente se produce como resultado de una serie de rebotes dentro del homogeneizador 2, que por simplicidad de representación no se muestran en la figura.

La figura 3c muestra un homogeneizador 2 en el caso en el que el sol tiene una desalineación negativa en una dirección con respecto al sistema óptico de recogida. Los rayos 3f y 3g, procedentes del espejo primario están enfocados en la proximidad de un borde de la abertura superior IN del homogeneizador 2 y se envían a la célula fotovoltaica 4. Como se sabe, la mezcla (homogeneización) de los rayos en la celda 4 se produce normalmente como resultado de una serie de rebotes dentro del homogeneizador 2 no mostrados en el dibujo. Ha de apreciarse que, en las figuras 3a, 3b y 3c, el mejor enfoque, es decir, el punto donde los rayos se encuentran en la entrada del homogeneizador, no se encuentra a la misma distancia de la célula, sino que varía debido a las aberraciones producidas por la óptica primaria en función de la desalineación solar. El efecto de la desalineación solar en el enfoque del haz que entra en el homogeneizador queda claro en la siguiente figura.

La figura 3d muestra, de hecho, cómo una desalineación del haz de luz solar con respecto al sistema óptico de recogida hace que el haz se enfoque sobre una superficie sustancialmente plana, no paralela al plano de la célula debido a las aberraciones presentes en el sistema óptico. La maximización de la recogida de rayos solares, luego la maximización de la aceptación angular del sistema óptico, se obtiene cuando la abertura superior IN del homogeneizador 2 sigue la forma de dicha superficie no paralela al plano de la célula fotovoltaica 4. FO1, FO2, FO3 indican el frente de onda de la radiación incidente que se enfocará respectivamente en P1, P2, P3.

La figura 4 muestra el efecto de la extensión EX de un lado del homogeneizador 2. El sistema maximiza la recogida de radiación en altos ángulos de desalineación solar sin tener que aumentar el ángulo en el vértice del cono de origen, una operación que pondría en peligro la eficiencia del concentrador. El radio 3h es recogido por el homogeneizador y enviado a la célula fotovoltaica y 4, mientras que si la forma del homogeneizador ha sido la convencional, mostrada con el perfil 5, se perdería el radio 3h como se muestra con la extensión 3hp.

La figura 5 muestra el efecto de acortar el lado 2X en el homogeneizador 2. El sistema maximiza la recogida de radiación en altos ángulos de desalineación solar sin tener que aumentar el ángulo en el vértice del cono de origen, una operación que pondría en peligro la eficacia del concentrador. El radio 3f se recoge por el homogeneizador y se envía a la célula fotovoltaica 4, mientras que si la forma del homogeneizador hubiera sido la convencional como se muestra con el perfil 5, el radio 3f sería absorbido por la pared exterior del homogeneizador o reflejado siguiendo la trayectoria indicada por el radio 3fp.

La figura 6a es una vista tridimensional de un homogeneizador en forma de pirámide truncada 2a con una abertura superior IN, en forma de paralelogramo, oblicua con respecto al eje central de simetría, en cuya abertura entra la radiación solar, ilustrada con el radio 3k, para ser reflejada hasta llegar a la abertura inferior OUT.

La figura 6b es una vista tridimensional de un homogeneizador con forma de pirámide truncada 2b con la abertura superior IN oblicua con respecto a ambas direcciones de desalineación. La radiación, ilustrada por el radio 3k, entra a través de la abertura oblicua superior y se refleja hasta llegar a la abertura inferior OUT. K-K muestra el eje central del homogeneizador 2b.

La figura 7a es una vista tridimensional de un homogeneizador en cono truncado 2b con la abertura superior IN oblicua con respecto al eje central de simetría en la que entra la radiación, ilustrada con el radio 31, que se refleja hasta llegar a la abertura inferior OUT.

La figura 7b es una vista tridimensional de un homogeneizador en cono truncado 2b con la abertura superior IN oblicua con respecto a ambas direcciones de desalineación. La radiación, ilustrada por el radio 31, entra a través de la abertura superior y se refleja hasta llegar a la abertura inferior OUT. K - K muestra el eje central de simetría del homogeneizador 2b.

La figura 8 es una vista tridimensional de un homogeneizador (definido en este ejemplo - homogeneizador mixto - ya que tiene la sección superior redonda o elíptica y la sección inferior cuadrada o rectangular) que

tiene la abertura superior IN elíptica y oblicua con respecto al eje central de simetría, en la que entra la radiación solar, ilustrada con el radio $3n$ que se refleja hasta llegar a la sección inferior OUT de forma cuadrada o rectangular.

La figura 9 muestra la forma cóncava P1 de la abertura superior IN en un homogeneizador 2. Esta forma es diferente de la recta para maximizar la recogida de la radiación solar procedente del espejo primario. Por ejemplo, esta forma puede seguir la posición del mejor enfoque producido por el espejo primario.

La figura 10 muestra la forma convexa P2 de la abertura superior IN en un homogeneizador 2. Esta forma es diferente de la recta para maximizar la recogida de la radiación procedente del espejo primario. Esta forma también puede seguir la posición del mejor enfoque producido por el espejo primario.

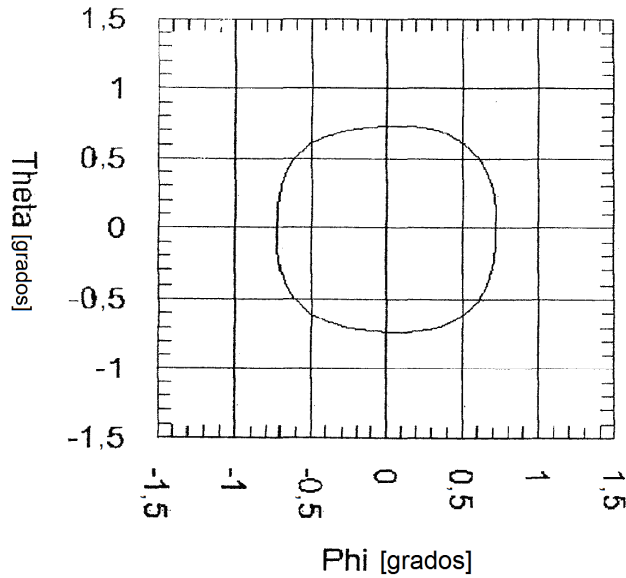


Fig. A

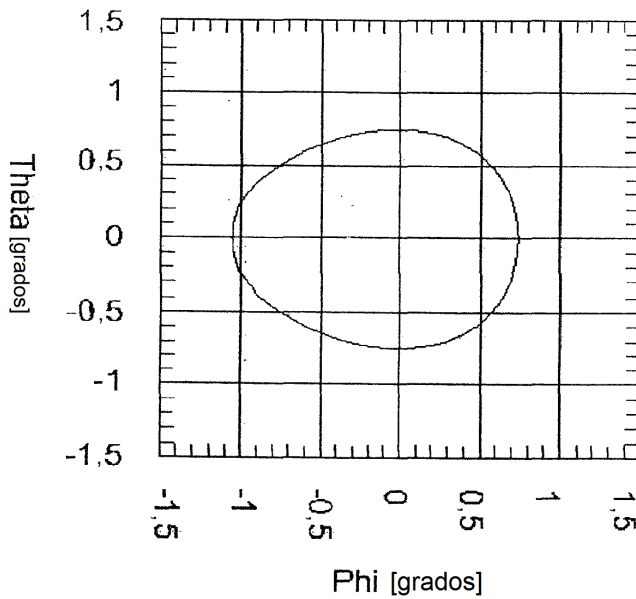


Fig. B

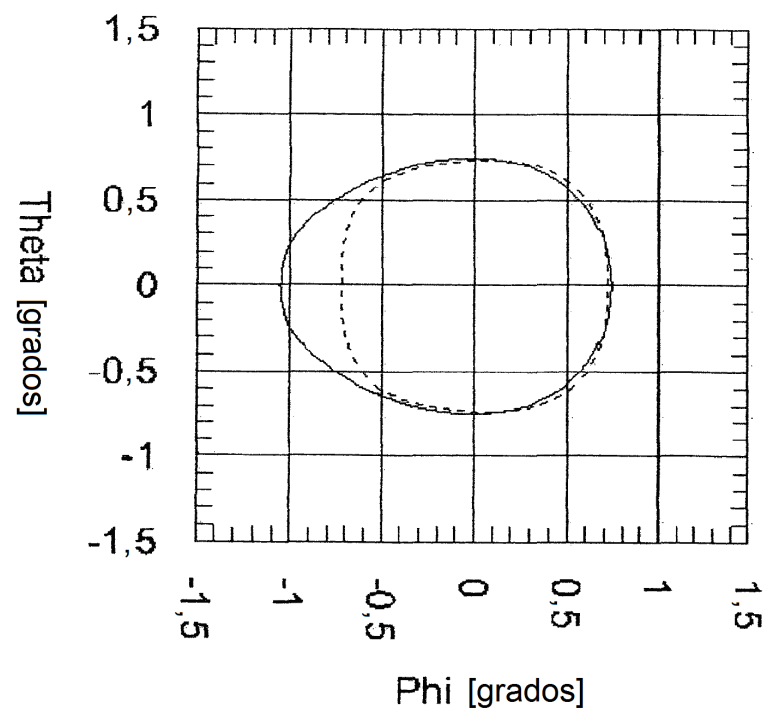
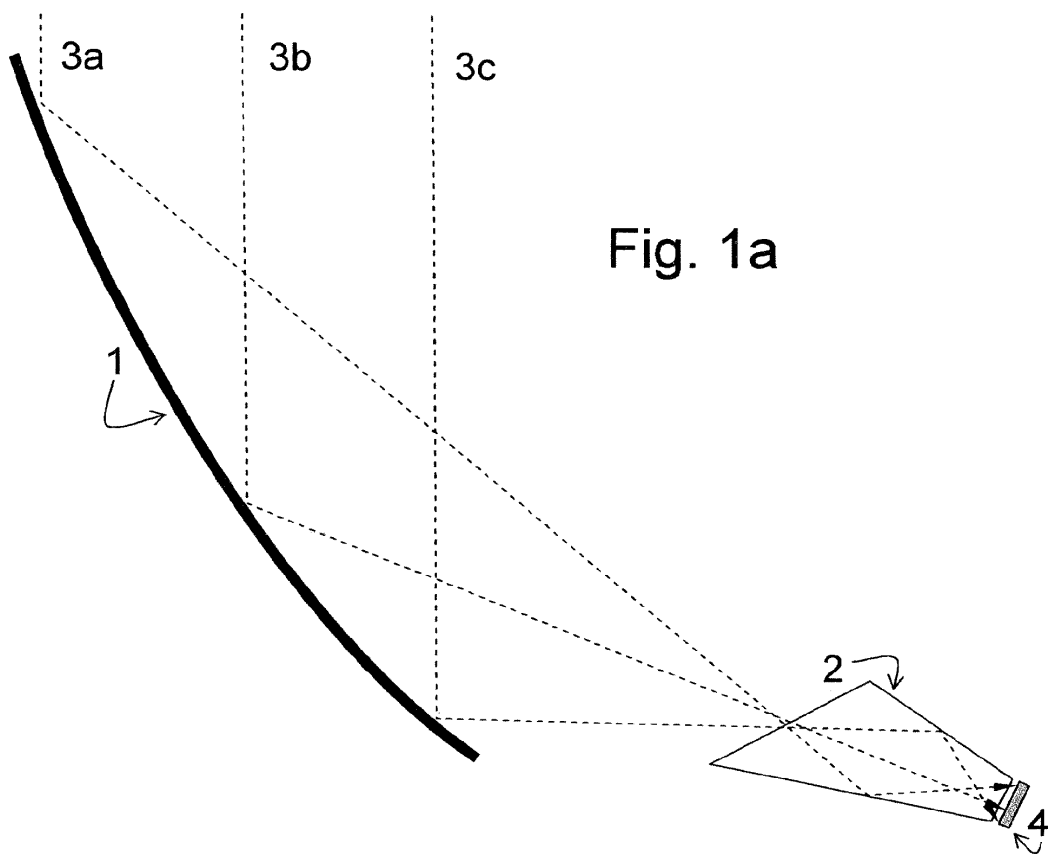
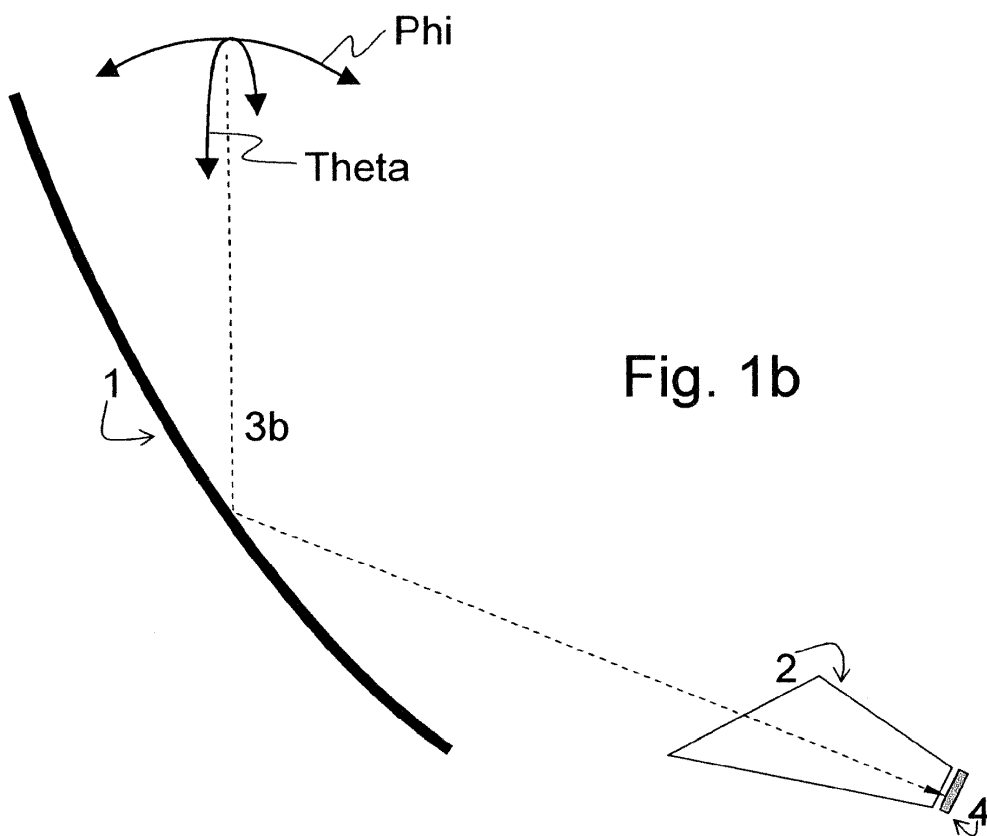


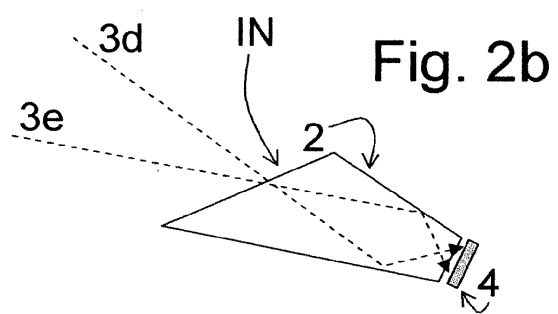
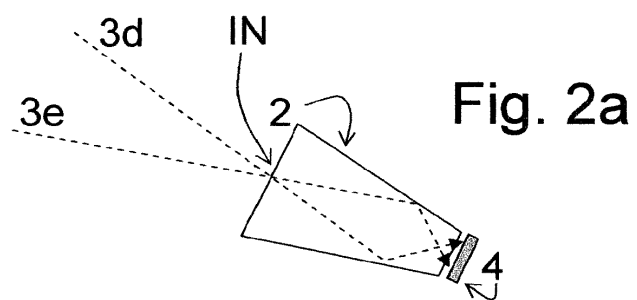
Fig. C

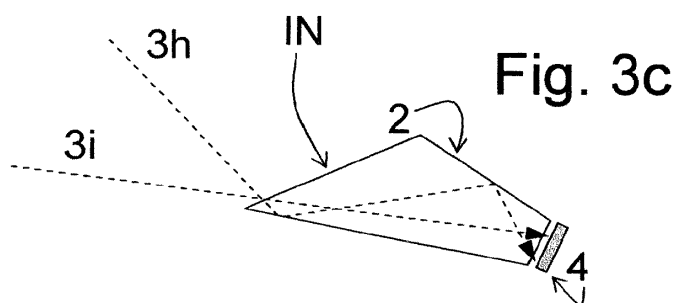
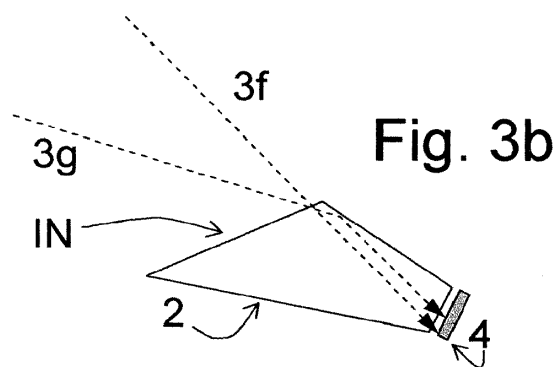
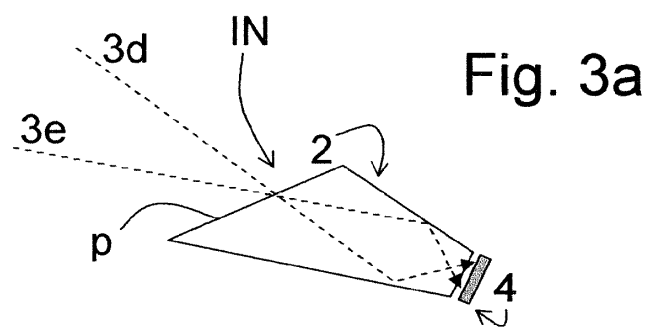
REIVINDICACIONES

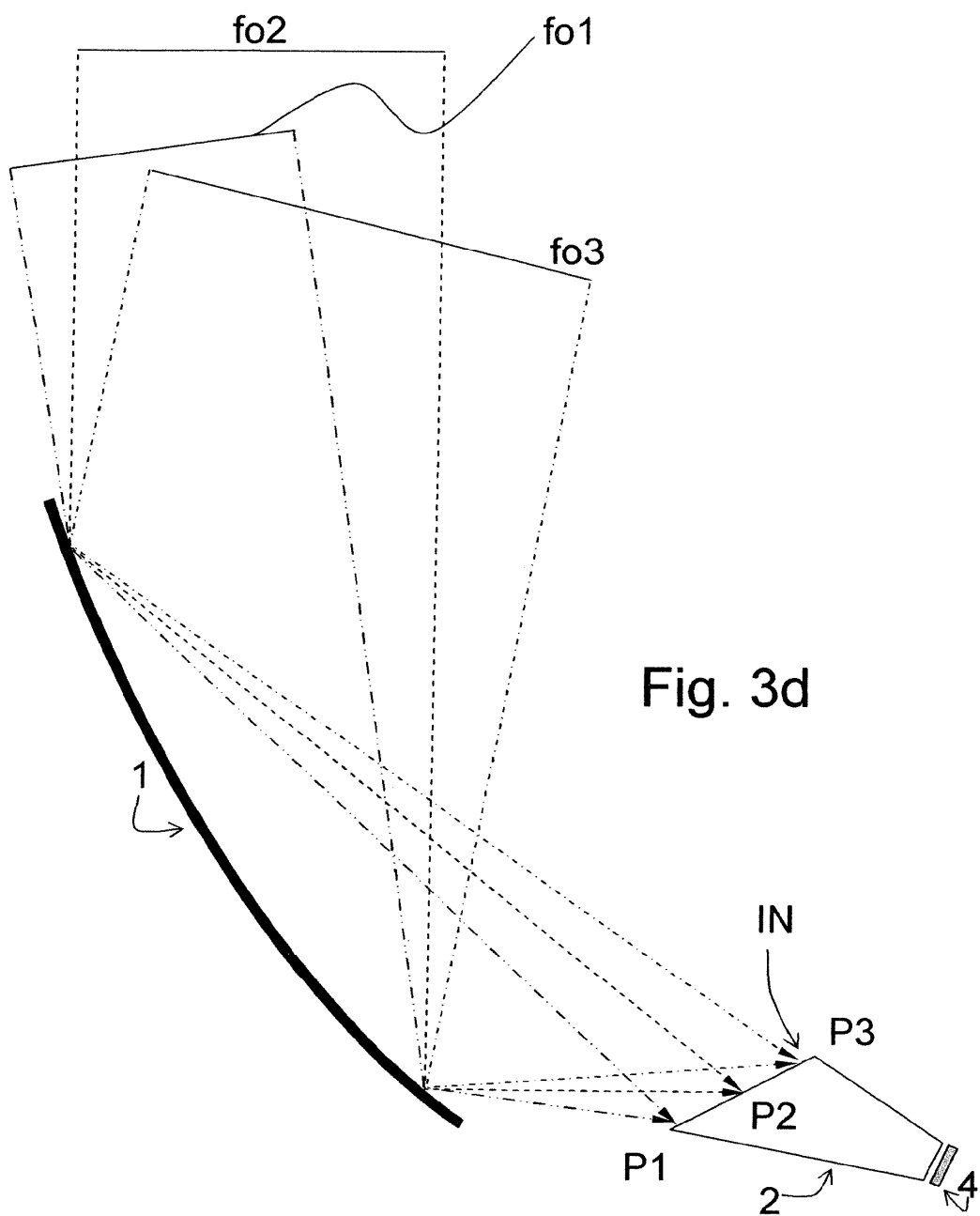
- 5 1. Concentrador solar (1, 2) para sistemas fotovoltaicos que comprende un sistema óptico primario (1) y un elemento óptico secundario (2), estando el sistema óptico primario dotado de un paraboloide fuera del eje u otros medios para enfocar la radiación solar sobre el elemento óptico secundario que actúa como un homogeneizador, **caracterizado por que** el homogeneizador (2) tiene la forma de una pirámide truncada o de cono truncado y está dotado de una abertura superior (IN) no perpendicular al eje de simetría central del homogeneizador (K - K) para adaptarse a las aberraciones del sistema óptico primario, para obviar significativamente los errores de apuntamiento al sol y maximizar la captura de los rayos procedentes del sistema óptico primario (1).
- 10 2. Concentrador solar (1, 2) para sistemas fotovoltaicos que comprende un sistema óptico primario (1) y un elemento óptico secundario (2), estando el sistema óptico primario dotado de un paraboloide fuera del eje (1), u otros medios para enfocar la radiación solar sobre el elemento óptico secundario que actúa como un homogeneizador, **caracterizado por que** la abertura superior (IN) del homogeneizador (2) está definida por un círculo o una elipse no perpendicular al eje central de simetría (K - K) del homogeneizador y la abertura inferior (OUT) está definida por un cuadrado o rectángulo paralelo al plano de la célula fotovoltaica (4) del sistema y que tiene un área próxima al área de la célula.
- 15 3. Concentrador solar de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el paraboloide (1) funciona fuera del eje con respecto a ambos ejes de desalineación solar (Φ , Θ), y el homogeneizador (2) en forma de pirámide truncada o de cono truncado está dotado de una abertura superior (IN) no perpendicular al eje central de simetría (K - K) con respecto a una o ambas direcciones ortogonales de desalineación solar (Φ , Θ).
- 20 4. Concentrador solar de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la abertura superior (IN) del homogeneizador (2) es oblicua con respecto al eje central de simetría (K - K) del homogeneizador y es cóncava, convexa o cóncava-convexa para adaptarse a las aberraciones del sistema óptico primario (1), con el fin de maximizar la recogida de radiación solar.
- 25

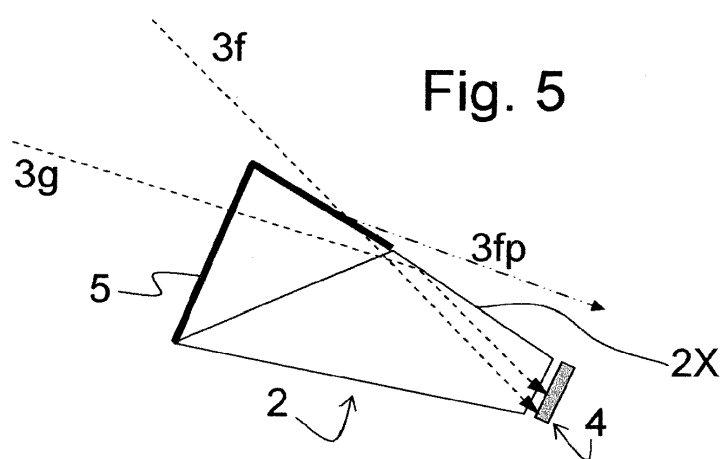
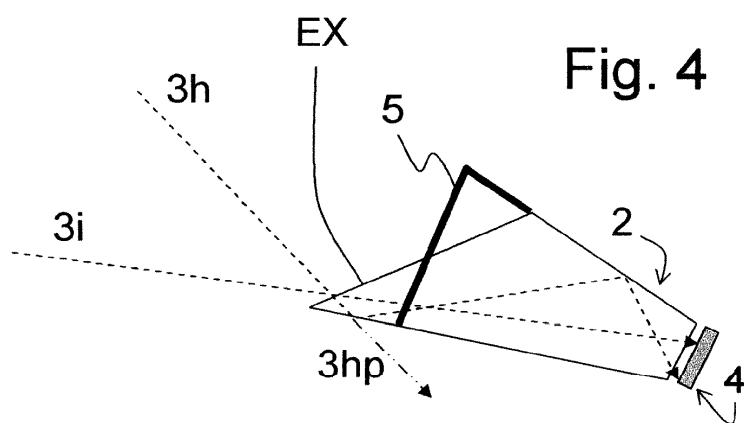












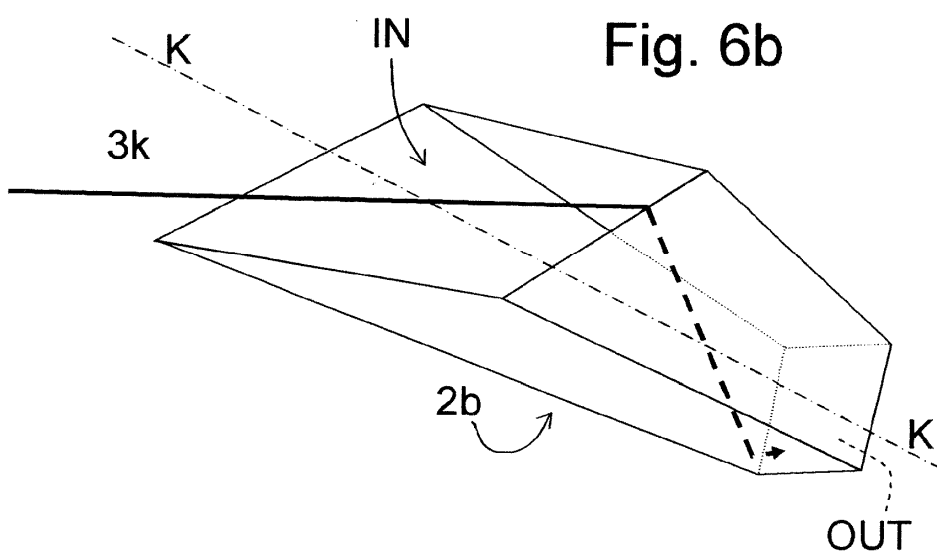
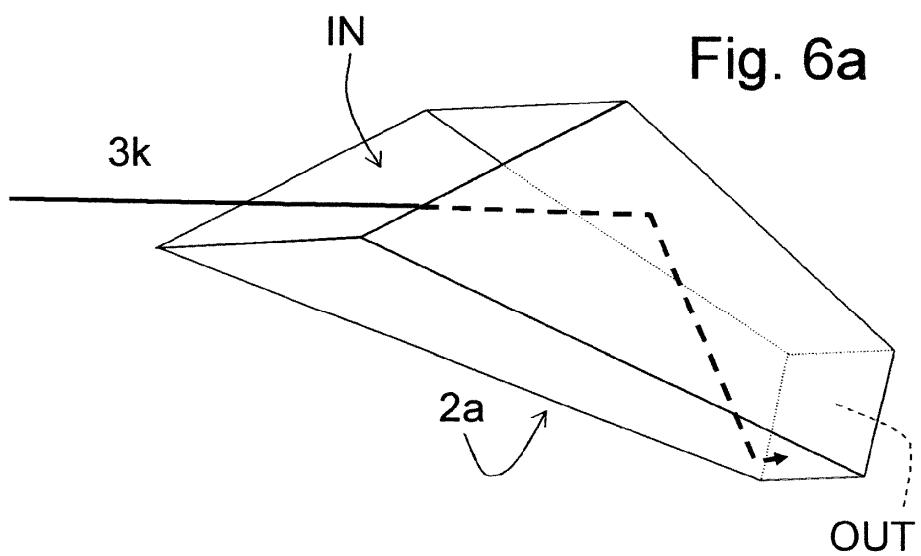


Fig. 7a

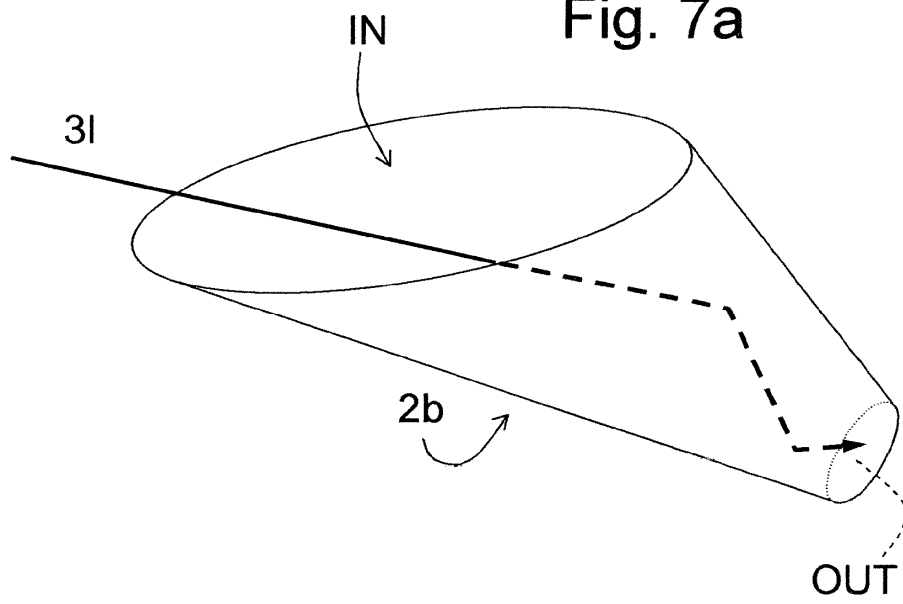


Fig. 7b

