

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 953 203**

51 Int. Cl.:

F24S 23/30 (2008.01)

F24S 40/00 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.08.2020 PCT/EP2020/071746**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.02.2021 WO21023681**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.08.2020 E 20750652 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.08.2023 EP 4007873**

54 Título: **Lente de seguridad**

30 Prioridad:

02.08.2019 GB 201911080

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

08.11.2023

73 Titular/es:

**HELIAC A/S (100.0%)
Teglbuén 10, Niverød
2990 Nivå, DK**

72 Inventor/es:

PRANOV, HENRIK

74 Agente/Representante:

MENDIGUTÍA GÓMEZ, María Manuela

ES 2 953 203 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

Lente de seguridad

Esta solicitud reivindica la prioridad del documento GB1911080.8, presentada el 2 de agosto de 2019.

La invención aborda el problema de los focos no deseados generados por un elemento óptico en un concentrador solar cuando la luz del sol incide sobre él de manera no normal al plano del elemento óptico. Dichos focos no deseados pueden provocar un calentamiento no deseado, e incluso una combustión, en las proximidades de los focos no deseados.

Es convencional utilizar lentes de Fresnel, particularmente lentes de Fresnel que no forman imágenes, en concentradores solares, ya que estos son más delgados, livianos y menos costosos de producir que las lentes estándar. Una lente de Fresnel que forma imágenes tiene una estructura en la que el ángulo de deflexión aumenta continuamente con el radio de la lente, como se muestra en la Figura 1, línea suave; la propia lente tiene facetas cuya superficie es curva, de forma que refleja la curvatura de una lente convencional que tiene el mismo poder de difracción. Una lente de Fresnel que no forma imágenes utilizada convencionalmente como elemento óptico en un concentrador solar tiene una estructura en la que cada faceta de la lente tiene un ángulo constante fijo (sección transversal de diente de sierra lineal), lo que da como resultado que el ángulo de deflexión aumente de manera escalonada, como se muestra en la Figura 1, línea escalonada y, por lo tanto, desenfoca la luz ligeramente en comparación con la estructura ideal, proporcionando un área focal en el centro de foco de la lente, en lugar del punto focal obtenido por una lente de Fresnel que forma imágenes ideal. Para los fines de los concentradores solares, esta última estructura es preferible, ya que proporciona la luz enfocada en una distribución uniforme sobre la superficie del receptor, en lugar de producir un punto focal de muy alta intensidad en una parte del receptor.

La Figura 2 muestra el enfoque de la luz 501A incidente normal y la luz 501B incidente no normal mediante una lente de Fresnel que forma imágenes (el centro de la lente se muestra como 502 y el plano de la lente se muestra como 504). A la izquierda se puede ver la luz incidente normal y a la derecha la luz incidente no normal. El ángulo 560 de deflexión resultante de las microestructuras aumenta continuamente con la distancia r desde el centro de la lente 502, como se muestra en la Figura 5, línea 560 suave; esto se logra mediante el uso de un ángulo de Fresnel que aumenta continuamente en función del radio de la lente, como se muestra en la Figura 6, línea 580 suave.

La Figura 3 muestra el enfoque de la luz 501A incidente normal y la luz 501B incidente no normal mediante una lente de Fresnel que no forma imágenes, como se utiliza a menudo en los concentradores solares. A la izquierda se puede ver la luz incidente normal y a la derecha la luz incidente no normal. El ángulo de deflexión resultante de las microestructuras es constante para cada faceta de la lente, y el ángulo de deflexión es mayor para cada faceta a medida que aumenta la distancia r de la faceta desde el centro de la lente. La Figura 1, línea 565 escalonada, muestra una variación típica del ángulo de Fresnel para dicha lente; se puede ver que el ángulo de Fresnel es igual al ángulo 555 de Fresnel ideal en la parte de la faceta que está más cerca del centro de la lente (r más pequeña para esa faceta) y, como el ángulo de Fresnel para la faceta es constante, existe una desviación en aumento del ideal a medida que r aumenta para cada faceta.

En el documento US2011/0083664, se reconoce que la concentración de radiación solar utilizando lentes de Fresnel provoca "puntos de calor" que pueden provocar problemas en algunas aplicaciones en donde la energía intensamente concentrada podría dañar el objetivo, tal como un dispositivo fotovoltaico. Esto, por supuesto, está en relación con el foco o focos previstos de la lente de Fresnel. También se reconoce en este documento que no se prefieren las áreas focales nítidas en lentes para uso doméstico, ya que pueden constituir un riesgo de incendio si se utilizan incorrectamente. Por lo tanto, los autores del documento proponen una técnica que describen como "desplazamiento de Fresnel", en la que la luz incidente se redirige utilizando una estructura de Fresnel, pero los rayos de luz se mantienen en una relación paralela entre sí y no se enfocan en un objetivo. Se pueden aplicar diferentes ángulos de "desplazamiento de Fresnel" a áreas a una distancia radial diferente de un objetivo, de tal manera que la luz que incide sobre un área amplia se puede desplazar de tal manera que interfiera en la misma área objetivo, sin que ninguna de las estructuras a través de las cuales pasa la luz funcione para enfocar la luz. Los autores de este documento no consideran el comportamiento de la luz incidente no normal.

En el documento WO2011/080508, se aborda la necesidad de un colector de energía solar para tener en cuenta los diferentes ángulos de incidencia de la luz a lo largo del día, en particular para los paneles solares montados en el techo. En lugar de un heliostato convencional, los inventores proponen el uso de una película colectora que tiene diferentes regiones, cada una de las cuales tiene lentes dispuestas para dirigir la luz desde un rango diferente dado de ángulos de incidencia sobre los receptores. La película se puede desplazar con respecto a los receptores de tal manera que la región apropiada de la película se coloque encima de los receptores en cualquier momento del día para dirigir la luz incidente sobre los receptores. Se menciona que el diseño de las lentes se puede ajustar para reducir la dispersión de los rayos de luz desde los bordes y para reducir las aberraciones asociadas con los rayos fuera del eje, pero no se incluye ninguna explicación de cómo podría hacerse esto en el documento.

En del documento US2012/0192919, se describen elementos ópticos que son adecuados para uso en enfocar la luz sobre una matriz solar fotovoltaica. Los elementos ópticos combinan estructuras de lentes de Fresnel, cuyas

estructuras de lentes de Fresnel se seleccionan para cancelar la dispersión cromática del elemento óptico con el fin de obtener una alta eficiencia de difracción a través de un rango de longitudes de onda, sobre una superficie convexa de un sustrato, con una matriz de microlentes sobre la otra cara planar del sustrato, para crear un área focal en el dispositivo fotovoltaico. Se enseña que utilizar una lente de esta forma produce un área focal con una intensidad de luz uniforme a lo largo de esa área. Solo se considera el comportamiento de la luz incidente normal al plano del elemento óptico. Es probable que la compleja estructura de doble lente dé lugar a una deflexión y enfoque impredecibles de la luz para la luz que no es normal al plano del elemento óptico, así como a elementos ópticos más gruesos y más difíciles de fabricar.

El documento EP1521044 se refiere a una lente de Fresnel para un concentrador solar en donde el ángulo de Fresnel en radios más grandes produce una longitud focal más corta. Esto tiene como objetivo lograr uniformidad en la distribución de la irradiancia policromática sobre el plano de la celda. El documento EP0173344 se refiere a una lente de enfoque de luz para coleccionar energía solar. La lente está dispuesta para separar y enfocar solo el componente de luz de una longitud de onda deseada. La parte central de la lente de Fresnel bloquea la luz, de tal manera que solo la parte circunferencial realiza una función de lente. Diferentes longitudes de onda se enfocan en diferentes planos. El documento CN101697038 se refiere a un dispositivo de conversión de espectro para mejorar la eficiencia de las celdas fotovoltaicas. Este utiliza elementos similares a prismas para separar la luz solar en componentes de color, que se enfocan sobre la superficie de los dispositivos objetivo correspondientes de acuerdo con el color.

El documento DE3248512A1 describe un elemento óptico planar que no forma imágenes para un concentrador solar que comprende varios grupos de microestructuras circulares y dispuestas concéntricamente alrededor de un punto central dispuesto para refractar la luz normalmente incidente hacia el punto central en donde los ángulos de las microestructuras forman un área focal común a través de los grupos.

Los presentes inventores se han dado cuenta de que, cuando la luz no normal incide sobre una lente de Fresnel que forma imágenes, cada grupo de microestructuras de la lente hará deflexión la luz para dar como resultado un punto focal en el plano focal, cuyo punto focal no coincidirá con el punto focal deseado de la lente (usualmente un receptor), como se representa en la Figura 2. La incidencia de luz no normal sobre un elemento óptico es un problema particular para los elementos ópticos utilizados en concentradores solares, que tienen un área típica de elementos ópticos de 16 m², y que pueden estar expuestos a fuertes vientos, tales como 15-20 m/s. Dicha exposición puede provocar la distorsión de los elementos ópticos y/o hacer que el ángulo del concentrador solar con respecto a la luz solar incidente se desvíe desde el ideal, de tal manera que el plano del concentrador solar no sea uniformemente normal a la luz solar incidente. Los focos resultantes que no coinciden con el punto focal deseado de la lente provocan un calentamiento local de lo que se sitúa en el punto focal; esto puede ser vegetación, o partes del colector solar distintas del receptor, por ejemplo, y éstas pueden dañarse o encenderse por el calentamiento resultante de los focos no deseados. Si bien este problema se puede mitigar hasta cierto punto mediante el uso de una lente que no forma imágenes, esto todavía da como resultado la formación de áreas focales en posiciones no deseadas que reciben energía solar enfocada, como se muestra en la Figura 3. Por ejemplo, los inventores han notado el derretimiento y quema de la cubierta exterior de plástico de una caja de control de un colector solar situado en dicha área focal no deseada (véase Figura 4). Sería deseable evitar dichos daños y riesgos de incendio en el diseño de elementos ópticos para concentradores solares.

De acuerdo con lo anterior, los presentes inventores han ideado un elemento óptico cuyo objetivo es reducir el riesgo de daño y/o peligro de incendio asociado con la luz incidente no normal que pasa a través de un concentrador solar.

Para lograr esto, los presentes inventores han establecido una estructura para las microestructuras de un elemento óptico que no forma imágenes que permite que el elemento óptico continúe enfocando la luz incidente normal al plano del elemento en un área focal deseada (tal como sobre un receptor de un concentrador solar), pero que también difunde los focos resultantes de la luz incidente no normal para reducir el calentamiento causado por la luz incidente no normal que pasa a través de la lente. Este resultado se logra mediante la alteración del cambio en el ángulo de deflexión de las microestructuras del elemento óptico y, en particular, la alteración de la tasa de cambio del ángulo de deflexión con el aumento del radio del elemento óptico, en comparación con las lentes de Fresnel que forman imágenes y que no forman imágenes convencionales.

En un primer aspecto, la invención proporciona un elemento óptico planar que no forma imágenes para un concentrador solar que comprende una pluralidad de grupos de microestructuras circulares y dispuestas concéntricamente alrededor de un punto central, cuyas microestructuras se disponen para refractar la luz incidente normal al plano del concentrador solar hacia el punto central, en el que:

el ángulo de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico dentro de cada grupo aumenta con el aumento de la distancia radial desde el punto central;

los ángulos de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico de cada uno de los grupos individuales se seleccionan de tal manera que formen un área focal común a todos los grupos en un plano focal del elemento óptico, cuando se ilumina por la luz incidente normal al plano del elemento óptico; y

- 5 los ángulos de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico de cada uno de los grupos individuales se seleccionan de tal manera que, cuando se iluminan por la luz incidente normal al plano del elemento óptico, la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro de un grupo dado y la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central dentro de un grupo dado se cruzan en un plano más cercano al elemento óptico que es el plano focal.
- Por lo tanto, en el contexto de un concentrador solar, la luz que no llega al receptor/colector solar debido a que no incide normalmente sobre la lente, típicamente tiene que viajar más antes de crear áreas focales no deseadas sobre la estructura en el fondo, por ejemplo, el suelo o estructura de soporte, por lo que la luz diverge, creando áreas focales menos intensas sobre la estructura de fondo. Por lo tanto, existe menos riesgo de incendio o daño.
- 10 Un plano más cercano al elemento óptico que es el plano focal significa un plano que se encuentra entre el plano del elemento óptico y el plano focal.
- Preferiblemente, el área focal común incluye, o rodea, un centro de foco que es la proyección del punto central de la lente normal al plano del elemento óptico sobre el plano focal. Preferiblemente, el área focal se centra sobre el centro de foco. En ciertas realizaciones, se prefiere que el área focal excluya el centro de foco, mientras que lo rodea.
- 15 Preferiblemente, el elemento óptico está en la forma de una lente de Fresnel. Preferiblemente, las microestructuras son microestructuras de Fresnel.
- Preferiblemente, el ángulo de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico dentro de cada grupo aumenta linealmente con el aumento de la distancia radial desde el punto central.
- 20 Preferiblemente, las microestructuras están en la forma de rejillas lineales en dientes de sierra. Es decir, cada grupo de microestructuras tiene una tasa constante de aumento del ángulo con respecto al plano de la lente (ángulo de prisma o ángulo de Fresnel), y entre cada grupo de microestructuras existe una discontinuidad escalonada normal al plano de la lente.
- El elemento óptico planar de la invención preferiblemente no tiene una geometría macroscópicamente convexa sobre ninguna de las superficies, ni comprende estructuras adicionales tales como microlentes sobre ninguna de las superficies. Por lo tanto, el elemento óptico de la invención proporciona un elemento óptico ligero y de construcción sencilla que se puede fabricar a bajo coste, tal como mediante métodos de procesamiento de rollo a rollo y utilizando películas de polímero.
- 25 El ancho radial de cada grupo de microestructuras es preferiblemente igual. Sin embargo, el experto en la técnica reconocerá que es posible proporcionar áreas focales coincidentes para grupos de microestructuras cuyos anchos radiales no sean iguales entre sí.
- 30 Preferiblemente, el punto en el que la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central del elemento óptico dentro de un grupo dado cruza el plano focal y el punto en el que la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central del elemento óptico dentro de un grupo dado cruza el plano focal están más separadas que la distancia entre la distancia radial más pequeña desde el punto central y la distancia radial más grande desde el punto central del elemento óptico dentro de ese grupo. Esto aumenta el grado de divergencia de la luz refractada desde cada grupo, y por lo tanto, reduce el riesgo de formación de puntos focales no deseados, ya que estos no se pueden formar más cerca al elemento óptico que el plano en el que se cruzan la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro de un grupo dado y la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central dentro de un grupo dado.
- 35 Preferiblemente, el plano en el que la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central del elemento óptico dentro de un grupo dado cruza la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central del elemento óptico dentro del mismo grupo está más cerca al plano del elemento óptico que X veces la distancia focal del elemento óptico, en donde X es menor que 1, preferiblemente menor que 0.9, más preferiblemente menor que 0.8, aún más preferiblemente menor que 0.7, tal como menor que 0.6, más preferiblemente menor que 0.5, aún más preferiblemente menor que 0.4, tal como menor que 0.3, más preferiblemente menor que 0.2, aún más preferiblemente menor que 0.1. La distancia focal del elemento óptico es la distancia, medida normal al plano del elemento óptico, entre el elemento óptico y el plano focal. De nuevo, cuanto mayor sea X, mayor será la divergencia de la luz refractada dentro de cada grupo, y menor será el riesgo de formación de puntos focales no deseados capaces de calentamiento intenso.
- 40 Preferiblemente, el plano en el que la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central del elemento óptico dentro de un grupo dado cruza la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central del elemento óptico dentro del mismo grupo está más cerca al plano del elemento óptico que X veces la distancia focal del elemento óptico, en donde X es menor que 1, preferiblemente menor que 0.9, más preferiblemente menor que 0.8, aún más preferiblemente menor que 0.7, tal como menor que 0.6, más preferiblemente menor que 0.5, aún más preferiblemente menor que 0.4, tal como menor que 0.3, más preferiblemente menor que 0.2, aún más preferiblemente menor que 0.1. La distancia focal del elemento óptico es la distancia, medida normal al plano del elemento óptico, entre el elemento óptico y el plano focal. De nuevo, cuanto mayor sea X, mayor será la divergencia de la luz refractada dentro de cada grupo, y menor será el riesgo de formación de puntos focales no deseados capaces de calentamiento intenso.
- 45 aún más preferiblemente menor que 0.4, tal como menor que 0.3, más preferiblemente menor que 0.2, aún más preferiblemente menor que 0.1. La distancia focal del elemento óptico es la distancia, medida normal al plano del elemento óptico, entre el elemento óptico y el plano focal. De nuevo, cuanto mayor sea X, mayor será la divergencia de la luz refractada dentro de cada grupo, y menor será el riesgo de formación de puntos focales no deseados capaces de calentamiento intenso.
- 50 Preferiblemente, el área focal común para al menos algunos de los grupos de microestructuras rodea, pero no incluye, el centro de foco y un área circundante que tiene un radio calculado como el producto de la distancia entre el plano del elemento óptico y el plano focal medido normal al plano del elemento óptico, y la tangente de 0.275° . Esto permite que se logre una distribución más uniforme de la luz a través del área focal.
- 55 En una realización del primer aspecto de la invención, se proporciona un elemento óptico planar que no forma imágenes para un concentrador solar que comprende una pluralidad de grupos de microestructuras circulares y

dispuestas concéntricamente alrededor de un punto central, cuyas microestructuras se disponen para refractar la luz incidente normal al plano del concentrador solar hacia el punto central, en el que:

el ángulo de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico dentro de cada grupo aumenta con el aumento de la distancia radial desde el punto central;

- 5 los ángulos de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico de cada uno de los grupos individuales se seleccionan de tal manera que formen un área focal común a todos los grupos en un plano focal del elemento óptico, cuando se ilumina por la luz incidente normal al plano del elemento óptico; y

- 10 los ángulos de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico de cada uno de los grupos individuales se seleccionan de tal manera que, cuando se iluminan por la luz incidente normal al plano del elemento óptico, la luz incidente sobre cada grupo de microestructuras se enfoca de tal manera que se forma una línea focal anular separada para cada grupo en un plano de foco del grupo para el elemento óptico que se encuentra entre el plano del elemento óptico y el plano de foco.

Preferiblemente, el ángulo de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico dentro de cada grupo aumenta linealmente con el aumento de la distancia radial desde el punto central.

- 15 Preferiblemente, las microestructuras están en la forma de rejillas lineales en dientes de sierra. Es decir, cada grupo de microestructuras tiene una tasa constante de aumento del ángulo con respecto al plano de la lente (ángulo de prisma o ángulo de Fresnel), y entre cada grupo de microestructuras existe una discontinuidad escalonada normal al plano de la lente.

- 20 Preferiblemente, el plano de foco del grupo, es decir, el plano en el que la luz refractada que se cruza desde las diferentes distancias radiales desde el punto central dentro del mismo grupo, está más cerca al plano del elemento óptico que al plano focal. Preferiblemente, el plano de foco del grupo está más cerca al plano del elemento óptico que X veces la distancia focal del elemento óptico, en donde X es menor que 1, preferiblemente menor que 0.9, más preferiblemente menor que 0.8, aún más preferiblemente menor que 0.7, tal como menor que 0.6, más preferiblemente menor que 0.5, aún más preferiblemente menor que 0.4, tal como menor que 0.3, más preferiblemente menor que 0.2, aún más preferiblemente menor que 0.1. La distancia focal del elemento óptico es la distancia, medida normal al plano del elemento óptico, entre el elemento óptico y el plano focal. De nuevo, cuanto más cerca esté el plano de foco del grupo al elemento óptico, mayor será la divergencia de la luz refractada dentro de cada grupo, y menor el riesgo de formación de puntos focales no deseados capaces de calentamiento intenso.

- 30 Preferiblemente, para cada grupo de microestructuras que abarca una distancia radial r a $r+2x$, el ángulo de las microestructuras es igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal a una distancia radial de $r+x$. Sin embargo, también es posible que el ángulo de las microestructuras sea igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal a una distancia radial de r , o a una distancia radial de $r+2x$ o a cualquier otro punto intermedio dentro del rango r a $r+2x$. Esta última disposición es menos preferida ya que, cuando la luz que normalmente incide sobre el elemento óptico es refractada por todos los grupos de microestructuras, lo que dará como resultado una distribución desigual de la luz enfocada a través del área focal, lo que, en el contexto de los concentradores solares, dará como resultado una transferencia desigual de energía al receptor presente en el área focal. Esto es menos eficaz, por lo tanto, que la disposición preferida, en la que el centro del área focal de cada grupo coincide con el centro de foco del elemento óptico.

- 40 En otra realización del primer aspecto de la invención, se proporciona un elemento óptico planar que no forma imágenes para un concentrador solar que comprende una pluralidad de grupos de microestructuras circulares y dispuestas concéntricamente alrededor de un punto central, cuyas microestructuras se disponen para refractar la luz incidente normal al plano del concentrador solar hacia el punto central, en el que:

el ángulo de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico dentro de cada grupo aumenta con el aumento de la distancia radial desde el punto central;

- 45 los ángulos de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico de cada uno de los grupos individuales se seleccionan de tal manera que formen un área focal común a todos los grupos en un plano focal del elemento óptico, cuando se ilumina por la luz incidente normal al plano del elemento óptico; y

- 50 los ángulos de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico de cada uno de los grupos individuales se seleccionan de tal manera que, cuando se iluminan por la luz incidente normal al plano del elemento óptico, la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro de un grupo dado y la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central dentro de un grupo dado se cruzan en un plano más cercano al elemento óptico que es el plano focal;

- 55 en el que al menos uno de los grupos de microestructuras se divide en un subgrupo de radio más pequeño y un subgrupo de radio más grande por una discontinuidad en el gradiente de los ángulos de las microestructuras de tal manera que ninguna de las microestructuras de cualquier subgrupo refracta normalmente la luz incidente sobre el centro de foco en el plano focal.

Preferiblemente, ninguna de las microestructuras de cualquier subgrupo refracta normalmente la luz incidente para que incida sobre un área que rodea el centro de foco en el plano focal que tiene un radio calculado como la distancia perpendicular entre el elemento óptico y el plano focal \times la tan de 0.275° .

5 Preferiblemente, dentro de cada subgrupo, el ángulo de deflexión en el radio más pequeño y en el radio más grande dentro de cada subgrupo hace que la luz incidente en cada uno de estos radios cruce en un plano más cercano al elemento óptico que es el plano focal.

10 Preferiblemente, los ángulos de deflexión de las microestructuras del subgrupo de radio más pequeño refractan normalmente la luz incidente de tal manera que cruza una línea que une el punto central del elemento óptico al centro de foco antes de que incida sobre el plano focal, y los ángulos de deflexión de las microestructuras del subgrupo de radio más grande refractan normalmente la luz incidente de tal manera que no cruzan una línea que une el punto central del elemento óptico al centro de foco antes de que incida sobre el plano focal.

Preferiblemente, el ángulo de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico dentro de cada subgrupo aumenta linealmente con el aumento de la distancia radial desde el punto central.

15 Preferiblemente, las microestructuras están en la forma de rejillas lineales en dientes de sierra. Es decir, cada subgrupo de microestructuras tiene una tasa constante de aumento del ángulo con respecto al plano de la lente (ángulo de prisma o ángulo de Fresnel), y entre cada grupo de microestructuras y en el subgrupo de microestructuras existe una discontinuidad escalonada normal al plano de la lente.

Preferiblemente, el elemento óptico del primer aspecto de la invención comprende además:

un sustrato transmisor de luz, y

20 una lámina de polímero de enfoque transmisor de luz que comprende una capa de adhesivo intercambiable, en la que la capa de adhesivo intercambiable adhiere la lámina de polímero de enfoque al sustrato, y en la que la lámina de polímero de enfoque comprende la pluralidad de grupos de microestructuras concéntricas y dispuestas circularmente. Como se describe en el documento WO 2017/149095, dicha disposición permite la producción a bajo coste de láminas de enfoque, utilizando el procesamiento de rollo a rollo, y el reemplazo de la película de polímero cuando se ha deteriorado por la exposición a las condiciones ambientales.

25 Preferiblemente, la lámina de polímero de enfoque es flexible, más preferiblemente capaz de ser enrollada. De forma adecuada, la lámina de polímero de enfoque comprende además un estabilizador UV. Sin embargo, en ciertas realizaciones, se prefiere que la lámina de polímero de enfoque no comprenda un estabilizador UV. Preferiblemente, el grosor de dicha lámina de polímero de enfoque es menor de $200\ \mu\text{m}$, más preferiblemente menor de $100\ \mu\text{m}$, incluso más preferiblemente menor de $50\ \mu\text{m}$ y lo más preferiblemente menor de $30\ \mu\text{m}$. En algunas realizaciones, es ventajoso formar un recubrimiento antirreflectante sobre la lámina de polímero de enfoque. Preferiblemente, el adhesivo intercambiable es uno cuya adherencia puede reducirse mediante la aplicación de calor, un solvente, presión o fuerza de deslaminación, o una combinación de los mismos. Preferiblemente, la capa de adhesivo intercambiable consiste en un adhesivo termoplástico, y el medio para intercambiar es el calentamiento del elemento óptico a al menos $80\ ^\circ\text{C}$.

Alternativa y preferiblemente, el elemento óptico comprende además:

40 un sustrato de vidrio transmisor de luz que tiene una superficie frontal sobre la cual incide la radiación electromagnética en uso y una superficie posterior opuesta a la superficie frontal; y un recubrimiento de silicón transmisor de luz sobre la superficie posterior y/o frontal del sustrato; en el que el recubrimiento de silicón ha formado sobre el mismo la pluralidad de grupos de microestructuras concéntricas y dispuestas circularmente, y

en el que la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio sobre el cual se forma el recubrimiento de silicón es/son rugosa(s). Como se describe en la Solicitud GB No 1820275.4, esta disposición evita el uso de adhesivo para montar la capa microestructurada al sustrato, y proporciona una estabilidad ambiental y UV mejorada del elemento óptico.

45 No se proporciona una capa adhesiva entre el recubrimiento de silicón y el sustrato de vidrio. Esto reduce el coste y la complejidad de la fabricación, y evita la posible degradación de una capa adhesiva inducida por la luz ultravioleta o la entrada de agua.

50 Preferiblemente, se proporciona una película protectora sobre el lado estructurado del recubrimiento de silicón, es decir, el lado del recubrimiento de silicón que no está en contacto con el sustrato de vidrio. De forma adecuada, la película protectora es una película termoplástica. De forma adecuada, la película protectora ha formado sobre la misma microestructuras que son la inversa de las microestructuras formadas sobre el recubrimiento de silicón, y que cooperan con las microestructuras sobre el recubrimiento de silicón.

Preferiblemente, el recubrimiento de silicón transmisor de luz se forma de una silicón para uso en exteriores. De forma adecuada, el recubrimiento de silicón transmisor de luz se forma de una resina de silicón líquida que es adecuada para la fundición. Preferiblemente, la silicón es de un tipo seleccionado del grupo que consiste en siloxanos

o polisiloxanos polimerizados. Preferiblemente, la silicona se selecciona del grupo que consiste en poldimetilsiloxanos (PDMS).

Preferiblemente, la rugosidad de superficie de la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio sobre el que se forma el recubrimiento de silicona transmisor de luz está en la forma de nanoestructuras que tienen una altura de hasta 800 nm, más preferiblemente 600 nm, lo más preferiblemente 400 nm. Preferiblemente, las nanoestructuras tienen una altura de 50 nm o más, preferiblemente 100 nm o más, lo más preferiblemente 200 nm o más. Preferiblemente, el valor R_z para las superficies(s) rugosa(s) está dentro del rango desde 50 nm hasta 800 nm, más preferiblemente desde 100 nm hasta 600 nm, lo más preferiblemente desde 200 nm hasta 400 nm. Preferiblemente, las estructuras tienen un ancho que es igual a su altura. Se puede proporcionar una rugosidad de superficie adecuada mediante una estructura de gradiente de índice de refracción grabada sobre el sustrato de vidrio. La rugosidad de superficie de un sustrato de vidrio que no está rugoso de acuerdo con la invención es típicamente menor de 5 nm, por ejemplo, que tiene un valor R_a de menos de 5 nm.

Preferiblemente, la relación de aspecto de las nanoestructuras es desde 0.5 hasta 1.

Preferiblemente, en donde solo se recubre una superficie del sustrato de vidrio con un recubrimiento de silicona transmisor de luz, la otra superficie del sustrato de vidrio se proporciona con un recubrimiento o tratamiento antirreflectante. Preferiblemente, el tratamiento antirreflectante es una estructura de gradiente de índice de refracción grabada sobre el sustrato de vidrio.

Preferiblemente, el vidrio se selecciona de vidrio de borosilicato, vidrio bajo en hierro, vidrio sin hierro o vidrio flotado. Es particularmente preferible utilizar vidrio bajo en hierro o vidrio sin hierro ya que la transmisión de luz a través del mismo es mayor, aumentando de esta manera la eficiencia del elemento óptico.

Preferiblemente, el sustrato de vidrio tiene un tamaño de al menos 0.5 m en ancho y/o longitud, en donde la superficie frontal y posterior del sustrato tienen una forma de cuadrilátero. Preferiblemente, el sustrato de vidrio tiene un área de superficie frontal mínima de 0.25 m². Preferiblemente, el sustrato de vidrio tiene un ancho y/o longitud de al menos 0.75 m. Preferiblemente, el sustrato de vidrio tiene un área de superficie frontal mínima de 0.5625 m². Preferiblemente, el sustrato de vidrio tiene un ancho y/o longitud de al menos 1 m. Preferiblemente, el sustrato de vidrio tiene un área de superficie frontal mínima de 1 m². Para un sustrato de 1 m x 1 m de ancho y longitud, un grosor adecuado sería desde 2 mm hasta 5 mm, tal como 3 mm. De forma adecuada, el sustrato de vidrio tiene un área máxima de 4 m², tal como un ancho de 2 m y una longitud de 2 m. Para un sustrato de 2 m x 2 m de ancho y longitud, un grosor adecuado sería desde 6 mm hasta 10 mm, tal como 8 mm.

En ciertas realizaciones de la invención se prefiere que la superficie posterior del sustrato de vidrio se recubra con el recubrimiento de silicona transmisor de luz. Sin embargo, en otras realizaciones, se prefiere que la superficie frontal del sustrato de vidrio se recubra con el recubrimiento de silicona transmisor de luz en lugar o además de la superficie posterior.

De forma adecuada, el elemento óptico puede comprender un segundo sustrato de vidrio transmisor de luz, que se puede colocar en frente de o detrás de (con referencia a la dirección prevista de la luz incidente) el primer sustrato de vidrio transmisor de luz. Preferiblemente, en donde el primer sustrato de vidrio transmisor de luz se proporciona con un recubrimiento de silicona transmisor de luz sobre la superficie posterior, el segundo sustrato de vidrio transmisor de luz se coloca detrás del primer sustrato de vidrio transmisor de luz. Preferiblemente, en donde el primer sustrato de vidrio transmisor de luz se proporciona con un recubrimiento de silicona transmisor de luz sobre la superficie frontal, el segundo sustrato de vidrio transmisor de luz se coloca en frente del primer sustrato de vidrio transmisor de luz. El segundo sustrato de vidrio transmisor de luz se puede colocar en contacto con el primer sustrato de vidrio transmisor de luz, o con el recubrimiento de silicona transmisor de luz sobre el primer sustrato de vidrio transmisor de luz. Alternativamente, se pueden proporcionar separadores adecuados entre los sustratos para mantener la separación deseada entre ellos. En cualquier caso, se puede utilizar un sellante adecuado para aislar los espacios entre el primer y segundo sustratos de vidrio transmisores de luz del entorno ambiental. De forma adecuada, se puede proporcionar un gas seco, tal como un gas inerte seco entre el primer y segundo sustratos de vidrio transmisores de luz. De forma adecuada, el segundo sustrato de vidrio transmisor de luz se forma de los mismos materiales y tiene el mismo tamaño como se describió anteriormente para el primer sustrato de vidrio transmisor de luz; preferiblemente el primer y segundo sustratos transmisores de luz se forman de los mismos materiales y tienen las mismas dimensiones. De forma adecuada, el segundo sustrato de vidrio transmisor de luz puede tener un recubrimiento antirreflectante sobre su cara frontal y/o cara posterior, que recubrimiento antirreflectante es preferiblemente como se describió anteriormente para el primer sustrato de vidrio transmisor de luz. De forma adecuada, el segundo sustrato de vidrio transmisor de luz puede comprender además un recubrimiento de silicona transmisor de luz que tiene microestructuras formadas en el mismo, sobre la cara frontal y/o la cara posterior del segundo sustrato de vidrio transmisor de luz; preferiblemente, el recubrimiento de silicona transmisor de luz es como se describió anteriormente para el primer sustrato de vidrio transmisor de luz. En una realización preferida, en donde el primer sustrato de vidrio transmisor de luz se proporciona con un recubrimiento de silicona transmisor de luz sobre la superficie posterior, el segundo sustrato de vidrio transmisor de luz se coloca detrás del primer sustrato de vidrio transmisor de luz y se proporciona con un recubrimiento de silicona transmisor de luz sobre la superficie frontal.

En un segundo aspecto, la presente invención proporciona un concentrador solar que comprende un elemento óptico de acuerdo con el primer aspecto de la invención.

De forma adecuada, el concentrador solar puede comprender más de un elemento óptico de acuerdo con la invención, tal como una matriz de elementos ópticos. De forma adecuada, cada elemento óptico puede enfocar la radiación incidente sobre un área focal asociada.

De forma adecuada, el concentrador solar comprende además uno o más colectores solares, o receptores, posicionados para recibir la radiación que pasa a través de y se enfoca en los elementos ópticos. El uno o más colectores solares se posicionan dentro del área focal asociada con cada elemento óptico comprendido en el concentrador solar. De forma adecuada, los colectores solares se pueden seleccionar cada uno de celdas fotovoltaicas o un intercambiador de calor dispuesto para ser calentado por la radiación solar incidente y para transferir ese calor a un fluido de transferencia de calor. De forma adecuada, cuando el colector solar es una celda fotovoltaica, el concentrador solar comprende además cableado y circuitos adecuados para transferir la energía eléctrica producida por la celda fotovoltaica a un consumidor adecuado de, o medio de almacenamiento de, energía eléctrica, tal como un circuito eléctrico doméstico o una batería. De forma adecuada, cuando el colector solar es un intercambiador de calor, el colector solar comprende además conductos adecuados para transportar el fluido de transferencia de calor a un consumidor de energía térmica o un medio de almacenamiento de energía térmica, tal como un generador de vapor, o un disipador de calor.

Preferiblemente, el concentrador solar comprende además un soporte para el uno o más elementos ópticos. Preferiblemente, el soporte mantiene el uno o más elementos ópticos en una orientación deseada. Cuando más de un elemento óptico está comprendido en el concentrador solar, preferiblemente el soporte mantiene la pluralidad de elementos ópticos en una relación deseada entre sí. De forma adecuada, la pluralidad de elementos ópticos se puede mantener en una matriz planar. Preferiblemente, el soporte se dispone de tal manera que se maximiza el área del uno o más elementos ópticos a través de la cual se puede transmitir y enfocar la radiación; por ejemplo, al menos 90 % del área de cada uno del uno o más elementos ópticos está disponible para transmitir y enfocar la radiación incidente. De forma adecuada, el soporte puede comprender dos o más vigas de soporte que se extienden en una dirección mutuamente paralela, por ejemplo, con sus ejes longitudinales alineados y separados a intervalos regulares, y preferiblemente con sus extremos proximales alineados entre sí y con sus extremos distales alineados entre sí, de tal manera que las dos o más vigas de soporte definen un plano cuadrilátero, tal como un plano rectangular o cuadrado.

Preferiblemente, el concentrador solar comprende además un montaje que permite que se ajuste la posición del uno o más elementos ópticos con respecto a la radiación incidente, preferiblemente permite que el uno o más elementos ópticos se coloquen de tal manera que la radiación incidente sea ortogonal al plano del uno o más elementos ópticos. De forma adecuada el montaje puede comprender una junta giratoria. Cuando se incluye un soporte en el concentrador solar, el montaje se fija de forma adecuada al soporte y permite que se ajuste la posición del soporte. Preferiblemente, el montaje comprende además un rastreador solar que actúa para ajustar la posición del uno o más elementos ópticos con respecto a la radiación incidente para mantener la radiación incidente ortogonal (o lo más cerca posible de la ortogonal) al plano del uno o más elementos ópticos durante un periodo de dos o más horas, tal como tres o más horas, cuatro o más horas, seis o más horas, tal como ocho o más horas, tal como 12 o más horas.

En un tercer aspecto, la presente invención proporciona un método para la fabricación de un elemento óptico de acuerdo con el primer aspecto de la invención, el método comprende

(a) proporcionar un sustrato;

(b) formar una capa microestructurada sobre el sustrato en el que las microestructuras de la capa microestructurada son la pluralidad de grupos de microestructuras circulares y dispuestas concéntricamente del elemento óptico del primer aspecto de la invención.

Preferiblemente, como se describe en la Solicitud GB No 1820275.4, el método comprende las etapas de:

(a) proporcionar un primer sustrato de vidrio transmisor de luz que tiene una superficie frontal sobre la cual incide la radiación electromagnética en uso y una superficie posterior opuesta a la superficie frontal;

(b) aplicar una resina de silicona líquida a la superficie posterior y/o frontal del sustrato de vidrio;

(c) poner en contacto la resina de silicona líquida con un molde de tal manera que la resina de silicona líquida adopte la forma del molde y forme la capa microestructurada que se extiende sobre la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio al que se ha aplicado la resina de silicona líquida;

(d) curar la resina de silicona líquida para formar una capa de silicona transmisora de luz microestructurada;

en la que la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio a las que se aplica la resina de silicona líquida es/son rugosa(s).

Preferiblemente, la rugosidad de superficie de la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio a las que se aplica la resina de silicona líquida está en la forma de nanoestructuras que tienen una altura de hasta 800 nm, más preferiblemente 600

- nm, lo más preferiblemente 400 nm. Preferiblemente, las nanoestructuras tienen una altura de 50 nm o más, preferiblemente 100 nm o más, lo más preferiblemente 200 nm o más. Preferiblemente, el valor R_z para la superficie rugosa está dentro del rango desde 50 nm hasta 800 nm, más preferiblemente desde 100 nm hasta 600 nm, lo más preferiblemente desde 200 nm hasta 400 nm. Preferiblemente, las estructuras tienen un ancho que es igual a su altura.
- 5 Se puede proporcionar una rugosidad de superficie adecuada mediante una estructura de gradiente de índice de refracción grabada sobre el sustrato de vidrio.
- Preferiblemente, después de la etapa (a) y antes de la etapa (b) el método comprende además la etapa de formar nanoestructuras sobre la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio a las que se aplica la resina de silicona líquida. Preferiblemente, la rugosidad de superficie de la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio a las que se aplica la resina de silicona líquida está en la forma de nanoestructuras que tienen una altura de hasta 800 nm, más preferiblemente 600 nm, lo más preferiblemente 400 nm. Preferiblemente, las nanoestructuras tienen una altura de 50 nm o más, preferiblemente 100 nm o más, lo más preferiblemente 200 nm o más. Preferiblemente, la etapa de nanoestructuración comprende grabar una estructura de gradiente de índice de refracción sobre la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio a las que se aplica la resina de silicona líquida. De forma adecuada, el grabado es una etapa de grabado en plasma.
- 10
- 15 Preferiblemente, en donde solo una de las superficies del sustrato de vidrio se va a recubrir con la resina de silicona líquida, la otra superficie del sustrato de vidrio se proporciona con un recubrimiento o tratamiento antirreflectante. De forma adecuada, después de la etapa (a) y antes de la etapa (b), el método comprende además la etapa de aplicar un recubrimiento antirreflectante o tratamiento antirreflectante a esta superficie del sustrato de vidrio.
- Preferiblemente, el sustrato de vidrio tiene un tamaño de al menos 0.5 m en ancho y/o longitud, en donde la superficie frontal y posterior del sustrato tienen una forma de cuadrilátero. Preferiblemente, el sustrato de vidrio tiene un área de superficie frontal mínima de 0.25 m². Preferiblemente, el sustrato de vidrio tiene un ancho y/o longitud de al menos 0.75 m. Preferiblemente, el sustrato de vidrio tiene un área de superficie frontal mínima de 0.5625 m². Preferiblemente, el sustrato de vidrio tiene un ancho y/o longitud de al menos 1 m. Preferiblemente, el sustrato de vidrio tiene un área de superficie frontal mínima de 1 m². Para un sustrato de 1 m x 1 m de ancho y longitud, un grosor adecuado sería desde 2 mm hasta 5 mm, tal como 3 mm. De forma adecuada, el sustrato de vidrio tiene un área máxima de 4 m², tal como un ancho de 2 m y una longitud de 2 m. Para un sustrato de 2 m x 2 m de ancho y longitud, un grosor adecuado sería desde 6 mm hasta 10 mm, tal como 8 mm. Preferiblemente, el sustrato de vidrio es planar, dentro de las tolerancias de fabricación; una desviación desde la no planaridad de 0.5 a 5 grados es aceptable en uso en un concentrador solar.
- 20
- 25
- 30 De forma adecuada, en la etapa (b), la aplicación de la resina de silicona líquida se lleva a cabo por cualquier método adecuado conocido en la técnica para proporcionar una capa de líquido sobre una superficie. Por ejemplo, se puede utilizar recubrimiento por rotación (si lo permite el tamaño del sustrato) o recubrimiento con cuchilla. Preferiblemente, sin embargo, una o más gotitas, acumulaciones o áreas de resina de silicona líquida se aplican a la superficie sin ninguna dispersión activa de una o más gotitas, acumulaciones o áreas en una capa continua durante la etapa de aplicación (b).
- 35
- De forma adecuada, en la etapa (c), el molde puede tomar cualquier forma adecuada o se puede elaborar de cualquier material adecuado capaz de formar la resina de silicona líquida en la capa microestructurada que se extiende sobre la(s) superficie(s) elegida(s) del sustrato de vidrio. Por ejemplo, el molde puede ser un sello o un rodillo estructurado. El molde puede ser de material plástico, metal, vidrio o cerámica, y puede ser flexible o rígido.
- 40
- 45 Preferiblemente, el molde es una película termoplástica, en una de cuyas superficies se han formado microestructuras que son la inversa de las microestructuras que, cuando se adoptan por la resina de silicona líquida, forman la capa microestructurada. Preferiblemente, la película termoplástica es flexible, por ejemplo, de tal manera que se puede desprender de la superficie del recubrimiento de silicona después de curado. Particular preferiblemente, la película termoplástica se puede seleccionar de película de polipropileno y película de polietileno. Preferiblemente, el grosor de la película termoplástica puede ser desde 40 μm hasta 200 μm. Preferiblemente, la película termoplástica tiene un ancho y longitud que es mayor que o igual a aquel del sustrato de vidrio utilizado. Preferiblemente, el molde comprende además una lámina portadora sobre la cual es soportada la película termoplástica.
- Preferiblemente, en la etapa (c), el contacto de la resina de silicona líquida con el molde comprende presionar la superficie de la película termoplástica sobre la cual se forman las microestructuras contra la resina de silicona líquida con el fin de que la resina de silicona líquida adopte la forma de las microestructuras. Preferiblemente, presionar la película termoplástica contra la resina de silicona líquida se lleva a cabo utilizando un rodillo. Preferiblemente, la presión de la película termoplástica contra la resina de silicona líquida también difunde la resina de silicona líquida, particularmente en donde la resina de silicona líquida se aplicó en la etapa (b) como una o más gotitas, acumulaciones o áreas de resina de silicona líquida sobre la superficie del sustrato, para formar un recubrimiento continuo que se extiende sobre la(s) superficie(s) elegida(s) del sustrato de vidrio.
- 50
- 55
- Preferiblemente, en la etapa (d), el curado se lleva a cabo utilizando una combinación de temperatura y tiempo. Por ejemplo, dependiendo de la resina de silicona líquida seleccionada, las condiciones de curado pueden ser 24 horas a temperatura ambiente, tal como a 20 °C, 10 horas a 40 °C, o 1 hora a 70 °C. El experto en la técnica entenderá que se puede encontrar un equilibrio entre la temperatura de curado y el tiempo de curado para una resina dada

dependiendo de los requisitos del proceso; por ejemplo, la disponibilidad de un aparato de calentamiento adecuado o el tiempo disponible para el curado. Preferiblemente, el curado no comprende el uso de radiación UV para iniciar el proceso de curado.

- 5 De forma adecuada, después de la etapa de curado (d), y cuando el molde está en la forma de un sello, una película termoplástica, u otra forma adecuada, el molde se puede dejar en su lugar sobre el recubrimiento de silicona transmisor de luz curado para que actúe como una capa protectora para el recubrimiento antes de uso como un elemento óptico. Esto es particularmente preferible cuando el molde es una película termoplástica, o una película termoplástica soportada sobre una lámina portadora, como se describió anteriormente.

De forma adecuada, el método comprende la etapa adicional de:

- 10 (e) retirar el molde de la capa o recubrimiento de silicona transmisora de luz microestructurada.

Preferiblemente, la etapa de retiro (e), en donde el molde es una película termoplástica como se describió anteriormente, comprende el desprendimiento de la película termoplástica del recubrimiento de silicona.

Alternativa y preferiblemente, y como se describe en el documento WO 2017/149095, el método comprende las etapas de:

- 15 (a) proporcionar un sustrato transmisor de luz;

(b) proporcionar una lámina de polímero de enfoque transmisora de luz que comprende una capa de adhesivo intercambiable, en la que la lámina de polímero de enfoque comprende la capa microestructurada;

(c) aplicar la capa de adhesivo intercambiable al sustrato de tal manera que la lámina de polímero de enfoque se adhiera al sustrato mediante la capa de adhesivo intercambiable.

- 20 El método puede comprender además la fabricación de la lámina de polímero de enfoque, en cuyo caso se llevan a cabo las siguientes etapas antes de las etapas (a) a (c) anteriores:

formar una película de polímero fundida;

- 25 laminar la película de polímero fundida a una lámina portadora mientras se aplica estructuración a la película de polímero fundida en la forma de los grupos de microestructuras circulares y dispuestas concéntricamente del elemento óptico del primer aspecto de la invención;

aplicar una capa de adhesivo intercambiable a la película de polímero estructurada.

En un cuarto aspecto, la presente invención proporciona un método para la fabricación de un concentrador solar, que comprende las etapas de:

- 30 (i) proporcionar uno o más elementos ópticos para un concentrador solar, el uno o más elementos ópticos comprende una pluralidad de grupos de microestructuras circulares y dispuestas concéntricamente alrededor de un punto central, cuyas microestructuras se disponen para refractar la luz incidente normal al plano del concentrador solar hacia el punto central, en el que:

el ángulo de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico dentro de cada grupo aumenta con el aumento de la distancia radial desde el punto central;

- 35 los ángulos de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico de cada uno de los grupos individuales se seleccionan de tal manera que formen un área focal común a todos los grupos en un plano focal del elemento óptico, cuando se ilumina por la luz incidente normal al plano del elemento óptico; y

- 40 los ángulos de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico de cada uno de los grupos individuales se seleccionan de tal manera que, cuando se iluminan por la luz incidente normal al plano del elemento óptico, la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro de un grupo dado y la luz refractada desde la distancia radial más grande dentro de un grupo dado se cruzan en un plano más cercano al elemento óptico que es el plano focal;

(ii) disponer el uno o más elementos ópticos cada uno para enfocar la radiación solar sobre un área focal;

(iii) colocar un colector de energía solar en la o cada área focal.

- 45 Preferiblemente, el uno o más elementos ópticos cada uno está de acuerdo con el primer aspecto de la invención. Preferiblemente, el concentrador solar está de acuerdo con el segundo aspecto de la invención. Preferiblemente, el método comprende además la fabricación del uno o más elementos ópticos de acuerdo con el cuarto aspecto de la invención. En donde se utiliza el elemento óptico de acuerdo con el primer aspecto de la invención y comprende una película protectora sobre el lado estructurado del recubrimiento de silicona transmisor de luz, el método
50 preferiblemente comprende además la etapa de retirar la película protectora antes de la etapa ii).

En un quinto aspecto, la presente invención proporciona un molde para uso en la fabricación de un elemento óptico de acuerdo con el cuarto aspecto de la invención, en el que el elemento óptico comprende:

un sustrato de vidrio transmisor de luz que tiene una superficie frontal sobre la cual incide la radiación electromagnética en uso y una superficie posterior opuesta a la superficie frontal; y

- 5 un recubrimiento de silicona transmisor de luz sobre la superficie posterior y/o frontal del sustrato; en el que el recubrimiento de silicona ha formado sobre el mismo la pluralidad de grupos de microestructuras concéntricas y dispuestas circularmente del elemento óptico del primer aspecto de la invención, y

en el que la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio sobre el cual se forma el recubrimiento de silicona es/son rugosa(s);

- 10 en el que el molde es para conformar una resina de silicona líquida sobre un sustrato de vidrio, y en el que el molde es una película termoplástica, en una de cuyas superficies se han formado microestructuras que son la inversa de las microestructuras que, cuando se adoptan por el recubrimiento de silicona, proporcionan la pluralidad de grupos de microestructuras concéntricas y dispuestas circularmente.

- 15 En un sexto aspecto, la presente invención proporciona el uso de un elemento óptico del primer aspecto de la invención, o un concentrador solar del segundo aspecto de la invención, en una planta de energía solar. Preferiblemente, el uso es para mejorar la seguridad de una planta de energía solar, mediante el reemplazo de un elemento óptico convencional de la técnica anterior, tal como una lente de Fresnel que forma imágenes o una lente de Fresnel que no forma imágenes, con un elemento óptico de acuerdo con el primer aspecto de la invención, o mediante el reemplazo de un concentrador solar que comprende elementos ópticos convencionales de la técnica anterior con un concentrador solar de acuerdo con el segundo aspecto de la invención.

- 20 En otros aspectos, el elemento óptico se puede utilizar para otras aplicaciones que no sean para un concentrador solar donde se desea enfocar la luz de manera segura, ya sea con o sin formación de imágenes, y en donde las microestructuras se disponen como se describió anteriormente para producir un plano focal del grupo o planos entre el plano de la lente y el plano que forma imágenes, de tal manera que la luz diverge cuando cruza el plano focal.

- 25 Todas las características descritas en relación con cualquier aspecto de la invención se pueden utilizar con cualquier otro aspecto de la invención, en la medida en que no sean incompatibles entre sí.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 muestra un gráfico de la variación del ángulo de Fresnel de las microestructuras de un elemento óptico con distancia radial desde el centro de foco, para una lente de Fresnel que forma imágenes (línea suave negra) y para una lente de Fresnel que no forma imágenes (línea escalonado azul).

- 30 La Figura 2 muestra una representación diagramática del comportamiento de la luz incidente sobre una lente de Fresnel que forma imágenes.

La Figura 3 muestra una representación diagramática del comportamiento de la luz incidente sobre una lente de Fresnel que no forma imágenes.

- 35 La Figura 4 muestra una fotografía de la cubierta exterior de plástico de una caja de control de un colector solar, que se ha fundido y quemado como resultado de un punto focal no deseado que incide sobre esta, dicho punto focal no deseado se generó por la luz solar que incide sobre un colector solar de la técnica anterior no normal al plano del colector.

- 40 La Figura 5 muestra un gráfico de la variación del ángulo de deflexión de las microestructuras de un elemento óptico con distancia radial desde el centro de foco, para una lente de Fresnel que forma imágenes (línea negra) y para un elemento óptico de la invención (línea escalonada azul).

La Figura 6 muestra un gráfico de la variación del ángulo de Fresnel de las microestructuras de un elemento óptico con distancia radial desde el centro de foco, para una lente de Fresnel que forma imágenes (línea negra) y para un elemento óptico de la invención (línea escalonada azul).

- 45 La Figura 7 muestra una representación diagramática del comportamiento de la luz incidente sobre un elemento óptico planar de acuerdo con una realización preferida de la invención.

La Figura 8 muestra un gráfico de la variación del ángulo de Fresnel de las microestructuras de un elemento óptico de acuerdo con la realización de la invención mostrada en la Figura 7 con distancia radial desde el centro de foco.

La Figura 9 muestra una representación diagramática del comportamiento de la luz incidente sobre un elemento óptico planar de acuerdo con una realización alternativa de la invención.

- 50 La Figura 10 muestra una representación diagramática del comportamiento de la luz incidente sobre un elemento óptico planar de acuerdo con una realización alternativa adicional de la invención.

La Figura 11 muestra un gráfico de la variación del ángulo de Fresnel de las microestructuras de un elemento óptico de acuerdo con una realización preferida de la invención con distancia radial desde el centro de foco.

La Figura 12 muestra una representación diagramática del comportamiento de la luz incidente sobre un elemento óptico planar de acuerdo con la realización de la invención de la Figura 11.

5 La Figura 13 muestra una representación en sección transversal que muestra la construcción de un elemento óptico de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 14 muestra una representación en sección transversal que muestra la construcción de un elemento óptico de acuerdo con una realización de la invención.

10 La Figura 15 muestra esquemáticamente un método para la fabricación de un elemento óptico de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 16 muestra esquemáticamente un concentrador solar de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 17 muestra el aparato para la fabricación de un molde para formar las microestructuras en una realización del elemento óptico de la invención.

15 El concepto general de la presente invención es dividir los prismas de refracción (microestructuras) del elemento óptico en grupos que tienen cada uno una distancia focal más corta que una lente de Fresnel convencional, como se muestra en las figuras 7, 9 y 10. Utilizando este principio, la luz divergirá cuando pase el área 518 focal común como se muestra en las figuras 7, 9 y 10. Por lo tanto, los puntos 516 focales no deseados más alejados que el plano 506 focal serán significativamente más débiles que para una lente de Fresnel normal en que la luz no normal refractada por rejillas vecinas puede converger a distancias mayores que la profundidad focal ideal. Por ejemplo, como se muestra en la
20 Figura 16, la lente y los receptores solares normalmente se montarán en un marco que se puede mover para alinearlos con la luz solar incidente. Los receptores solares están por lo tanto en una posición más alta en comparación con el suelo 514. Dicho de otra manera, el suelo está más lejos del plano 504 de la lente que los receptores, de tal manera que cualquier luz no normal que "pierde" los receptores tendrá que viajar más antes de que incida en el suelo, en donde crea áreas focales no deseadas. Sin embargo, debido a la luz divergente, tendrá menos intensidad cuando
25 incida sobre el suelo que sobre el receptor (en comparación con las áreas 512 focales no deseadas en la lente convencional de la Figura 3), y por lo tanto estas áreas focales no deseadas son inherentemente más seguras.

30 Esto se hace haciendo bandas de rejillas de Fresnel (grupos de microestructuras) en las que el ángulo aumenta más abruptamente con un mayor radio en relación con una lente de Fresnel que forma imágenes. Esto da como resultado que la luz de cada banda (grupo) diverja poco después del plano del elemento óptico (véase las figuras 7, 9 y 10: la luz diverge después del plano focal del grupo). En la transición desde un grupo al siguiente, se produce un cambio discontinuo de ángulo para que el siguiente grupo enfoque la luz sobre el área focal.

35 Para crear una estructura con el principio descrito, en una realización preferida de la invención, el ángulo del prisma dentro de cada grupo diferirá del ángulo de Fresnel ideal de la siguiente manera; en la parte interna (radio más pequeño) del grupo, el ángulo de los prismas (microestructuras) será menor que para una lente de Fresnel de imagen, y para la parte externa (radio mayor) los ángulos de prisma serán mayores que para una lente de Fresnel convencional. Por lo tanto, el ángulo de deflexión de las microestructuras cerca del centro de la lente (es decir, donde r es pequeño) es menor dentro de cada grupo de microestructuras n , $n+1$, ... que el ideal, y el ángulo de deflexión de las microestructuras adicionales desde el centro de la lente (r es más grande) es mayor dentro de cada grupo de microestructuras. A valores intermedios de r , el cambio del ángulo de deflexión dentro de cada grupo de
40 microestructuras es muy similar al de una lente de Fresnel ideal. Esto se ilustra en la Figura 5 (comparar "técnica anterior" 560 con "invención" 550). Para lograr esto, el ángulo de Fresnel para las microestructuras dentro de cada grupo se cambia en comparación con la lente de Fresnel ideal, como se muestra en la Figura 6 (comparar "técnica anterior" 580 con "invención" 570): el ángulo de prisma de los grupos de microestructuras más cercanas al centro de la lente (es decir, donde r es pequeño) es menor dentro de cada grupo de microestructuras n , $n+1$, ... que en la lente de Fresnel ideal, y el ángulo de prisma de las microestructuras adicionales del centro de la lente (r es grande) es mayor dentro de cada grupo de microestructuras en comparación con una lente de Fresnel convencional. En valores intermedios de r , el ángulo del prisma dentro de cada grupo de microestructuras es muy similar al de una lente de Fresnel ideal. Como se indica a continuación, también se pueden utilizar otros rangos de ángulo de prisma para lograr el efecto de la invención.

45 La selección del ángulo de las microestructuras para cada grupo de tal manera que el ángulo aumenta con el aumento de la distancia radial desde el punto central resulta en la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro de un grupo dado y la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central dentro de un grupo dado que cruza en un plano más cercano al elemento óptico que el plano focal. Esto hace que la luz que se refracta desde cada uno de dichos grupos diverja antes del plano focal. De acuerdo con lo anterior, la luz
50 incidente sobre el plano focal es divergente, en lugar de convergente como es convencional para los elementos ópticos en los concentradores solares. En ciertas realizaciones de la invención, la luz refractada desde un grupo dado de microestructuras se cruzará en un plano que se encuentra entre el plano del elemento óptico y el plano focal, cuyo plano se denomina en el presente documento como el plano de foco del grupo.

La selección de los ángulos de las microestructuras de cada uno de los grupos individuales para formar un área focal común en el plano focal cuando se ilumina por la luz incidente normal al plano del elemento óptico resulta en la luz que es normalmente incidente sobre el elemento óptico y refractada desde cada grupo que coincide en el área focal, que incluye el centro de foco, y por lo tanto, la luz que se concentra sobre el área focal, a pesar de la luz de cada grupo se diverge en el plano focal. Sin embargo, en contraste, para la luz incidente no normal, las regiones en las que esta luz incide sobre el plano focal no coinciden y, por lo tanto, la luz incidente sobre el plano focal que se origina a partir de la luz incidente no normal sobre el elemento óptico se difunde sobre un área relativamente amplia, reduciendo de esta manera la energía incidente en cualquier parte particular del plano focal que no sea el área focal deseada. En consecuencia, se reduce la probabilidad de daño por calor o fuego a los artículos que están ubicados en o alrededor del plano focal pero fuera del área focal deseada. En el contexto de un concentrador solar, por lo tanto, el receptor, que se coloca en el área focal común, se ilumina con varios haces de luz coincidentes, cada uno de los cuales es divergente en el área focal, mientras que otras áreas debajo del concentrador solar no se calientan excesivamente y no se obtienen puntos de calor resultantes de la luz que incide sobre el elemento óptico desde un ángulo no normal.

Además, los puntos en los que cruza la luz refractada por el elemento óptico son diferentes para cada grupo de microestructuras y, por lo tanto, minimizan la probabilidad de que se formen puntos de calor de intensidad dañina entre el elemento óptico y el plano focal.

Preferiblemente, el ángulo de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico dentro de cada grupo aumenta linealmente con el aumento de la distancia radial desde el punto central. Esto maximiza la divergencia de la luz desviada por cada grupo y, por lo tanto, se prefiere desde el punto de vista de reducir la probabilidad de que se formen puntos de calor y, por lo tanto, la seguridad.

Preferiblemente, el elemento óptico está en la forma de una lente de Fresnel. Preferiblemente, las microestructuras son microestructuras de Fresnel.

Preferiblemente, las microestructuras están en la forma de rejillas lineales en dientes de sierra. Es decir, cada grupo de microestructuras tiene una tasa constante de aumento del ángulo con respecto al plano de la lente (ángulo de prisma o ángulo de Fresnel), y entre cada grupo de microestructuras existe una discontinuidad escalonada normal al plano de la lente.

El elemento óptico planar de la invención preferiblemente no tiene una geometría macroscópicamente convexa en ninguna de las superficies, ni comprende estructuras adicionales tales como microlentes sobre ninguna de las superficies. Por lo tanto, el elemento óptico de la invención proporciona un elemento óptico ligero y de construcción sencilla que se puede fabricar a bajo coste, tal como mediante métodos de procesamiento de rollo a rollo y utilizando películas de polímero.

Preferiblemente, el punto en el que la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central del elemento óptico dentro de un grupo dado cruza el plano focal y el punto en el que la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central del elemento óptico dentro de un grupo dado cruza el plano focal están más separadas que la distancia entre la distancia radial más pequeña desde el punto central y la distancia radial más grande desde el punto central del elemento óptico dentro de ese grupo. Esto hace que se cruce el plano en el que la luz refractada desde las distancias radiales más grandes y más pequeñas desde el punto central dentro del mismo grupo, para estar más cerca al plano del elemento óptico que al plano focal. Esto aumenta el grado de divergencia de la luz refractada desde cada grupo, y por lo tanto, reduce el riesgo de formación de puntos focales no deseados, ya que estos no se pueden formar más cerca al elemento óptico que el plano en el que se cruza la luz refractada desde las distancias radiales más grandes y más pequeñas desde el punto central dentro del mismo grupo.

Preferiblemente, el plano en el que la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central del elemento óptico dentro de un grupo dado cruza la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central del elemento óptico dentro del mismo grupo está más cerca al plano del elemento óptico que X veces la distancia focal del elemento óptico, en donde X es menor que 1, preferiblemente menor que 0.9, más preferiblemente menor que 0.8, aún más preferiblemente menor que 0.7, tal como menor que 0.6, más preferiblemente menor que 0.5, aún más preferiblemente menor que 0.4, tal como menor que 0.3, más preferiblemente menor que 0.2, aún más preferiblemente menor que 0.1. La distancia focal del elemento óptico es la distancia, medida normal al plano del elemento óptico, entre el elemento óptico y el plano focal. De nuevo, cuanto más cercano esté al plano en el que la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central del elemento óptico dentro de un grupo dado cruza la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central del elemento óptico dentro del mismo grupo al elemento óptico, mayor será la divergencia de la luz refractada dentro de cada grupo, y menor será el riesgo de formación de puntos focales no deseados capaces de un calentamiento intenso.

Preferiblemente, el área focal se centra sobre el centro de foco.

El elemento óptico comprende un punto central en radio $r = 0$, con r que aumenta con la distancia en aumento desde el punto central. La proyección del punto central normalmente al plano del elemento óptico sobre el plano focal resulta en el centro de foco. Los grupos de microestructuras etiquetados n , $n+1$, $n+2$ etc. se disponen concéntricamente alrededor del punto central, la distancia radial más pequeña desde el punto central $r = 0$ al grupo de microestructuras

n es r_{n+r} , al grupo de microestructuras $n+1$ es r_{n+1} , y así sucesivamente. El ancho radial de cada grupo de microestructuras es igual a $2x$; es decir, la distancia radial entre r , y r_{n+1} es $2x_n$, que entre r_{n+1} y r_{n+2} es $2x_{n+1}$, y así sucesivamente. Mientras que en las Figuras X_n es igual a x_{n+1} , el lector experto comprenderá que ese no tiene por qué ser necesariamente el caso, y los ángulos de las microestructuras de los grupos se pueden ajustar para permitir diferentes anchos de grupo. Cada grupo de microestructuras tiene la forma de una rejilla lineal en dientes de sierra y, por lo tanto, en sección transversal tiene una forma generalmente triangular en ángulo recto con una faceta vertical (normal al plano del elemento óptico) en la extensión radialmente exterior del grupo, un borde horizontal paralelo al plano del elemento óptico y una faceta en ángulo que se orienta hacia la luz incidente en uso y que está inclinada para refractar la luz que normalmente incide sobre el elemento óptico en uso hacia el centro de foco.

- 5
- 10 La faceta en ángulo de cada grupo de microestructuras estará en un ángulo diferente con respecto al plano del elemento óptico, y los ángulos en cada caso se seleccionan para resultar, en uso, en luz normalmente incidente sobre el elemento óptico que se dirige hacia un área focal en el plano focal. Los ángulos de la faceta en ángulo de cada grupo de microestructuras se escogen con referencia al ángulo de Fresnel requerido por una lente de Fresnel que forma imágenes para dirigir la luz normalmente incidente hacia el centro de foco. Dentro del ancho radial de un grupo
- 15 de microestructuras n , es decir, r_n a r_n+2x_n , el ángulo de Fresnel de las microestructuras en un valor de r dentro del rango r_n a r_n+2x_n usualmente será igual al ángulo de Fresnel requerido por una lente de Fresnel que forma imágenes para dirigir la luz normalmente incidente hacia el centro de foco en el mismo valor de r .

20 El hecho de que el ángulo de la faceta en ángulo de las microestructuras aumente con el aumento de la distancia radial r desde el punto central del elemento óptico a $r=0$, y lo haga linealmente a una tasa mayor que la que se observa para una lente de Fresnel que forma imágenes para el mismo rango de distancia radial desde el punto central, resulta, en uso, en luz normalmente incidente hacia ese grupo de microestructuras que se refracta de tal manera que la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro de un grupo dado (r_n) y la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central dentro de un grupo dado (r_n+2x_n) se cruza en un plano más cercano al elemento óptico que al plano focal. Esto hace que la luz que se refracta desde cada uno de dichos grupos diverja antes del plano focal. Es decir, la luz refractada desde un grupo dado de microestructuras se cruzará en uno o más planos que se encuentran entre el plano del elemento óptico y el plano focal.

30 Preferiblemente, para cada grupo de microestructuras que abarca una distancia radial r a $r+2x$, se crea el diseño del elemento óptico al establecer el ángulo de las microestructuras igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal a una distancia radial de $r+x$. Cuando se hace esto, se realiza la selección del ángulo de las microestructuras para cada grupo de tal manera que el ángulo aumenta con el aumento de la distancia radial desde el punto central que resulta en la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro de un grupo dado que cruza el plano focal sin haber cruzado la línea normal al plano del elemento óptico y conectar el punto central del elemento óptico al centro del foco, y la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central dentro de un grupo dado que cruza el plano focal después de haber cruzado la línea normal al plano

35 del elemento óptico y conectar el punto central del elemento óptico al centro del foco. En combinación con la selección de los ángulos de las microestructuras de cada uno de los grupos individuales para formar un área focal común en el plano focal cuando se ilumina por la luz incidente normal al plano del elemento óptico, resulta en la luz que es normalmente incidente sobre el elemento óptico y se refracta desde cada grupo que se distribuye a través del área focal.

40 En la Figura 7, se representa un elemento óptico en el que se crea el diseño al establecer, dentro de cada grupo de microestructuras, el ángulo en un radio de $r+x$ igual al ángulo de Fresnel requerido por una lente de Fresnel que forma imágenes para dirigir la luz normalmente incidente hacia el centro de foco en un radio de $r+x$. Como se puede ver a partir de la Figura 7, esto resulta en un área focal común a todos los grupos de microestructuras que se centra sobre el centro de foco del elemento óptico, y en el que la mitad de la luz normalmente incidente refractada por cada grupo de microestructuras cruza el centro de foco y la otra mitad no. Por lo tanto, la luz incidente sobre el área focal en cada

45 lado del centro de foco comprende luz que es incidente sobre el elemento óptico en ambos lados del punto central del elemento óptico.

50 El resultado del cambio en las microestructuras del elemento óptico se puede ver en la Figura 7. Cada grupo de microestructuras en el elemento óptico se dispone para enfocar la luz incidente a una línea de foco anular separada en el plano de foco del grupo, que se encuentra frente al plano focal en el que se encuentra el receptor. Para la luz incidente normal, mostrada a la izquierda de la Figura, la luz enfocada diverge una vez más después de haber pasado a través del plano de foco del grupo y produce un área focal en el plano focal en el que la luz de cada grupo de microestructuras n , $n+1$, ... da como resultado áreas focales que son coincidentes, concentrando de esta manera la luz sobre el área focal deseada, por ejemplo, para calentar un receptor lleno de fluido de transferencia de calor. Sin embargo, para la luz incidente no normal, la luz desde cada grupo de microestructuras n , $n+1$, ... converge a una línea de foco separada en el plano de foco del grupo y luego diverge para producir áreas focales separadas en el plano focal. Por lo tanto, las áreas focales resultantes tanto desde la luz incidente normal como desde la luz incidente no normal no son focos nítidos, como para una lente de Fresnel que forma imágenes, sino que son más difusos. Las áreas focales resultantes desde la luz incidente normal son coincidentes y por lo tanto provocan el calentamiento deseado del receptor colocado en el área focal; sin embargo, las áreas focales resultantes de la luz incidente no normal no son coincidentes y, por lo tanto, el calentamiento provocado en cualquier punto particular del plano focal se reduce en comparación con el provocado por la luz incidente no normal sobre una lente de Fresnel que forma imágenes. De

60

acuerdo con lo anterior, la probabilidad de daños o incendios causados por focos o áreas focales no deseadas de la luz no normal que incide sobre el elemento óptico se reduce significativamente en comparación con el uso de una lente de Fresnel convencional que forma imágenes o no forma imágenes.

5 El elemento óptico se puede construir de tal manera que el plano de foco del grupo sea más cercano al elemento óptico que al plano focal, equidistante entre ellos, o más cercano al plano focal que el elemento óptico. Cuanto más cerca esté al plano de foco del grupo del elemento óptico, más seguro será el elemento óptico, ya que las áreas focales no deseadas serán más difusas en el plano focal al aumentar la distancia entre el plano de foco del grupo y el plano focal. Sin embargo, aumentar la distancia entre el plano de foco del grupo y el plano focal también provoca la ampliación del área focal producida por la luz incidente normal al plano del elemento óptico. El ancho del área focal se puede adaptar al ajustar el ancho de los grupos n , $n+1$, ... Cuando los grupos se hacen más estrechos, el elemento óptico comprende más grupos y esto produce un área focal más estrecha.

15 La Figura 5 muestra la variación del ángulo de deflexión de los grupos de microestructuras como función del radio, y la Figura 6 muestra la variación del ángulo de Fresnel de los grupos de microestructuras como función del radio (línea escalonada) para un elemento óptico como se muestra en la Figura 7 en comparación con aquella para una lente de Fresnel que forma imágenes (línea suave). Además, la Figura 8 también muestra la variación del ángulo de Fresnel de los grupos de microestructuras con radio, con los grupos de microestructuras n , $n+1$, $n+2$, $n+3$ etiquetados junto con sus rangos radiales, a saber, que el grupo n se extiende desde el radio r_n hasta r_n+2x_n ; el grupo $n+1$ se extiende desde el radio r_{n+1} (que es igual a r_n+2x_n) hasta $r_{n+1}+2x_{n+1}$; el grupo $n+2$ se extiende desde el radio r_{n+2} (que es igual a $r_{n+1}+2x_{n+1}$) hasta $r_{n+2}+2x_{n+2}$; y así sucesivamente. A lo largo de la línea del gráfico, las cruces indican (esquemáticamente y no a escala) las microestructuras o prismas individuales que juntos forman el grupo de microestructuras. Típicamente, el ancho de cada microestructura o prisma será 75 a 250 μm .

25 Se puede ver a partir de la Figura 5 que el ángulo de deflexión para cada grupo de microestructuras n , $n+1$, etc. coincide con aquel para la lente de Fresnel que forma imágenes en un radio que es el punto medio del ancho radial de cada grupo de microestructuras r_n+x_n , $r_{n+1}+x_{n+1}$, etc. Como la tasa de aumento del ángulo de deflexión con el radio dentro de cada grupo de microestructuras es mayor que aquel para la lente de Fresnel que forma imágenes sobre el mismo rango de radio, el ángulo de deflexión en el radio más pequeño para cada grupo de microestructuras es menor que el valor correspondiente para la lente de Fresnel que forma imágenes, y por lo que la luz que normalmente incide sobre el elemento óptico en este radio se refractará hacia el centro de foco pero no será incidente sobre el centro de foco. En el punto medio del ancho radial de cada grupo de microestructuras, el ángulo de deflexión es igual a aquel para la lente de Fresnel que forma imágenes en el mismo radio, y por lo que la luz normalmente incidente sobre el elemento óptico en este radio será refractada para ser incidente sobre el centro de foco. En el radio más grande para cada grupo de microestructuras, el ángulo de deflexión es mayor que el valor correspondiente para la lente de Fresnel que forma imágenes, y por lo que la luz normalmente incidente que incide sobre el elemento óptico en este radio se refractará de tal manera que cruce una línea que una al punto central del elemento óptico con el centro de foco antes de que incida sobre el plano focal, y por lo que no será incidente sobre el centro de foco, sino a una distancia radial de este igual y opuesta a aquella de la luz normalmente incidente que incide sobre el elemento óptico en el radio más pequeño para el mismo grupo de microestructuras. En la transición desde un grupo al siguiente, tiene lugar un cambio discontinuo de ángulo para que el siguiente grupo enfoque la luz en el área focal.

40 Una relación similar entre los ángulos de Fresnel de los grupos de microestructuras del elemento óptico de la Figura 7 y aquellos de una lente de Fresnel que forma imágenes se muestra en la Figura 6.

45 Cabe señalar que el cambio del ángulo de las microestructuras dentro de cada grupo de microestructuras en la invención es diferente de aquel utilizado en lentes de Fresnel que no forman imágenes estándar. Se puede ver a partir de la Figura 1, que compara la línea suave que muestra el ángulo de Fresnel ideal contra el radio con la línea escalonada que muestra el ángulo de Fresnel utilizado para cada grupo de microestructuras para una lente que no forma imágenes, que el ángulo de cada grupo de microestructuras en la lente que no forma imágenes permanece constante a medida que aumenta la distancia radial. En contraste, la desviación desde el ideal del ángulo de las microestructuras dentro de cada grupo en la presente invención es opuesta a aquella utilizada en una lente de Fresnel que no forma imágenes. Comparando la línea escalonada en la Figura 1 con aquella de la Figura 5, se puede ver que en la Figura 1 el ángulo de las microestructuras en un grupo dado para una lente de Fresnel que no forma imágenes de la técnica anterior realiza una desviación negativa desde el ángulo ideal a medida que aumenta el radio. Por el contrario, en la Figura 5 se puede ver que el ángulo de las microestructuras en un grupo dado en un elemento óptico de la presente invención realiza una desviación positiva del ángulo ideal a medida que aumenta el radio.

55 El cambio en el ángulo de las microestructuras para un elemento óptico de Fresnel que no forma imágenes es cero dentro de cada grupo (véase la Fig. 1 línea escalonada). En contraste, en la invención, dentro de cada grupo el ángulo de las microestructuras aumenta a medida que aumenta el radio a una tasa mayor que aquella para una lente de Fresnel que forma imágenes en el mismo rango de distancia radial desde el centro (véase Fig. 5).

55 Sin embargo, también es posible que el diseño del elemento óptico establezca el ángulo de las microestructuras igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal a una distancia radial de r , o a una distancia radial de $r+2x$ o a cualquier otro punto intermedio dentro del rango r a $r+2x$, para un grupo dado de microestructuras.

Por ejemplo, como se muestra en la Figura 9, en donde para cada grupo de microestructuras que abarca una distancia radial r a $r+2x$, el ángulo de las microestructuras es igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal a una distancia radial de $r+2x$, la selección del ángulo de las microestructuras para cada grupo de tal manera que el ángulo aumente con el aumento de la distancia radial desde el punto central da como resultado que haya un área focal formada por ese grupo que incluye el centro de foco solo en el borde de extremo del área focal (al considerar la luz incidente sobre solo un lado del punto central del elemento óptico), y sin que ninguna de las luces que normalmente inciden en ese grupo cruce el centro de foco.

Los inventores han reconocido que para una transferencia de energía eficiente a un área focal, particularmente en el contexto de receptores para concentradores solares, la distribución de la energía incidente debe ser lo más uniforme posible a través del área focal. Cuando el área focal es circular, dirigir la luz hacia esa área focal dará lugar a un aumento de la energía incidente sobre el área más pequeña en el centro del área focal y una distribución de energía más difusa a través de las áreas exteriores del área focal. Por lo tanto, en algunas realizaciones, es ventajoso dirigir una mayor proporción de la luz incidente a las regiones exteriores del área focal que a la parte central del área focal. Esto se puede lograr, para algunos o todos los grupos de microestructuras, excluyendo el centro de foco y el área circundante inmediata desde el área focal, dando de esta manera como resultado un área focal anular que rodea pero no incluye el centro de foco. De forma adecuada, con el fin de excluir el centro de foco y las áreas que lo rodean que estarían iluminadas por la radiación solar normal al plano del elemento óptico en un radio en el que el ángulo de las microestructuras es igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal como resultado de la dispersión provocada por el tamaño geométrico del disco solar, se excluye la dirección de la luz normalmente incidente de tal manera que se dirija al centro de foco al establecer el ángulo de las microestructuras a una distancia radial de $r+2x$ igual al ángulo requerido para refractar la luz a un punto radialmente distante del centro de foco en una distancia calculada como el producto de la distancia perpendicular entre el plano del elemento óptico y el plano focal, y la tangente de 0.275° , dicho punto es aquel alcanzado por la luz que cruza el plano focal sin haber cruzado la línea normal al plano del elemento óptico y que conecta el punto central del elemento óptico con el centro de foco.

Alternativamente, como se muestra en la Figura 10, en donde para cada grupo de microestructuras que abarca una distancia radial r a $r+2x$, el ángulo de las microestructuras es igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal a una distancia radial de r , la selección del ángulo de las microestructuras para cada grupo de tal manera que el ángulo aumenta con el aumento de la distancia radial desde el punto central da como resultado que haya un área focal formada por ese grupo que incluye el centro de foco solo en el borde de extremo del área focal (al considerar la luz incidente sobre solo un lado del punto central del elemento óptico), y con toda la luz que normalmente incide en ese grupo que cruza el centro de foco.

Cuando en esta realización se desea excluir el centro de foco y el área circundante inmediata del área focal, se excluye la dirección de la luz incidente normal de tal manera que se dirija al centro de foco al establecer el ángulo de las microestructuras a una distancia radial de r igual al ángulo requerido para refractar la luz a un punto que está radialmente distante del centro de foco por una distancia calculada como el producto de la distancia perpendicular entre el plano del elemento óptico y el plano focal, y la tangente de 0.275° , siendo dicho punto es alcanzado por la luz que cruza el plano focal habiendo cruzado primero la línea normal al plano del elemento óptico y conectando el punto central del elemento óptico con el centro de foco.

Preferiblemente, la distancia radial dentro del rango r a $r+2x$ en el que el diseño del elemento óptico establece el ángulo de las microestructuras igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal es el mismo para cada grupo, con el fin de que las áreas focales formadas por cada grupo sean completamente coincidentes.

El experto reconocerá que hay posiciones intermedias entre los extremos representados en las Figuras 9 y 10. Cuando para cada grupo de microestructuras que abarca una distancia radial r a $r+2x$, el diseño del elemento óptico establece el ángulo de las microestructuras igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal a una distancia radial dentro del rango r a $r+2x$ que no es igual a r , $r+2x$ o $r+x$, el área focal formada por ese grupo incluirá el centro de foco desplazado desde el centro del área focal para ese grupo, y con parte de la luz que normalmente incide en ese grupo que cruza el centro de foco y otra que no cruza el centro de foco. Estas últimas disposiciones son menos preferidas ya que, cuando la luz que normalmente incide sobre el elemento óptico es refractada por todos los grupos de microestructuras, puede resultar en una distribución desigual de la luz enfocada a través del área focal, lo que, en el contexto de los concentradores solares, dará como resultado una transferencia desigual de energía al receptor presente en el área focal. Por lo tanto, esto es menos eficiente, que las disposiciones preferidas en las que el centro del área focal de cada grupo coincide con el centro de foco del elemento óptico y, por lo tanto, da como resultado una distribución más uniforme de la luz en el área focal, tal como las disposiciones mostradas en las Figuras 7, 9 y 10.

Como se mencionó anteriormente, se prefiere en algunas realizaciones que se excluya la dirección de la luz normalmente incidente de tal manera que se dirija al centro de foco, con el fin de mejorar la distribución uniforme de la energía a través del área focal.

Cuando el elemento óptico es uno en el que la luz normalmente incidente sobre cada grupo se distribuye por el grupo de microestructuras de tal manera que algo de luz cruza el plano focal sin haber cruzado la línea normal al plano del

elemento óptico y conectar el punto central del elemento óptico al centro del foco, y algo de luz cruza el plano focal al haber cruzado primero la línea normal al plano del elemento óptico y conectar el punto central del elemento óptico al centro del foco, se debe tomar un enfoque diferente para proporcionar un área focal anular que rodee pero no incluya el centro de foco a lo discutido anteriormente para las realizaciones representadas en las Figuras 9 y 10. Los presentes inventores han determinado que esto se puede lograr al incluir una discontinuidad en el cambio, o gradiente, del ángulo de las microestructuras en el radio para el cual el diseño del elemento óptico establece el ángulo de las microestructuras igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal a esa distancia radial, de tal manera que el ángulo de las microestructuras nunca sea igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal. Sin embargo, el diseño del ángulo de las microestructuras en cada grupo aún se determina por referencia al establecimiento del ángulo igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal a una distancia radial escogida dentro del grupo.

Esta realización de la invención se describirá con referencia a un elemento óptico diseñado de tal manera que el ángulo de las microestructuras se establece igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal a una distancia radial igual a $r+x$, es decir, esa realización representada en las Figuras 7 y 8. El lector experto apreciará, por supuesto, que esta realización también se puede aplicar cuando el ángulo de las microestructuras se establece igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal a una distancia radial dentro del rango r a $r+2x$ que no es igual a r , $r+2x$ o $r+x$, y por lo tanto, en el que el área focal formada por ese grupo incluirá el centro de foco desplazado desde el centro del área focal para ese grupo.

En la práctica, el centro del área focal, que es el área focal que se ilumina como resultado de la luz refractada a partir de las microestructuras que tienen un ángulo igual al ángulo requerido para refractar la luz al centro de foco en el plano focal, incluye tanto el centro geométrico del foco definido anteriormente, como también un área circundante que se ilumina debido a la dispersión de la luz incidente debido al tamaño geométrico del disco solar ($\pm 0.275^\circ$). Esta dispersión (radio del área circundante) se puede calcular como la distancia focal x la $\tan 0.275^\circ$. En el caso de una distancia focal de 2000 mm, la dispersión será de aproximadamente ± 10 mm.

Para proporcionar un área focal anular que rodee pero no incluya el centro de foco, la distribución de intensidad de la luz incidente en el área focal se simula mediante trazado de rayos, teniendo en cuenta la dispersión de la luz incidente descrita anteriormente. El número de microestructuras que darían como resultado que la luz incidiera sobre el centro del área focal se puede reducir para algunos o todos los grupos de microestructuras en la lente, por ejemplo, al introducir una discontinuidad en el gradiente del cambio de ángulo de las microestructuras en los radios relevantes. La introducción de dicha discontinuidad define los subgrupos dentro de cada grupo de microestructuras.

En la Figura 11 se representa una relación adecuada entre el ángulo y el radio de Fresnel para dichos subgrupos, que se puede comparar con la relación entre el ángulo y el radio de Fresnel para un elemento óptico de acuerdo con la invención y sin dicha discontinuidad, como se representa en la Figura 8. En cuanto a la Figura 8, la Figura 11 muestra la variación del ángulo de Fresnel de los grupos de microestructuras con radio, con los grupos de microestructuras n , $n+1$, $n+2$, $n+3$ etiquetados junto con sus rangos radiales, a saber, que el grupo n se extiende desde el radio r_n hasta r_n+2x_n ; el grupo $n+1$ se extiende desde el radio r_{n+1} (que es igual a r_n+2x_n) hasta $r_{n+1}+2x_{n+1}$; el grupo $n+2$ se extiende desde el radio r_{n+2} (que es igual a $r_{n+1}+2x_{n+1}$) hasta $r_{n+2}+2x_{n+2}$; y así sucesivamente. A lo largo de la línea del gráfico, las cruces indican (esquemáticamente y no a escala) las microestructuras o prismas individuales que juntos forman el grupo de microestructuras. Típicamente, el ancho de cada microestructura o prisma será de 75 a 250 μm .

Sin embargo, la variación del ángulo de Fresnel con el radio difiere en la Figura 11 de la que se muestra en la Figura 8, ya que en un radio de $r+x$ dentro de cada grupo existe una discontinuidad en el gradiente del ángulo de Fresnel, de tal manera que el ángulo de Fresnel para cada grupo de microestructuras n , $n+1$, etc. nunca coincide con el de la lente de Fresnel que forma imágenes. Esto divide cada grupo de microestructuras en dos subgrupos, que a distancias radiales más pequeñas desde el centro del elemento óptico, abarcando, en el grupo n , desde el radio r_n hasta $r_n + x_n$ y que a distancias radiales más grandes desde el centro del elemento óptico, abarcando, en el grupo n , desde el radio r_n+x_n hasta $r_n + 2x_n$. En cuanto a la Figura 8, la tasa de aumento del ángulo de Fresnel con el radio dentro de cada grupo de microestructuras es mayor que aquel de la lente de Fresnel que forma imágenes en el mismo rango de radio. Sin embargo, aunque la tasa de aumento del ángulo de Fresnel con el radio sigue siendo la misma en ambos subgrupos de cada grupo, el rango del ángulo de Fresnel que abarca el subgrupo con un radio más pequeño (r_n a r_n+x_n) utiliza ángulos de Fresnel que son todos inferiores al valor ideal, y el rango del ángulo de Fresnel que abarca el subgrupo con un radio más grande (r_n+x_n a $r_n + 2x_n$) utiliza ángulos de Fresnel que son todos más altos que los valores ideales para esos radios. Una discontinuidad vertical en r_n+x_n asegura que en ningún punto el ángulo de Fresnel dentro del grupo iguale el valor ideal. De acuerdo con lo anterior, dentro del subgrupo de radio más pequeño, el ángulo de deflexión en el radio más pequeño r_n refracta la luz normalmente incidente hacia el centro de foco pero no para que incida sobre el centro de foco. El ángulo de deflexión en el radio más grande dentro de este subgrupo, justo debajo de $r_n + x_n$ (ya que la discontinuidad ocurre en $r_n + x_n$), también refracta la luz normalmente incidente hacia el centro de foco pero no para que incida sobre el centro de foco. La luz que incide en cada uno de estos radios se cruzará antes de alcanzar el plano focal. De manera similar, dentro del subgrupo con un radio más grande, el ángulo de deflexión en el radio más pequeño justo por encima de r_n+x_n (ya que la discontinuidad ocurre en r_n+x_n) refracta la luz normalmente incidente de tal manera que cruza una línea que une el punto central del elemento óptico con el centro de foco antes de que incida sobre el plano focal, y así no incidirá sobre el centro de foco sino a una distancia radial desde la que es igual y opuesta a la de la luz normalmente incidente que incide sobre el elemento óptico en el radio más grande para

el subgrupo en el radio más pequeño. El ángulo de deflexión en el radio más grande dentro de este subgrupo, en $r_n + 2x_n$ también refracta la luz normalmente incidente de tal manera que cruza una línea que une el punto central del elemento óptico con el centro de foco antes de que incida sobre el plano focal, y así no incidirá sobre el centro de foco sino a una distancia radial desde la que es igual y opuesta a la de la luz normalmente incidente que incide sobre el elemento óptico en el radio más pequeño para el subgrupo en el radio más pequeño. La luz que incide en cada uno de estos radios más pequeño y más grande del subgrupo en el radio más grande se cruzará antes de alcanzar el plano focal. Además, en cuanto al elemento óptico de la Figura 8, la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro de un grupo dado y la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central dentro de un grupo dado se cruzan en un plano más cercano al elemento óptico que el plano focal. Los planos en los que: se cruza la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro de un grupo dado y la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central dentro de un grupo dado; se cruza la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro del subgrupo de radio más pequeño para un grupo dado y la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el centro de foco dentro del subgrupo de radio más pequeño para un grupo dado; y se cruza la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro del subgrupo de radio más grande para un grupo dado y la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el centro de foco dentro del subgrupo de radio más grande para un grupo dado; son cada uno planos diferentes que están más cercanos al elemento óptico que es el plano focal.

La Figura 12 representa el comportamiento de la luz incidente sobre un elemento óptico planar que tiene una dependencia del ángulo de Fresnel sobre el radio, como se muestra en la Figura 11. En el lado izquierdo de la Figura se muestra el comportamiento de la luz normalmente incidente y en el lado derecho de la Figura el comportamiento de la luz normalmente no incidente. Mirando el lado izquierdo de la Figura, se muestra la luz que normalmente incide sobre dos grupos n y $n+1$, cuya luz se refracta para proporcionar un área focal anular común, que rodea un área circular centrada sobre el centro de foco. Para cada uno de los grupos n y $n+1$ se muestra el comportamiento de la luz incidente en los bordes extremos de los subgrupos de menor y mayor radio. Una línea que representa el plano en el que se cruzan la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro de un grupo dado y la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el centro de foco dentro de un grupo dado es común a ambos grupos, con los puntos de cruce sobre esa línea para cada grupo c_n y c_{n+1} mostrados en la línea 524. Además, existen puntos a_n y a_{n+1} que representan los puntos de cruce para la luz refractada desde los bordes extremos del subgrupo de radio más pequeño para un grupo dado, y los puntos b_n y b_{n+1} representan los puntos de cruce de la luz refractada desde los bordes extremos del subgrupo de mayor radio para un grupo dado. Por supuesto, se reconocerá que los puntos de cruce de la Figura en realidad forman parte de una línea anular en un plano perpendicular al plano del papel, ya que el elemento óptico está formado por grupos concéntricos circulares de microestructuras.

Por lo tanto, como se muestra en la Figura 12, la luz que incide adyacente a la discontinuidad 520 se divide y se dirige para que incida en el plano focal a cada lado del centro del área focal. Por lo tanto, la luz que incide sobre el área focal se proporciona en un patrón anular que rodea y está centrado sobre, pero no incluye, el centro 522 de foco.

Haciendo referencia a la Figura 13, esta representa una posible construcción del elemento óptico del primer aspecto de la invención. El elemento 10 óptico comprende un sustrato 20 de vidrio transmisor de luz, que está formado por vidrio sin hierro y tiene un grosor de 5 mm y una longitud y ancho de 1500 mm. El sustrato 20 de vidrio transmisor de luz se proporciona con recubrimientos 40 y 50 nanoestructurados antirreflectantes. El recubrimiento 40 nanoestructurado antirreflectante se proporciona sobre la superficie posterior del sustrato 20 de vidrio transmisor de luz, y el recubrimiento 50 nanoestructurado antirreflectante en la superficie frontal del sustrato 20 de vidrio transmisor de luz, con respecto a la dirección de la radiación electromagnética incidente en uso, que se muestra con la flecha 60. Los recubrimientos 40 y 50 nanoestructurados antirreflectantes son recubrimientos de índice de refracción graduados que tienen un valor R_z de 300 nm, una relación de aspecto de 0.75 y una relación de área real/área macroscópica de 1.5. Sobre la superficie posterior del sustrato 20 de vidrio transmisor de luz, en contacto con el recubrimiento 40 nanoestructurado antirreflectante, se proporciona un recubrimiento 30 de silicona transmisor de luz de PDMS que tiene una superficie microestructurada, en la que las microestructuras son una pluralidad de grupos de microestructuras 35, que son circulares y se disponen concéntricamente cuando se ven en vista de plano.

En uso, la luz del sol incide sobre el elemento 10 óptico en la dirección de la flecha 60. La luz 60 solar incidente normal a la superficie frontal del sustrato 20 de vidrio transmisor de luz pasa a través del recubrimiento 50 nanoestructurado antirreflectante, el sustrato 20 de vidrio transmisor de luz, el recubrimiento 40 nanoestructurado antirreflectante y al recubrimiento 30 de silicona transmisor de luz microestructurado sin refracción. Cuando la luz 60 solar incidente llega a las microestructuras 35 de Fresnel en la cara posterior del recubrimiento 30 de silicona, la microestructura refracta la luz solar en un ángulo (en relación con la normal) del doble del ángulo de inclinación de Fresnel, y también se refracta como resultado del cambio del índice de refracción entre la silicona y el aire en la cara posterior del elemento óptico. Por lo tanto, la luz enfocada sale de la cara posterior del elemento 10 óptico en un ángulo diferente del ángulo en el que la luz 60 incidente entró en la capa 30 de recubrimiento de silicona. La refracción de la luz cuando pasa a través del elemento óptico sirve para enfocar la luz en un área focal en la que está presente un colector solar (no mostrado) para recibir la luz enfocada.

Con referencia a la Figura 14, esta representa otra posible construcción del elemento óptico del primer aspecto de la invención. El sustrato 110 puede estar elaborado de cualquier material o materiales que sean capaces de soportar la lámina 170 de polímero de enfoque del elemento óptico y puedan soportar las condiciones ambientales esperadas a

las que estará expuesto el elemento óptico. De acuerdo con lo anterior, es adecuado un material o materiales capaces de resistir altas temperaturas y abrasión por polvo y otras partículas, y que sea mecánicamente rígido, de tal manera que el elemento óptico no se distorsione y no se desalinee con su punto de foco previsto durante el uso. Como el sustrato 110 se proporciona en el lado frontal de la lámina 170 de polímero de enfoque, es decir, en el lado de la lámina 170 de polímero de enfoque desde el que incide la luz, el sustrato 110 debe poder transmitir luz a través del mismo. La selección de materiales adecuados para el sustrato 110 también debe tener en cuenta el adhesivo intercambiable que se utilizará para adherir la lámina 170 de polímero de enfoque al sustrato 110 y, en particular, las condiciones bajo las cuales se tratará el adhesivo intercambiable para liberar la lámina 170 de polímero de enfoque del sustrato 110. Por ejemplo, cuando el adhesivo se pueda remover cuando se calienta, el sustrato debe soportar el calentamiento necesario, por ejemplo, al menos a 80 °C; el sustrato debe ser inerte a ese solvente; y donde el adhesivo es sensible a la presión, el sustrato debe ser lo suficientemente robusto para soportar la fuerza aplicada sin detrimento de su capacidad para ser reutilizado. Preferiblemente, el material para el sustrato puede transmitir luz a través del mismo y absorber o reflejar la luz UV. Los materiales adecuados incluyen polímero (es decir, material plástico) o placa de vidrio. El vidrio es un material preferido debido a su inercia a la degradación UV y su capacidad para proteger las capas de polímero de la luz UV de longitud de onda corta. Además, el vidrio tiene una mayor resistencia al rayado que muchos polímeros, por lo que un sustrato de vidrio es más fácil de limpiar y es menos probable que se dañe en poco tiempo debido a la limpieza o la abrasión del polvo. Además, el vidrio tiene buena resistencia a muchos solventes que se pueden utilizar para ablandar la capa 120 adhesiva. El grosor del sustrato 110 se debe seleccionar para garantizar la rigidez mecánica, y puede tener de forma adecuada un grosor de al menos 2 mm, preferiblemente al menos 3 mm, tal como desde 3 hasta 6 mm, por ejemplo, 4 mm, 5 mm o 6 mm. El tamaño y la conformación del sustrato 110 vendrán dictados por el tamaño y la construcción necesarios del concentrador solar en el que se va a incorporar el elemento óptico. En ciertas disposiciones, el sustrato puede no ser planar, pero preferiblemente el sustrato es planar. De forma adecuada, el sustrato mantiene planar la geometría de la lámina 170 de polímero de enfoque adherida en la medida en que todavía funciona como un elemento de enfoque. Los elementos de enfoque planar tendrán cierta tolerancia a ser no planares, típicamente del orden de 0.5-2 grados. Por lo tanto, el sustrato preferiblemente no debería desviarse más de una geometría planar durante el uso normal del concentrador.

El sustrato 110 puede tener preferiblemente una capa antirreflejante sobre la superficie del sustrato destinada a hacer frente a la luz incidente, es decir, la superficie del sustrato opuesta a aquella sobre la que se proporciona la lámina 170 de polímero de enfoque. La capa antirreflejante mejora la eficiencia del concentrador solar al reducir o evitar el reflejo desde la superficie exterior de la lente. La capa antirreflejante puede ser un recubrimiento o estructuración aplicada a la superficie del sustrato 110. Preferiblemente, la capa antirreflejante es una capa antirreflejante de gradiente de índice de refracción, ya que estos son casi independientes de la longitud de onda y el ángulo incidente. Sin embargo, también se puede utilizar una película de capa antirreflejante dieléctrica de múltiples capas.

La estructura funcional necesaria que se debe incluir en esta realización es la lente 150 refractiva. Esta se monta de manera removible sobre la superficie del sustrato 110 que debe quedar de espaldas a la luz que incidirá en el concentrador solar, es decir, la parte posterior del sustrato 110.

La lente 150 refractiva está hecha de un material o materiales que puede/n transmitir luz a su través y que tienen un índice de refracción adecuado para refractar la luz que pasa a su través en un grado deseado para lograr el efecto de enfoque de la lente. De forma adecuada, la lente 150 refractiva puede estar hecha de un vidrio ópticamente transparente o de un polímero o polímeros ópticamente transparentes (es decir, un material o materiales plásticos). Por motivos de peso del elemento óptico resultante y menor fragilidad, se prefiere el uso de un polímero o polímeros. En una realización preferida, la lente refractiva está hecha de una lámina de polímero, es decir, una hoja flexible de materiales poliméricos, que comprende una o más capas de materiales poliméricos. De forma adecuada, la lámina de polímero puede contener partes no poliméricas, tales como estabilizadores UV u otros aditivos. Preferiblemente, la lámina de polímero comprende uno o más estabilizadores UV para mejorar la vida útil de la lámina de polímero en uso. Los polímeros adecuados para su inclusión en la capa de lámina de polímero son polímeros transparentes tales como polimetilmetacrilato (PMMA), polietileno (PE), laminado de polipropileno (PP)-tereftalato de polietileno (PET) o laminado de PET-Surllyn. De forma adecuada, el grosor de la lámina de polímero es menor de 200 μm , más preferiblemente menor de 100 μm , incluso más preferiblemente menor de 50 μm y lo más preferiblemente menor de 30 μm . Cuanto más delgada sea la lámina, menor será el coste del material para el reemplazo y se producirá una menor absorción de UV y, por lo tanto, más económica será la planta y, por lo tanto, es preferible una relación menor entre el elemento de enfoque y la placa de soporte, en términos de peso y/o grosor de los elementos respectivos. Típicamente, un sustrato de vidrio de 4 mm de grosor (placa de soporte) tendrá un peso de 10 kg/m^2 , mientras que la lámina de polímero de enfoque tendrá un peso de 100-250 g/m^2 . Por lo tanto, una relación en peso para la película de polímero de enfoque: sustrato estaría de forma adecuada en el rango 0.05 a 0.1, tal como 0.06 a 0.075, o 0.07 a 0.05, preferiblemente 0.01 a 0.025.

La lámina 150 de polímero se puede construir de manera conocida, tal como se describe en el documento WO2015/081961. Por ejemplo, debido al pequeño grosor de la lámina de polímero de enfoque, se puede fabricar utilizando procesos estándar de rollo a rollo, tal como el recubrimiento por extrusión, en donde una lámina portadora se lamina a una película fundida que se estructura o recubre utilizando un rodillo de enfriamiento estructurado. El rodillo de enfriamiento estructurado se puede fabricar utilizando tecnología de manguito de níquel o al imprimir un patrón en una capa de impresión sobre la superficie de un rodillo convencional. El uso de procesos de rollo a rollo, en comparación con la fundición o la extrusión convencionales de elementos Fresnel más gruesos, tendrá el potencial de

reducir el coste por metro cuadrado del rango de \$100 al rango de \$1-2 por metro cuadrado, similar al coste de las láminas de empaque tradicionales.

La lente 150 refractiva está montada sobre el sustrato 110 mediante una capa 120 de adhesivo intercambiable. Por adhesivo intercambiable se entiende una sustancia que durante el uso del concentrador solar funciona como un adhesivo, y que puede volverse menos adhesiva al someter la sustancia a una condición exterior controlada, por ejemplo, calor, presión o fuerza de deslaminación, o solvente, para retirar las dos partes adheridas. En esta realización, es esencial que el adhesivo intercambiable sea uno que pueda transmitir luz a través del mismo. Un adhesivo sensible al calor o termoplástico adecuado es aquel que se ablanda para permitir que la capa 150 se retire del sustrato 110 al calentarlo a una temperatura significativamente superior a la temperatura de operación habitual de un concentrador solar, tal como una temperatura de 80 °C. Dichos adhesivos incluyen adhesivos de fusión en caliente termoplásticos. Un adhesivo sensible a la presión adecuado es uno que se puede desprender del sustrato 110 bajo una fuerza que no es lo suficientemente alta como para dañar la superficie del sustrato 110 pero es significativamente mayor que cualquier fuerza a la que estaría sujeto el elemento óptico en uso normal. Dichos adhesivos incluyen adhesivos basados en un elastómero compuesto con un agente de pegajosidad adecuado, por ejemplo, un éster de colofonia. Alternativamente, el adhesivo puede estar basado en acrílicos que tienen suficiente pegajosidad por sí mismos y no requieren un agente de pegajosidad. Opciones adicionales incluyen acrilatos de base biológica, caucho de butilo, etileno-acetato de vinilo (EVA) con alto contenido de acetato de vinilo, caucho natural, nitrilos, cauchos de silicona con agentes de pegajosidad especiales basados en resinas de silicato MQ (las resinas de silicato MQ se basan en un trimetilsilano monofuncional (M) que reacciona con tetracloruro de silicio tetrafuncional (Q)). Un adhesivo sensible a los solventes adecuado es uno que se ablanda o se vuelve desprendible del sustrato al aplicar un solvente al que no se somete el elemento óptico en el uso normal y que no provoca daño al sustrato 110. Por ejemplo, cuando el sustrato es vidrio, se puede utilizar un adhesivo sensible a la acetona o sensible a MIBK. Los adhesivos sensibles a los solventes incluyen adhesivos de fusión en caliente termoplásticos y adhesivos sensibles a la presión enumerados anteriormente que no se entrecruzan. Independientemente del tipo de adhesivo intercambiable utilizado, se prefiere que el adhesivo tenga un mayor grado de adherencia a la lente 150 refractiva que al sustrato 110, para que, al desprender la lente 150 refractiva del sustrato 110, el adhesivo se elimine limpiamente del sustrato 110 dejándolo en una condición adecuada para la aplicación inmediata de una nueva lente 150 refractiva. Dichos adhesivos incluyen adhesivos sensibles a la presión a base de acrilato.

El grosor total de la lámina 170 de polímero de enfoque (es decir, las capas 120 y 150 en la Figura 15) estaría de forma adecuada en el rango de 30-200 μm .

En uso, la luz solar incidente se irradia de forma normal a la superficie del sustrato 110 sobre el que no se adhiere la lente 150 de Fresnel, y pasa a través del sustrato 110 y la capa 120 adhesiva hacia la capa 150 de lente de Fresnel. Al llegar a las microestructuras de Fresnel en la cara posterior de la capa 150 de Fresnel, la luz se deflecta a un ángulo (relativo al normal) del doble del ángulo de inclinación del elemento de Fresnel y se refracta en la transición polímero-aire. Al controlar el ángulo de inclinación en función de la distancia lateral desde el punto focal, se puede enfocar toda la luz solar incidente. Después de algún tiempo en uso, la lente 150 de Fresnel, como resultado de la degradación ambiental tal como la exposición a la luz UV, rayado por la abrasión del polvo y/o la oxidación, ya no estará en condiciones de realizar su función con un grado aceptable de eficiencia. En este momento, el elemento óptico se trata para hacer que la capa 120 adhesiva se ablande o se desprenda del sustrato 110, y la capa 150 de lente de Fresnel, junto con la capa 120 adhesiva, se retira del sustrato. Una nueva lámina 170 de polímero de enfoque, que comprende la capa 150 de lente de Fresnel, junto con la capa 120 adhesiva, se puede aplicar al sustrato 110, por ejemplo mediante un proceso de rollo a placa, para que el elemento óptico se pueda reemplazar en el concentrador solar, habiendo restaurado o mejorado su función.

En una realización, el adhesivo intercambiable es un adhesivo termoplástico, y la lámina se puede reemplazar fácilmente al calentar la placa por encima de la temperatura de ablandamiento del adhesivo termoplástico, de forma adecuada 80 °C, ya que esta temperatura es significativamente más alta que la temperatura de operación normal alcanzada por el elemento óptico en uso. De forma adecuada, el calor se aplica mediante un horno o mediante la aplicación de aire caliente, por ejemplo, utilizando una pistola de calor. Una vez que el adhesivo se ablanda, la lámina se puede quitar y reciclar, mientras que la placa de soporte se puede recubrir con una nueva pieza de lámina y reutilizarla en una planta solar.

En un cuarto aspecto, la presente invención proporciona un método para la fabricación de un elemento óptico de acuerdo con el primer aspecto de la invención, el método comprende

(i) proporcionar un sustrato;

(ii) formar una capa microestructurada sobre el sustrato en el que las microestructuras de la capa microestructurada son la pluralidad de grupos de microestructuras circulares y dispuestas concéntricamente del elemento óptico del primer aspecto de la invención.

Preferiblemente, como se describe en la Solicitud GB No 1820275.4, el método comprende las etapas de:

(a) proporcionar un primer sustrato de vidrio transmisor de luz que tiene una superficie frontal sobre la cual incide la radiación electromagnética en uso y una superficie posterior opuesta a la superficie frontal;

(b) aplicar una resina de silicona líquida a la superficie posterior y/o frontal del sustrato de vidrio;

5 (c) poner en contacto la resina de silicona líquida con un molde de tal manera que la resina de silicona líquida adopte la forma del molde y forme la capa microestructurada que se extiende sobre la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio al que se ha aplicado la resina de silicona líquida;

(d) curar la resina de silicona líquida para formar una capa de silicona transmisora de luz microestructurada;

en la que la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio a las que se aplica la resina de silicona líquida es/son rugosa(s).

10 De forma adecuada, el elemento óptico fabricado por el método es un elemento óptico de acuerdo con el primer aspecto de la invención. De acuerdo con lo anterior, las características preferidas del(los) sustrato(s) de vidrio transmisor(es) de luz, la rugosidad o textura de la(s) superficie(s) del sustrato(s), y el(los) recubrimiento(s) de silicona transmisor(es) de luz mencionado(s) en el primer aspecto de la invención también se prefieren en el presente aspecto de la invención.

15 De forma adecuada, el método puede comprender además el método para elaborar un molde de acuerdo con el séptimo aspecto de la invención, antes de la etapa (c).

20 De forma adecuada, la resina de silicona líquida es adecuada para la fundición. Preferiblemente, la resina de silicona líquida se puede curar mediante una combinación de calor y tiempo en una combinación adecuada, como se discute a continuación con respecto a la etapa (d). Los detalles de las siliconas preferidas para el recubrimiento de silicona transmisor de luz se dan en la descripción del primer aspecto de la invención, y también se prefieren en el presente aspecto de la invención.

25 Preferiblemente, la etapa (a) comprende además la etapa de rugosidad o texturización de la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio al que se va a aplicar la resina de silicona líquida en la etapa (b) para proporcionar la(s) superficie(s) rugosa(s). Preferiblemente, la etapa de rugosidad comprende tratar la superficie del propio sustrato de vidrio para aumentar su rugosidad, en lugar de la aplicación de un recubrimiento que tiene una rugosidad mayor que la de la superficie del sustrato de vidrio. De forma adecuada, la rugosidad se puede llevar a cabo mediante cualquier tratamiento mecánico adecuado aplicado a la superficie del sustrato de vidrio, tal como chorreado o esmerilado. Sin embargo, estos métodos son difíciles de controlar sobre el vidrio, por lo que se prefiere que la rugosidad se realice al grabar la superficie del sustrato de vidrio. Preferiblemente, la rugosidad se presenta en forma de nanoestructuras formadas en la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio. Preferiblemente, la rugosidad de superficie de la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio está en la forma de nanoestructuras que tienen una altura de hasta 800 nm, más preferiblemente 600 nm, lo más preferiblemente 400 nm. Preferiblemente, las nanoestructuras tienen una altura de 50 nm o más, preferiblemente 100 nm o más, lo más preferiblemente 200 nm o más. De forma adecuada, la medición de las alturas de la rugosidad puede ser una medición R_z . Por lo tanto, el valor R_z para la superficie rugosa está preferiblemente dentro del rango desde 50 nm hasta 800 nm, más preferiblemente desde 100 nm hasta 600 nm, lo más preferiblemente desde 200 nm hasta 400 nm. Preferiblemente, la etapa de nanoestructuración comprende proporcionar un tratamiento antirreflectante GRIN sobre la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio.

Alternativamente, en la etapa (a), se puede proporcionar un sustrato de vidrio transmisor de luz que ya comprenda una superficie frontal y/o posterior rugosa, preferiblemente una superficie frontal y/o posterior que tenga nanoestructuras como se describió anteriormente.

40 Preferiblemente, en donde solo una de la superficie del sustrato de vidrio se va a recubrir con la resina de silicona líquida en la etapa (b), la otra superficie del sustrato de vidrio se proporciona con un tratamiento antirreflectante o recubrimiento. De forma adecuada, después de la etapa (a) y antes de la etapa (b) el método comprende además la etapa de aplicar un tratamiento antirreflectante o recubrimiento a la superficie del sustrato de vidrio a la que no se va a aplicar la resina de silicona líquida en la etapa (b). Se describen tratamientos o recubrimientos antirreflectantes adecuados con referencia al primer aspecto de la invención. Alternativamente, en la etapa (a) se puede proporcionar un sustrato de vidrio transmisor de luz que ya comprende un tratamiento o recubrimiento antirreflectante sobre la superficie al que no se va a aplicar la resina de silicona líquida en la etapa (b), preferiblemente un tratamiento antirreflectante como se describió anteriormente.

50 En la etapa (b), la aplicación de la resina de silicona líquida se puede llevar a cabo por cualquier método adecuado conocido en la técnica para proporcionar una capa de líquido sobre una superficie. Por ejemplo, se puede utilizar recubrimiento por rotación (si lo permite el tamaño del sustrato) o recubrimiento con cuchilla. Preferiblemente, sin embargo, una o más gotitas, acumulaciones o áreas de resina de silicona líquida se pueden aplicar a la superficie, por ejemplo desde una boquilla, sin ninguna dispersión activa de una o más gotitas, acumulaciones o áreas en una capa continua durante la etapa de aplicación. Por supuesto, dependiendo de la viscosidad de la resina de silicona líquida y de su capacidad para humedecer la superficie del sustrato de vidrio, la resina de silicona líquida se puede extender hasta cierto punto por sí sola.

En la etapa (c), el molde puede tomar cualquier forma adecuada o estar hecho de cualquier material adecuado para formar la resina de silicona líquida en un recubrimiento que se extiende sobre la superficie posterior del sustrato de vidrio, cuyo recubrimiento adopta la forma del molde. El molde también debe soportar las condiciones utilizadas en la etapa de curado (d), ya que es necesario que el molde permanezca en su lugar hasta que se cure la resina de silicona líquida. Por ejemplo, el molde puede ser un sello o un rodillo estructurado. El molde puede ser de material plástico, metal, vidrio o cerámica, y puede ser flexible o rígido. El molde tiene preferiblemente un ancho y longitud igual o superior al ancho y longitud del sustrato de vidrio transmisor de luz, para que toda la superficie del sustrato se pueda recubrir con el recubrimiento microestructurado de silicona transmisor de luz utilizando un solo molde.

Cuando se utiliza un rodillo estructurado como molde, es necesario seleccionar la resina de silicona líquida, la temperatura del rodillo y la velocidad de rotación del rodillo de tal manera que la resina de silicona líquida pueda llenar las estructuras del rodillo y recubrir el sustrato de vidrio y luego ser curada de tal manera que conserve su forma estructurada todo el tiempo durante el cual el rodillo estructurado permanece en contacto con la capa de silicona sobre el sustrato de vidrio.

Preferiblemente, el molde es una película termoplástica, en una de cuyas superficies se han formado microestructuras que son la inversa de las microestructuras que, cuando se adopta por el recubrimiento de silicona transmisor de luz, actúa para enfocar la radiación electromagnética incidente sobre el elemento óptico en uso. Preferiblemente, la película termoplástica es flexible, por ejemplo, de tal manera que se puede desprender de la superficie del recubrimiento de silicona después de curado. En esta conexión, preferiblemente, la película termoplástica es una película de polipropileno o una película de polietileno, y, preferiblemente, la película termoplástica tiene un grosor desde 40 μm hasta 200 μm . Cuando se utiliza una película termoplástica, se utiliza preferiblemente solo para una única etapa de moldeo (c).

Cuando el molde es una película termoplástica, preferiblemente, en la etapa (c), el contacto de la resina de silicona líquida con el molde comprende presionar la superficie de la película termoplástica sobre la cual se forman las microestructuras contra la resina de silicona líquida con el fin de que la resina de silicona líquida adopte la forma de las microestructuras. Preferiblemente, la etapa (c) comprende además alinear la película termoplástica con el sustrato de vidrio transmisor de luz con el fin de que la película termoplástica se superponga sobre el sustrato de vidrio y todo el sustrato se recubra con el recubrimiento de silicona transmisor de luz microestructurado. Sin embargo, se puede contemplar en ciertas circunstancias que se puede desear proporcionar microestructuras sobre menos del área total del sustrato, por ejemplo, para dejar un límite alrededor de los bordes del sustrato libre de microestructuras. En estos casos, se puede utilizar un molde que tenga un área más pequeña que la del sustrato, o se puede utilizar un molde que esté solo parcialmente cubierto de microestructuras. Preferiblemente, la presión de la película termoplástica contra la resina de silicona líquida también difunde la resina de silicona líquida para formar un recubrimiento continuo que se extiende sobre la superficie posterior del sustrato de vidrio. Preferiblemente, presionar la película termoplástica contra la resina de silicona líquida se lleva a cabo utilizando un rodillo. Cuando se utiliza un rodillo, preferiblemente tiene un ancho igual o que excede aquel del sustrato de vidrio transmisor de luz, para que se pueda aplicar una presión uniforme a través de todo el ancho del sustrato. Preferiblemente, el rodillo se aplica con una presión uniforme a lo largo de toda la longitud del sustrato para que la resina de silicona líquida se modele y se difunda uniformemente sobre toda el área del sustrato.

En la etapa (d), el curado se puede llevar a cabo cualquier método de curado adecuado aplicable a la resina de silicona líquida escogida y cuyo sustrato y molde sean capaces de soportar; por ejemplo, el curado puede comprender exposición a UV, calor, tiempo, o una combinación de los mismos. Preferiblemente, sin embargo, el curado se lleva a cabo utilizando una combinación de calor y tiempo. Por ejemplo, para una resina de silicona líquida seleccionada, las condiciones de curado pueden ser 24 horas a temperatura ambiente, tal como a 20 $^{\circ}\text{C}$, 10 horas a 40 $^{\circ}\text{C}$, o 1 hora a 70 $^{\circ}\text{C}$. El experto en la técnica entenderá que se puede encontrar un equilibrio entre la temperatura de curado y el tiempo de curado para una resina dada dependiendo de los requisitos del proceso; por ejemplo, la disponibilidad de un aparato de calentamiento adecuado o el tiempo disponible para el curado. Preferiblemente, el curado no comprende el uso de radiación UV para iniciar el proceso de curado.

Después de la etapa de curado (d), y cuando el molde está en la forma de un sello, una película termoplástica, u otra forma adecuada, el molde se puede dejar en su lugar sobre el recubrimiento de silicona transmisor de luz curado para que actúe como una capa protectora para el recubrimiento antes de uso como un elemento óptico. Esto es particularmente preferible cuando el molde es una película termoplástica como se describió anteriormente.

Cuando se desee proporcionar un recubrimiento de silicona transmisor de luz microestructurado tanto en la superficie frontal como en la superficie posterior del sustrato de vidrio, es posible que las etapas (b), (c) y (d) del método se lleven a cabo dos veces, una vez para la superficie frontal y una vez para la superficie posterior; o para que las etapas (b) y (c) se lleven a cabo dos veces, una para la superficie frontal y otra para la superficie posterior, seguido de la etapa (d) para curar ambos recubrimientos de silicona; o para que la etapa (b) se lleve a cabo tanto en la superficie delantera como en la posterior del sustrato de vidrio, seguido por la etapa (c) en las superficies delantera y posterior, seguido por la etapa (d) en las superficies delantera y posterior.

Preferiblemente, el método comprende la etapa adicional de:

(a) retirar el molde desde el recubrimiento de silicona transmisor de luz microestructurado.

Preferiblemente, la etapa de retiro (e), en donde el molde es una película termoplástica como se describió anteriormente, comprende el desprendimiento de la película termoplástica desde el recubrimiento de silicona transmisor de luz.

5 Como se describió anteriormente para el primer aspecto de la invención, y particularmente cuando el molde es una película microestructurada termoplástica y se utiliza como una capa protectora que se retira del recubrimiento de silicona transmisor de luz antes de uso, la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio al que se va a aplicar la resina de silicona líquida se vuelve/n rugosa(s) para asegurar que la adhesión entre el recubrimiento de silicona y el sustrato de vidrio sea mayor que la adhesión entre el recubrimiento de silicona y la película termoplástica, asegurando de esta manera que el retiro de la película termoplástica no resulte en el retiro total o parcial del recubrimiento de silicona del sustrato de vidrio

10 Como se describió anteriormente para el primer aspecto de la invención, el elemento óptico puede comprender además un segundo sustrato de vidrio transmisor de luz, que puede tener recubrimientos de silicona transmisores de luz proporcionados en una o ambas caras del mismo. Cuando se proporciona el segundo sustrato, la rugosidad de la superficie y/o el(los) recubrimiento(s) de silicona transmisor(es) de luz, cuando se proporcionan, se forman de acuerdo con el método del cuarto aspecto de la invención. Los dos sustratos de vidrio transmisores de luz, con recubrimientos sobre los mismos según se desee, se superponen uno sobre otro y se fijan juntos, ya sea en contacto entre sí o en una relación separada entre sí por medio de separadores colocados entre los sustratos y adheridos o fijados a los sustratos. Cuando el(los) recubrimiento(s) de silicona transmisor(es) de luz del elemento óptico se coloque(n) entre los dos sustratos, se entenderá que la etapa (e) de retirar el molde del (de los) recubrimiento(s) de silicona transmisor(es) de luz microestructurado(s) se debe llevar a cabo antes de la superposición de los sustratos y la fijación de los mismos entre sí. Se pueden utilizar selladores adecuados, como sabe el experto, para evitar la entrada de la atmósfera ambiental entre los dos sustratos, y el área entre los dos sustratos se puede llenar con un gas seco, tal como un gas inerte seco.

25 En un quinto aspecto, la presente invención proporciona un método para la fabricación de un concentrador solar, que comprende las etapas de:

(i) proporcionar uno o más elementos ópticos para un concentrador solar, el uno o más elementos ópticos comprende una pluralidad de grupos de microestructuras circulares y dispuestas concéntricamente alrededor de un punto central, cuyas microestructuras se disponen para refractar la luz incidente normal al plano del concentrador solar hacia el punto central, en el que:

el ángulo de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico dentro de cada grupo aumenta con el aumento de la distancia radial desde el punto central;

35 los ángulos de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico de cada uno de los grupos individuales se seleccionan de tal manera que formen un área focal común a todos los grupos en un plano focal del elemento óptico, cuando se ilumina por la luz incidente normal al plano del elemento óptico; y

40 los ángulos de las microestructuras con respecto al plano del elemento óptico de cada uno de los grupos individuales se seleccionan de tal manera que, cuando se iluminan por la luz incidente normal al plano del elemento óptico, la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro de un grupo dado y la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central dentro de un grupo dado se cruzan en un plano que es más cercano al elemento óptico que es el plano focal;

(ii) disponer el uno o más elementos ópticos cada uno para enfocar la radiación solar sobre un área focal;

(iii) colocar un colector de energía solar en la o cada área focal.

45 Preferiblemente, el uno o más elementos ópticos están cada uno de acuerdo con el primer aspecto de la invención. Preferiblemente, el concentrador solar está de acuerdo con el segundo aspecto de la invención. Preferiblemente, el método comprende además la fabricación del uno o más elementos ópticos de acuerdo con el cuarto aspecto de la invención. Cuando se utiliza el elemento óptico de acuerdo con el primer aspecto de la invención y comprende una película protectora sobre el lado estructurado del recubrimiento de silicona transmisor de luz, el método preferiblemente comprende además la etapa de retirar la película protectora antes de la etapa ii).

50 Volviendo a la Figura 15, esta Figura muestra la fabricación de una realización del elemento óptico del primer aspecto de la invención de acuerdo con una realización del método para la fabricación del cuarto aspecto de la invención.

La Figura 15A es relevante para la etapa (a) de una realización preferida del método del cuarto aspecto de la invención, y muestra un sustrato 20 de vidrio transmisor que tiene recubrimientos 40 y 50 nanoestructurados antirreflectantes sobre las superficies posterior y frontal, respectivamente, del mismo.

La Figura 15B es relevante para la etapa (b) de una realización preferida del método del cuarto aspecto de la invención. Se aplica una gota o acumulación de resina 70 de silicona líquida a la superficie posterior del sustrato 20 de vidrio transmisor de luz, en contacto con el recubrimiento 40 nanoestructurado antirreflectante sobre la superficie posterior del sustrato 20. No se toman etapas activas para esparcir la gota o acumulación de la resina 70 de silicona líquida sobre el sustrato 20 para formar un recubrimiento continuo en este estadio.

La Figura 15C es relevante para la etapa (c) de una realización preferida del método del cuarto aspecto de la invención. Un molde en forma de película 80 termoplástica, que tiene las mismas dimensiones que el sustrato 20 de vidrio transmisor y que tiene en una superficie microestructuras 85 de Fresnel que son la inversa de las microestructuras de Fresnel que se forman en el elemento óptico, se pone en contacto con la gota o acumulación de resina 70 de silicona líquida y los bordes de la película 80 termoplástica se alinean con los bordes del sustrato 20 de vidrio transmisor. Un rodillo 90 que tiene un ancho igual o que excede el ancho del sustrato 20 de vidrio transmisor de luz y la película 80 termoplástica se pone en contacto con la superficie no estructurada de la película 80 termoplástica, es decir, el lado de la película 80 termoplástica que no está en contacto con la gota o el acumulación de resina 70 de silicona líquida, y presiona la película 80 termoplástica contra el sustrato 20 de vidrio transmisor de luz, esparciendo de esta manera la gota o acumulación de resina 70 de silicona líquida a través de la superficie posterior del sustrato 20 de vidrio transmisor de luz para cubrir la parte posterior superficie, y también haciendo que la resina 70 de silicona líquida adopte la forma de las microestructuras formadas en la película 80 termoplástica. El rodillo 90 se enrolla a lo largo del sustrato 20 de vidrio transmisor de luz (de izquierda a derecha como se representa en la Figura 15C) para presionar sucesivamente las áreas de la película 80 termoplástica en contacto con la resina 70 de silicona líquida y contra el sustrato 20 de vidrio transmisor de luz, hasta que la totalidad de la película 80 termoplástica se extiende sobre el sustrato 20 de vidrio transmisor de luz y la resina 70 de silicona líquida se esparce entre la película 80 termoplástica y el sustrato 20 de vidrio transmisor de luz y ha llenado las microestructuras 85 de la película 80 termoplástica para adoptar su conformación.

La Figura 15D es relevante para la etapa (d) de una realización preferida del método del cuarto aspecto de la invención. El ensamblaje del sustrato 20 de vidrio transmisor de luz, la resina 70 de silicona líquida y la película 80 termoplástica se someten a las condiciones de curado adecuadas para la resina 70 de silicona líquida, tales como el calentamiento a 40 °C durante 10 h. Durante este tiempo, la resina 70 de silicona líquida se cura y solidifica, adoptando permanentemente la forma de las microestructuras 85 de Fresnel de la película 80 termoplástica, formando de esta manera un recubrimiento 30 de silicona transmisor de luz que tiene microestructuras 35 de Fresnel.

La película 80 termoplástica se puede dejar en contacto con el recubrimiento 30 de silicona transmisor de luz 30 después de la etapa de curado para que funcione como una película protectora hasta que el elemento 10 óptico se incorpore a un concentrador solar o se ponga en uso de otro modo. En ese momento, la película 80 termoplástica se puede desprender del recubrimiento 30 de silicona transmisor de luz y desecharse o reutilizarse.

En un segundo aspecto, la presente invención proporciona un concentrador solar que comprende un elemento óptico de acuerdo con el primer aspecto de la invención.

De forma adecuada, el concentrador solar puede comprender más de un elemento óptico de acuerdo con el primer aspecto de la invención, tal como una matriz de elementos ópticos. De forma adecuada, cada elemento óptico puede enfocar la radiación incidente sobre un área focal asociada.

De forma adecuada, el concentrador solar comprende además uno o más colectores solares, o receptores, posicionados para recibir la radiación que pasa a través de y se enfoca en el(los) elemento(s) óptico(s). El uno o más colectores solares se posicionan dentro del área focal asociada con el o cada elemento óptico comprendido en el concentrador solar. De forma adecuada, los colectores solares se pueden seleccionar cada uno de celdas fotovoltaicas o un intercambiador de calor dispuesto para ser calentado por la radiación solar incidente y para transferir ese calor a un fluido de transferencia de calor. De forma adecuada, cuando el colector solar es una celda fotovoltaica, el concentrador solar comprende además cableado y circuitos adecuados para transferir la energía eléctrica producida por la celda fotovoltaica a un consumidor adecuado de, o medio de almacenamiento de, energía eléctrica, tal como un circuito eléctrico doméstico o una batería. De forma adecuada, cuando el colector solar es un intercambiador de calor, el colector solar comprende además conductos adecuados para transportar el fluido de transferencia de calor a un consumidor de energía térmica o un medio de almacenamiento de energía térmica, tal como un generador de vapor, o un disipador de calor.

Preferiblemente, el concentrador solar comprende además un soporte para el uno o más elementos ópticos. Preferiblemente, el soporte mantiene el uno o más elementos ópticos en una orientación deseada. Cuando más de un elemento óptico está comprendido en el concentrador solar, preferiblemente el soporte mantiene la pluralidad de elementos ópticos en una relación deseada entre sí. De forma adecuada, la pluralidad de elementos ópticos se puede mantener en una matriz planar. Preferiblemente, el soporte se dispone de tal manera que se maximiza el área del uno o más elementos ópticos a través de la cual se puede transmitir y enfocar la radiación; por ejemplo, al menos 90 % del área de cada uno del uno o más elementos ópticos está disponible para transmitir y enfocar la radiación incidente. De forma adecuada, el soporte puede comprender dos o más vigas de soporte que se extienden en una dirección mutuamente paralela, por ejemplo, con sus ejes longitudinales alineados y separados a intervalos regulares, y

preferiblemente con sus extremos proximales alineados entre sí y con sus extremos distales alineados entre sí, de tal manera que las dos o más vigas de soporte definen un plano cuadrilátero, tal como un plano rectangular o cuadrado.

5 Preferiblemente, el concentrador solar comprende además un montaje que permite que se ajuste la posición del uno o más elementos ópticos con respecto a la radiación incidente, preferiblemente permite que el uno o más elementos ópticos se coloquen de tal manera que la radiación incidente sea ortogonal al plano del uno o más elementos ópticos. De forma adecuada el montaje puede comprender una junta giratoria. Cuando se incluye un soporte en el concentrador solar, el montaje se fija de forma adecuada al soporte y permite que se ajuste la posición del soporte. Preferiblemente, el montaje comprende además un rastreador solar que actúa para ajustar la posición del uno o más elementos ópticos con respecto a la radiación incidente para mantener la radiación incidente ortogonal (o lo más cerca posible de la ortogonal) al plano del uno o más elementos ópticos durante un periodo de dos o más horas, tal como tres o más horas, cuatro o más horas, seis o más horas, tal como ocho o más horas, tal como 12 o más horas.

10 En un tercer aspecto, la presente invención proporciona un método para reducir el riesgo de daño por fuego o calor provocado por la luz incidente no normal al plano de un concentrador solar, en el que un elemento óptico planar de acuerdo con el primer aspecto de la invención se sustituye por un elemento óptico planar convencional que no está de acuerdo con la invención, tal como una lente de Fresnel que no forma imágenes o una lente de Fresnel que forma imágenes, tales como aquellas que tienen una relación entre el ángulo y el radio de la microestructura como se describió anteriormente en relación con la Figura 1.

15 La Figura 16 muestra una realización del concentrador solar de la invención. El concentrador 100 solar comprende un soporte 110 para los elementos 120, 125, 130, 135, 140, 145, 150 y 155 ópticos. Cada elemento 120, 125, 130, 135, 140, 145, 150 y 155 óptico es una hoja transmisora de luz rectangular plana capaz de enfocar la radiación electromagnética sobre un receptor o solar colector, 210, 215, 220, 225, 230, 235, 240, 245 respectivamente. Los elementos ópticos son como se ha descrito anteriormente en relación con el primer aspecto de la invención, y están montados sobre el soporte 110 de manera que las superficies posteriores de los elementos ópticos estén en contacto con el soporte 110.

20 El soporte 110 comprende cinco vigas de apoyo 160 de igual longitud y sección rectangular cada una, que se extienden en dirección paralela entre sí con sus ejes longitudinales alineados y espaciados a intervalos regulares, estando alineados sus extremos 161 distales entre sí y sus extremos 162 proximales alineados entre sí, de manera que las cinco vigas de apoyo definen juntas un plano rectangular, en cuya cara anterior, es decir, la cara sobre la que incide la luz en uso, se montan los elementos 120, 125, 130, 135, 140, 145, 150 y 155 ópticos en una disposición rectangular plana, en este caso una matriz de 2 x 4. El montaje se realiza mediante abrazaderas que se apoyan en las vigas de apoyo y las superficies superiores de los elementos ópticos, que se atornillan entre sí, con una junta de goma entre la placa de la abrazadera y el elemento óptico para proteger el sustrato de vidrio de la fuerza ejercida por la abrazadera. Las propias vigas 160 de soporte están soportadas desde la cara posterior del plano rectangular definido por las vigas 160 de soporte y en los puntos medios de sus longitudes por una viga 170 de montaje que tiene una sección transversal rectangular, cuya viga de montaje que se coloca transversalmente a las vigas de soporte y sobre cuya viga de montaje se montan las vigas de soporte a intervalos regulares mediante abrazaderas en la viga de montaje que se atornillan a las vigas de soporte. La viga 170 de montaje se apoya en el poste 180 de montaje cuyo extremo superior (como se dibuja) está unido de forma móvil al punto medio longitudinal de la viga 170 de montaje mediante una junta 190 giratoria que permite el ajuste del ángulo del plano rectangular definido por las vigas 160 de soporte con respecto a la superficie sobre la que se monta el poste 180 de montaje. La junta 190 giratoria permite el seguimiento del sol en dos direcciones, altura y acimut. El extremo inferior (como se dibuja) del poste 180 de montaje se monta en una superficie sobre la que se desea colocar el colector solar, por ejemplo, en el suelo o en un techo.

25 En la viga 170 de montaje también se apoyan cuatro soportes 250 de montaje del receptor. Cada uno de estos toma la forma de dos vigas de sección transversal rectangular unidas para formar una T. Cada soporte de montaje de receptor 250 funciona para soportar dos receptores 210 y 230, 215 y 235, 220 y 240, 225 y 245 de tal manera que cada receptor se mantenga en el área focal del elemento 120 y 140, 125 y 145, 130 y 150, 135 y 155 óptico correspondiente respectivamente. De acuerdo con lo anterior, cada receptor está montado en los dos extremos distales de la viga que forman la línea transversal de la forma de T, por medio de un soporte atornillado a la viga y al receptor. El tercer extremo de cada uno de los soportes 250 de montaje del receptor en forma de T se une a la viga 170 de montaje de manera que el plano en el que se sujetan los receptores 210, 215, 220, 225, 230, 235, 240 y 245 sea paralelo al plano formado por el conjunto de elementos 120, 125, 130, 135, 140, 145, 150 y 155 ópticos.

30 Cada uno de los receptores 210, 215, 220, 225, 230, 235, 240 y 245 es un intercambiador de calor que absorbe la luz solar enfocada para convertirla en calor. Un fluido circula a través del intercambiador de calor y es calentado por la luz solar incidente. Los receptores están conectados en serie a través de conductos 275 que transportan el fluido circulante a través de los intercambiadores de calor para permitir que el fluido se caliente. Luego, el fluido se transporta a través del punto 260 de conexión del conducto, que a su vez puede estar conectado a un almacenamiento térmico o a un aparato que requiera energía térmica, como una turbina de vapor, un enfriador de absorción o un aparato de desalinización térmica.

35 En uso, la junta 190 giratoria se ajusta para que el plano del conjunto de elementos ópticos pueda recibir la luz 280 solar incidente ortogonalmente al plano del conjunto. La luz 280 solar incidente se transmite a través de los elementos

- 120, 125, 130, 135, 140, 145, 150 y 155 ópticos y se enfoca hacia cada uno de los receptores 210, 215, 220, 225, 230, 235, 240 y 245. Aquí, la luz 290 solar enfocada se convierte en calor mediante los receptores del intercambiador de calor, y el calor así generado se transporta a través de conductos 275 al punto 260 de conexión de conductos, desde donde se transporta a un aparato que requiere calor, o a un almacenamiento adecuado (no mostrado). La junta giratoria puede estar provista de un seguidor solar (no mostrado) que actúa para mantener el plano del conjunto de elementos ópticos ortogonal a la luz 280 solar incidente, o lo más cerca posible en la práctica, para maximizar la eficiencia de recolección de energía solar por parte del colector solar.
- 5
- En un sexto aspecto, la presente invención proporciona un molde para su uso en la fabricación de un elemento óptico de acuerdo con el cuarto aspecto de la invención, en el que el elemento óptico comprende:
- 10 un sustrato de vidrio transmisor de luz que tiene una superficie frontal sobre la que incide la radiación electromagnética durante el uso y una superficie posterior opuesta a la superficie frontal; y
- un recubrimiento de silicona transmisora de luz en la superficie posterior y/o frontal del sustrato;
- en el que el recubrimiento de silicona ha formado sobre él la pluralidad de grupos de microestructuras concéntricas y dispuestas circularmente del elemento óptico del primer aspecto de la invención, y
- 15 en el que la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio sobre el que se forma el recubrimiento de silicona están rugosas;
- en el que el molde es para dar forma a una resina de silicona líquida sobre un sustrato de vidrio, y en el que el molde es una película termoplástica, en una de cuyas superficies se han formado microestructuras que son la inversa de las microestructuras que, adoptadas por el recubrimiento de silicona, proporcionan la pluralidad de grupos de microestructuras concéntricas y dispuestas circularmente.
- 20 En un séptimo aspecto, la presente invención proporciona un método de fabricación de un molde del sexto aspecto de la invención, el método comprende las etapas de:
- (i) proporcionar un rodillo de recubrimiento por extrusión giratorio para un proceso de recubrimiento por extrusión de polímero utilizando un material termoplástico, cuyo rodillo de recubrimiento por extrusión tiene las microestructuras formadas en su superficie;
- 25 (ii) mantener la temperatura del rodillo giratorio de recubrimiento por extrusión por debajo de la temperatura de solidificación del material termoplástico;
- (iii) mover una lámina portadora entre el rodillo giratorio de recubrimiento por extrusión y un rodillo giratorio de contrapresión a una velocidad dada correspondiente a la velocidad de rotación del rodillo giratorio de recubrimiento por extrusión
- 30 (iv) aplicar continuamente una masa fundida de material termoplástico entre la hoja de soporte móvil y el rodillo giratorio de recubrimiento por extrusión, por lo que dicha masa fundida termoplástica se solidifica al entrar en contacto con dicho rodillo de recubrimiento por extrusión, formando de esta manera un recubrimiento termoplástico microestructurado sólido sobre dicha hoja portadora, cuyo recubrimiento ha formado microestructuras que son la inversa de las microestructuras que proporcionan la pluralidad de grupos de microestructuras concéntricas y
- 35 dispuestas circularmente del elemento óptico del primer aspecto de la invención.
- Adecuadamente, el rodillo de recubrimiento por extrusión es un rodillo de enfriamiento de acero revestido con un patrón de metal, tal como un manguito de níquel, que tiene microestructuras formadas sobre el mismo. Alternativamente, las microestructuras se pueden formar imprimiéndolas sobre la superficie de un rodillo de recubrimiento por extrusión convencional. Las microestructuras se pueden formar en el patrón de metal utilizando cualquier método adecuado, como el torneado con diamante de un solo punto. Convenientemente, el rodillo de recubrimiento por extrusión y/o el rodillo de contrapresión pueden enfriarse mediante cualquier método de enfriamiento adecuado, como por circulación de agua u otro fluido refrigerante a través del interior del rodillo.
- 40
- Adecuadamente, la lámina portadora es una lámina termoplástica que tiene una temperatura de reblandecimiento lo suficientemente alta como para que la extrusión del polímero fundido sobre ella no provoque el reblandecimiento o la deformación de la lámina portadora. Los materiales de lámina portadora adecuados son PET (tereftalato de polietileno) o nailon. Preferiblemente, la hoja de soporte es PET (tereftalato de polietileno). Adecuadamente, el grosor de la hoja de soporte es de 12 μm a 75 μm , como 50 μm .
- 45
- Convenientemente, el material termoplástico es un polímero termoplástico que tiene una temperatura de reblandecimiento que es suficientemente inferior a la de la lámina portadora para que el polímero termoplástico fundido se pueda aplicar a la lámina portadora sin causar reblandecimiento o deformación de la lámina portadora. Los materiales termoplásticos adecuados incluyen polietileno, polipropileno o resinas de ionómero tales como Surlyn®. Preferiblemente, el material termoplástico es polipropileno. Adecuadamente, el espesor del fundido del material termoplástico que se aplica a la lámina portadora móvil es de 10 a 80 μm , preferiblemente de 30 μm a 60 μm , tal como
- 50 45 μm .

Convenientemente, el molde, y por lo tanto la lámina portadora, tiene el mismo ancho que el sustrato de vidrio al que se pretende aplicar el molde; de acuerdo con lo anterior, las dimensiones de ancho discutidas anteriormente con respecto al sustrato de vidrio también son preferibles para el molde y la lámina portadora.

5 Dado que en algunos aspectos de la invención se prefiere utilizar el molde no solo como molde sino también como una película protectora para proteger el recubrimiento de silicona microestructurada durante el almacenamiento y el tránsito antes de la instalación del elemento óptico en un concentrador solar, se prefiere que los materiales utilizados para la lámina portadora en particular, y en cierta medida también el material termoplástico, se elijan con este propósito en mente. Por lo tanto, la hoja de soporte, que se expone al entorno cuando el molde se deja en su lugar como una película protectora, debe ser resistente al rayado y la abrasión para garantizar que el recubrimiento de silicona no se vea afectado por tales contactos con el molde. Preferiblemente, por lo tanto, la lámina portadora es PET.

10 La Figura 17 representa la fabricación de un molde, en forma de película 80 termoplástica microestructurada, para conformar una resina de silicona líquida sobre la superficie de un sustrato de vidrio. El aparato 300 de fabricación comprende un rodillo 310 desenrollador en el que se enrolla una lámina 320 de portador, el rodillo 330 de contra presión opuesto al rodillo 340 estructurado recubierto con un patrón de metal en la que las microestructuras 350 de lente de Fresnel circular se realizan mediante torneado de diamante de un solo punto, la boquilla 360 para suministrar el fundido 370 de polímero sobre la superficie de la película 320 portadora, y el rodillo 380 enrollador sobre el cual la película 80 termoplástica microestructurada se enrolla después de su fabricación. El rodillo 330 de contrapresión y el rodillo 340 estructurado están colocados de manera que formen una línea 390 de contacto entre ellos, a través del cual pasan la lámina 320 portadora y el polímero 370 fundido.

20 En uso, la lámina 320 portadora, tal como una lámina portadora de PET, que tiene adecuadamente un espesor de 50 μm , se desenrolla parcialmente del rodillo 310 de desenrollado, se pasa por debajo de la boquilla 360 y a través de la línea 390 de contacto entre el rodillo 330 de contrapresión y el rodillo 340 estructurado, y se une al rodillo 380 de enrollado. Las perlas o gránulos de un polímero termoplástico como el polipropileno se cargan en una extrusora (no se muestra), y se calientan y extruden a través de la boquilla 360 para formar una masa fundida 370 de polímero que se forma como una capa, adecuadamente de 60 μm de espesor sobre la lámina 320 portadora corriente arriba de la línea 390 de contacto. Simultáneamente, la lámina 320 portadora se desenrolla del rodillo 310 de desenrollado y se enrolla sobre el rodillo 380 de enrollado para mover la lámina 320 portadora a una velocidad elegida a través de la línea 390 de contacto, y el fundido 370 de polímero se extrude sobre la lámina 320 portadora corriente arriba de la línea 390 de contacto a una velocidad de extrusión elegida, de tal manera que el fundido 370 de polímero esté soportada sobre una lámina 320 portadora cuando pasa a través de la línea 390 de contacto. El paso del fundido 370 de polímero a través de la línea 390 de contacto da como resultado que el fundido de polímero sea presionado contra las microestructuras 350 formadas en la superficie del rodillo 340 estructurado y adopte la forma de las microestructuras 350. Para facilitar este paso de estructuración, el rodillo 340 estructurado y/o el rodillo 330 de contrapresión se mantiene a una temperatura por debajo de la temperatura de solidificación del polímero fundido, de tal manera que el polímero 370 fundido sea lo suficientemente fluido para adoptar la forma de las microestructuras 350, pero lo suficientemente viscoso para mantener la forma de las microestructuras 350 una vez que el fundido haya pasado a través de la línea 390 de contacto y ya no esté en contacto con las microestructuras 350 del rodillo 340 estructurado. Aguas abajo de la línea 390 de contacto, la lámina 320 portadora y el polímero microestructurado se funden juntos para formar una película 80 termoplástica microestructurada. Adecuadamente, pueden proporcionarse medios de enfriamiento activos (no mostrados) aguas abajo de la línea 390 de contacto (es decir, en la dirección del rodillo 380 de enrollado) para acelerar la solidificación del fundido de polímero microestructurado.

Ejemplos

Ejemplo 1

45 Se fabrica una lente más segura con dimensiones de 1400 mm por 1400 mm y una distancia focal de 2000 mm mediante el siguiente procedimiento: Se calcula la geometría del elemento óptico de acuerdo con los principios descritos anteriormente, donde el área focal deseada en el eje tiene un diámetro de 100 mm. Se definen bandas (grupos de microestructuras) cada una de una anchura radial ($2x$) de 80 mm, donde los 40 mm interiores del grupo proyectan la luz a los 40 mm exteriores del área focal sin cruzar el centro de foco de la lente entre la lente y el plano focal, y los 40 mm exteriores proyectan la luz a los 40 mm exteriores opuestos del área focal habiendo cruzado la luz el centro de foco entre la lente y el plano focal. Esto deja un área central que tiene un radio de 10 mm centrado en el centro del foco sobre el cual no se dirige la luz, como se muestra en la Figura 12. La distribución de los ángulos de los prismas individuales se realiza ventajosamente de tal manera que más prismas dirigen la luz hacia la parte exterior del área focal, para compensar el área más alta más cercana al borde, por lo que se obtiene una distribución de energía uniforme.

55 Para producir la estructuración requerida del elemento óptico, primero se crea una matriz de latón con la geometría requerida cortada por torneado de diamante de un solo punto con una profundidad de línea de 50 μm y un paso variable (ancho de línea). El patrón se utiliza para crear una herramienta o un cliché para la producción en masa de una película de polímero mediante recubrimiento por extrusión rollo a rollo (R2R-EC). Un gran número de réplicas poliméricas termoplásticas se producen mediante dicho método R2R-EC para formar una red de película termoplástica que tiene formada una pluralidad de réplicas de las estructuras formadas en la herramienta o cliché, como se describió

60

anteriormente en relación con la Figura 17. Dichas réplicas de polímero se utilizan como una red de fundición para un proceso de fundición de silicona sobre un sustrato de vidrio, como se describe en detalle anteriormente en relación con la Figura 15. Después del curado de la resina de silicona, se retira la película polimérica y se crea el elemento óptico deseado. Posteriormente y opcionalmente, el elemento óptico se puede mejorar aún más añadiendo una capa extra de vidrio en el lado de la silicona para proteger la silicona y facilitar la limpieza de la superficie exterior del elemento óptico.

Ejemplo 2

Se fabrica una lente más segura con dimensiones de 1400 mm por 1400 mm y una distancia focal de 2000 mm mediante el siguiente procedimiento: Se calcula la geometría del elemento óptico de acuerdo con los principios descritos anteriormente, donde el área focal deseada en el eje tiene un diámetro de 60 mm. Se definen bandas (grupos de microestructuras) cada una de una anchura radial (2x) de 80 mm, donde los 40 mm interiores proyectan la luz a los 20 mm exteriores del área focal sin cruzar el centro de foco de la lente entre la lente y el plano focal, y los 40 mm exteriores proyectan la luz a los 20 mm exteriores opuestos del área focal habiendo cruzado la luz el centro de foco entre la lente y el plano focal. Esto deja un área central que tiene un radio de 10 mm centrado en el centro del foco sobre el cual no se dirige la luz, como se muestra en la Figura 12. La distribución de los ángulos de los prismas individuales se realiza ventajosamente de tal manera que más prismas dirigen la luz a la parte exterior del área focal, para compensar el área más alta más cercana al borde, por lo que se obtiene una distribución de energía uniforme.

Para producir la estructuración requerida del elemento óptico, primero se crea una matriz de latón con la geometría requerida cortada por torneado de diamante de un solo punto con una profundidad de línea de 50 pm y un paso variable (ancho de línea). El patrón se utiliza para crear una herramienta o un cliché para la producción en masa de una película de polímero mediante recubrimiento por extrusión rollo a rollo (R2R-EC). Se produce un gran número de réplicas poliméricas termoplásticas mediante dicho método R2R-EC, para formar una banda de película termoplástica que tiene formada en ella una pluralidad de réplicas de las estructuras formadas en la herramienta o cliché. Se forma una capa adhesiva en el lado de la tela opuesto al que se forman las réplicas. Dichas réplicas termoplásticas se laminan sobre un sustrato de vidrio utilizando la capa adhesiva y, por lo tanto, se crea el elemento óptico, como se describió anteriormente en relación con la Figura 14. Posteriormente y opcionalmente, el elemento óptico se puede mejorar aún más agregando una capa adicional de vidrio en el lado del lado del polímero para proteger el polímero y facilitar la limpieza de la superficie exterior del elemento óptico.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a realizaciones preferidas, se apreciará que son posibles varias modificaciones dentro del alcance de la invención.

En esta especificación, a menos que se indique expresamente lo contrario, la palabra 'o' se utiliza en el sentido de un operador que devuelve un valor verdadero cuando se cumple una o ambas condiciones establecidas, a diferencia del operador 'exclusivo o' que requiere que solo se cumpla una de las condiciones. La palabra 'que comprende' se utiliza en el sentido de 'que incluye' en lugar de significar 'que consiste en'.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un elemento (10) óptico planar que no forma imágenes para un concentrador (100) solar que comprende una pluralidad de grupos (n) de microestructuras (35) circulares y dispuestas concéntricamente alrededor de un punto (502) central, cuyas microestructuras se disponen para refractar la luz (60,501a) incidente normal al plano (504) del concentrador solar hacia el punto central, en el que:
- el ángulo de las microestructuras (570) con respecto al plano (504) del elemento óptico dentro de cada grupo (n) aumenta con el aumento de la distancia radial (r) desde el punto (502) central;
- 10 los ángulos de las microestructuras (570) con respecto al plano (504) del elemento óptico de cada uno de los grupos individuales (n) se seleccionan de tal manera que formen un área (510) focal común a todos los grupos en un plano (506) focal del elemento óptico, cuando se ilumina por la luz (60,501a) incidente normal al plano del elemento óptico; y
- 15 los ángulos de las microestructuras (570) con respecto al plano del elemento óptico de cada uno de los grupos individuales (n) se seleccionan de tal manera que, cuando se iluminan por la luz (60,501a) incidente normal al plano del elemento óptico, la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central dentro de un grupo dado y la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central dentro de un grupo dado se cruzan en un plano (518) más cercano al elemento óptico que es el plano (506) focal.
- 20 2. El elemento óptico planar que no forma imágenes de la reivindicación 1, en el que el área (510) focal común incluye, o rodea, un centro de foco que es la proyección del punto (502) central de la lente normal al plano (504) del elemento óptico sobre el plano focal.
3. El elemento óptico planar que no forma imágenes de la reivindicación 1 o reivindicación 2, en el que el elemento óptico está en la forma de una lente de Fresnel.
4. El elemento óptico planar que no forma imágenes de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el ángulo de las microestructuras (570) con respecto al plano del elemento (504) óptico dentro de cada grupo aumenta linealmente con el aumento de la distancia radial desde el punto (502) central.
- 25 5. El elemento óptico planar que no forma imágenes de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el área (510) focal común rodea, pero no incluye, el centro de foco y un área (522) circundante que tiene un radio calculado como el producto de la distancia entre el plano del elemento óptico y el plano focal medido normal al plano del elemento óptico, y la tangente de 0.275° .
- 30 6. El elemento óptico planar que no forma imágenes de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el punto en el que la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central del elemento óptico dentro de un grupo dado cruza el plano (506) focal y el punto en el que la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central del elemento óptico dentro de un grupo dado cruza el plano (506) focal están más separadas que la distancia entre la distancia radial más pequeña desde el punto central y la distancia radial más grande desde el punto central del elemento óptico dentro de ese grupo.
- 35 7. El elemento óptico planar que no forma imágenes de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el plano (518) en el que la luz refractada desde la distancia radial más pequeña desde el punto central del elemento óptico dentro de un grupo dado cruza la luz refractada desde la distancia radial más grande desde el punto central del elemento óptico dentro del mismo grupo está más cerca al plano del elemento óptico que X veces la distancia focal del elemento óptico, en donde X es menor que 1, preferiblemente menor que 0.9, más preferiblemente menor que 0.8, aún más preferiblemente menor que 0.7, tal como menor que 0.6, más preferiblemente menor que 0.5, aún más preferiblemente menor que 0.4, tal como menor que 0.3, más preferiblemente menor que 0.2, aún más preferiblemente menor que 0.1.
- 40 8. El elemento óptico planar que no forma imágenes de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que al menos uno de los grupos de microestructuras se divide en un subgrupo de radio más pequeño y un subgrupo de radio más grande por una discontinuidad (520) en el gradiente de los ángulos de las microestructuras de tal manera que ninguna de las microestructuras de cualquier subgrupo refracta normalmente la luz incidente sobre el centro (522) de foco en el plano (506) focal, y preferiblemente en el que ninguna de las microestructuras de cualquier subgrupo refracta normalmente la luz incidente para que incida sobre un área que rodea el centro de foco en el plano focal que tiene un radio calculado como la distancia perpendicular entre el elemento óptico y el plano focal \times la \tan de 0.275° .
- 45 9. El elemento óptico planar que no forma imágenes de acuerdo con la reivindicación 8, en el que, dentro de cada subgrupo, el ángulo de deflexión en el radio más pequeño y en el radio más grande dentro de cada subgrupo hace que la luz incidente en cada uno de estos radios cruce en un plano (524) más cercano al elemento óptico que es el plano (506) focal.
- 50 10. El elemento óptico planar que no forma imágenes de acuerdo con la reivindicación 8 o reivindicación 9, en el que los ángulos de deflexión de las microestructuras del subgrupo de radio más grande refractan normalmente la luz
- 55

incidente de tal manera que cruza una línea que une el punto central del elemento (502) óptico al centro de foco antes de que incida sobre el plano (506) focal, y los ángulos de deflexión de las microestructuras del subgrupo de radio más pequeño refractan normalmente la luz incidente de tal manera que no cruza una línea que une el punto central del elemento óptico al centro de foco antes de que incida sobre el plano focal.

- 5 11. Un concentrador solar que comprende un elemento óptico de acuerdo con cualquier reivindicación precedente.
12. Un método para la fabricación de un elemento óptico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, el método comprende:
- (i) proporcionar un sustrato;
- 10 (ii) formar una capa microestructurada sobre el sustrato en el que las microestructuras de la capa microestructurada son la pluralidad de grupos de microestructuras circulares y dispuestas concéntricamente del elemento óptico de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
13. Un método para la fabricación de un concentrador solar, que comprende las etapas de:
- (i) proporcionar uno o más elementos ópticos para un concentrador solar de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10;
- 15 (ii) disponer el uno o más elementos ópticos cada uno para enfocar la radiación solar sobre un área focal;
- (iii) colocar un colector de energía solar en la o cada área focal.
14. Un molde para uso en la fabricación de un elemento óptico de acuerdo con la reivindicación 12, en el que el elemento óptico comprende:
- 20 un sustrato de vidrio transmisor de luz que tiene una superficie frontal sobre la cual incide la radiación electromagnética en uso y una superficie posterior opuesta a la superficie frontal; y
- un recubrimiento de silicona transmisor de luz sobre la superficie posterior y/o frontal del sustrato;
- en el que el recubrimiento de silicona ha formado sobre el mismo la pluralidad de grupos de microestructuras concéntricas y dispuestas circularmente del elemento óptico del primer aspecto de la invención, y
- en el que la(s) superficie(s) del sustrato de vidrio sobre el cual se forma el recubrimiento de silicona es/son rugosa(s);
- 25 en el que el molde es para conformar una resina de silicona líquida sobre un sustrato de vidrio, y en el que el molde es una película termoplástica, en una de cuyas superficies se han formado microestructuras que son la inversa de las microestructuras que, cuando se adoptan por el recubrimiento de silicona, proporcionan la pluralidad de grupos de microestructuras concéntricas y dispuestas circularmente.
- 30 15. El uso de un elemento óptico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, o de un concentrador solar de acuerdo con la reivindicación 11, en una planta de energía solar, preferiblemente en la que el uso es para mejorar la seguridad de una planta de energía solar mediante el reemplazo de un elemento óptico convencional, tal como una lente de Fresnel que forma imágenes o una lente de Fresnel que no forma imágenes, con un elemento óptico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, o mediante el reemplazo de un concentrador solar que comprende elementos ópticos convencionales de la técnica anterior con un concentrador solar de acuerdo con la
- 35 reivindicación 11.

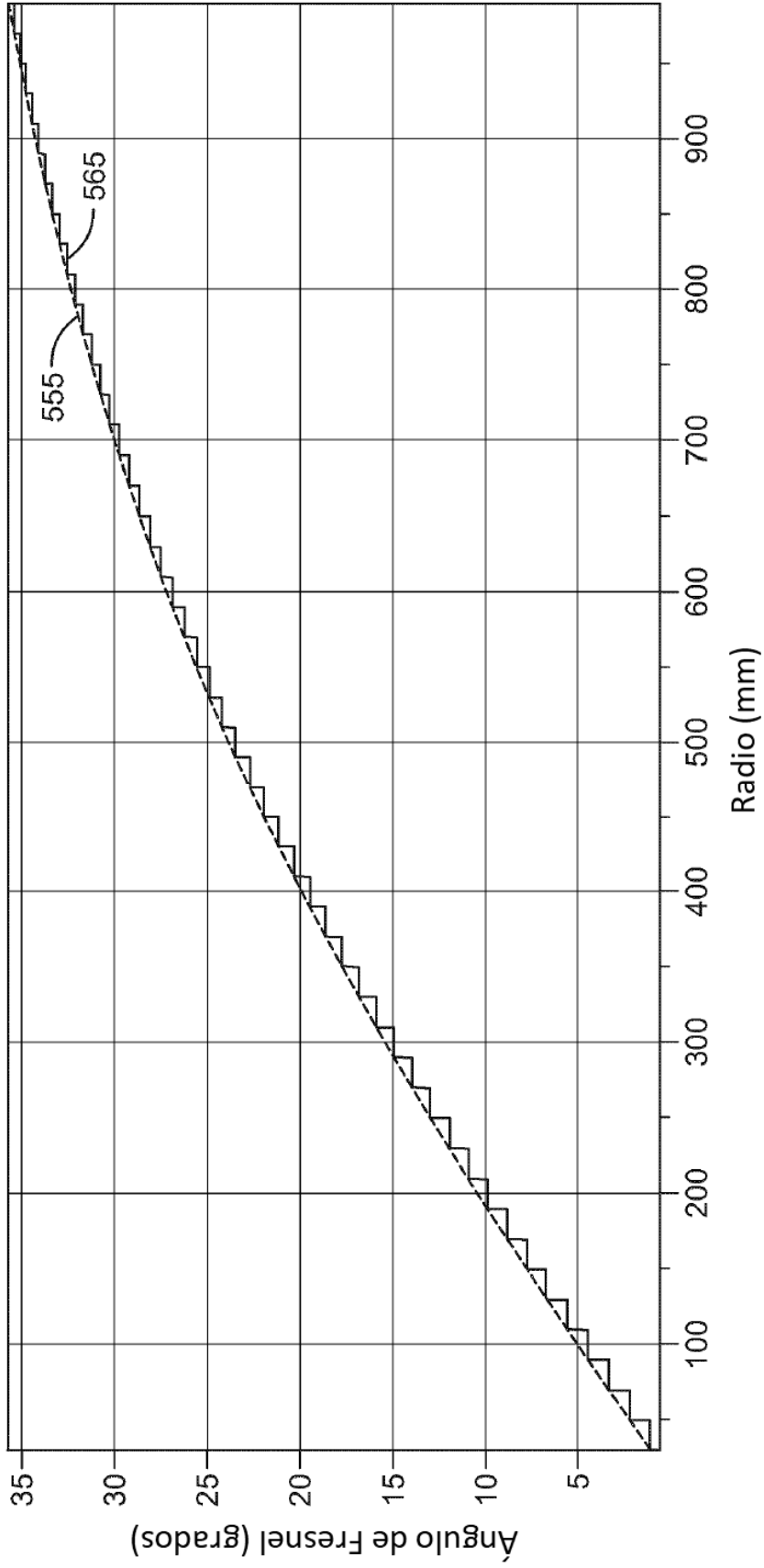


FIG. 1
(Técnica anterior)

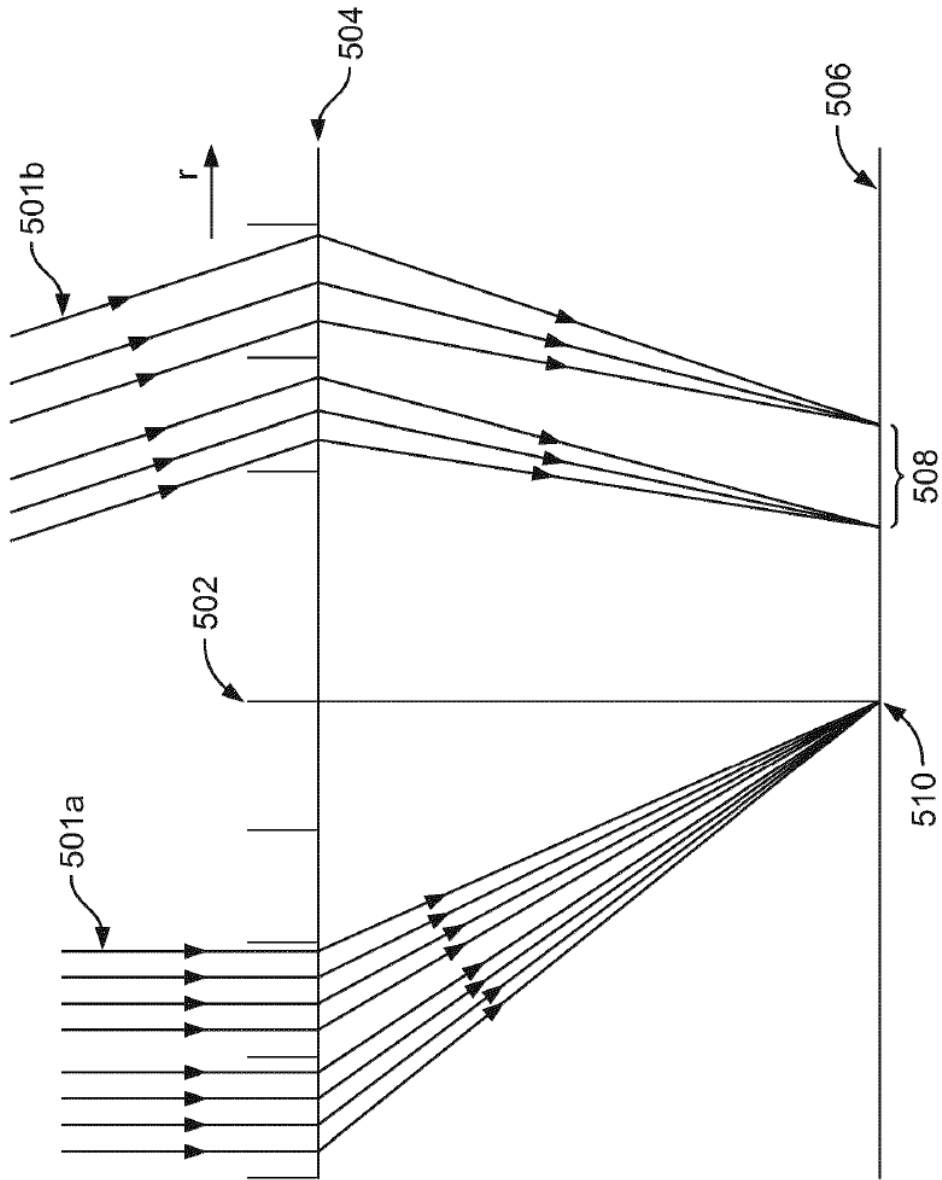


FIG. 2
(Técnica anterior)

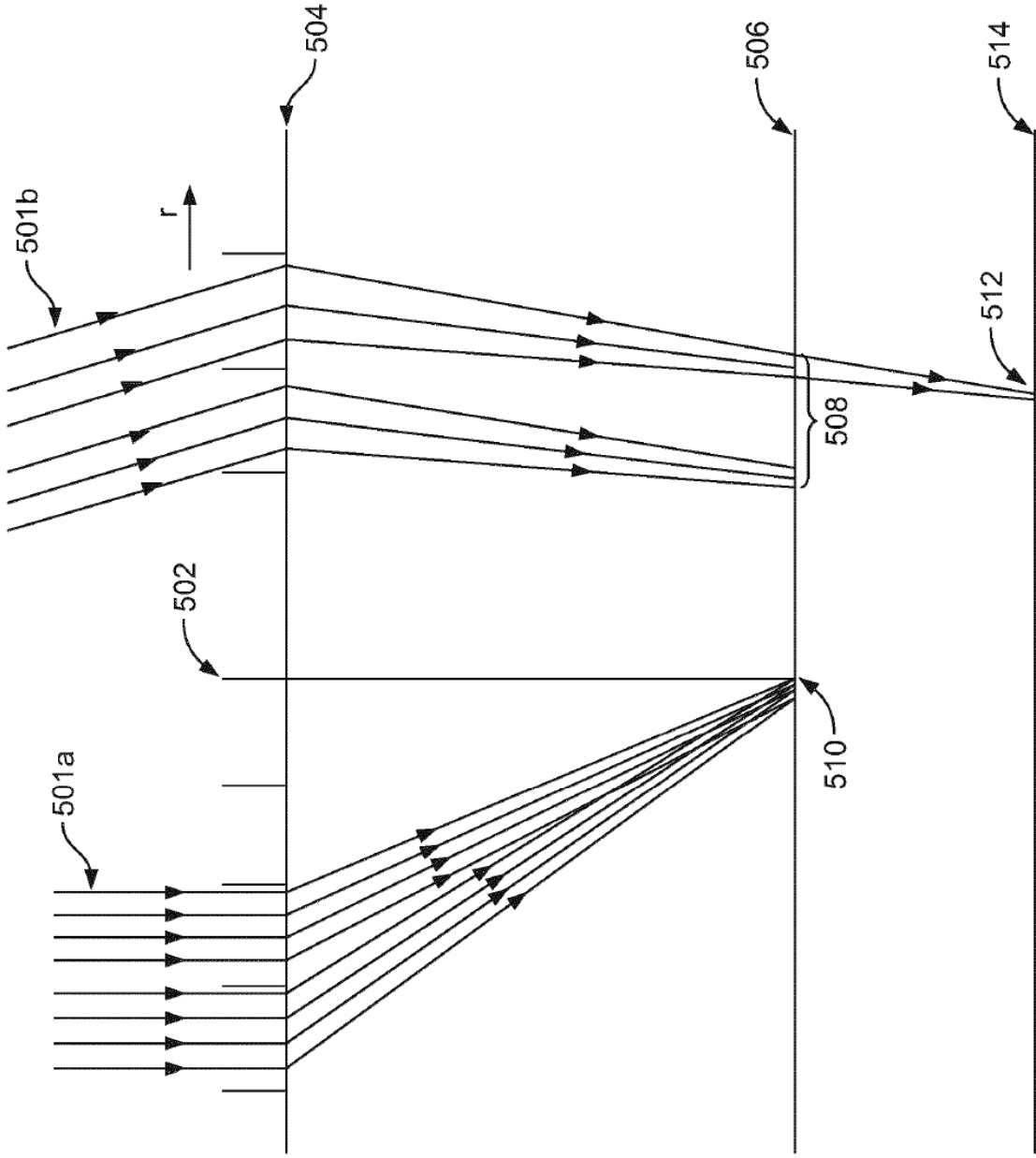


FIG. 3
(Técnica anterior)

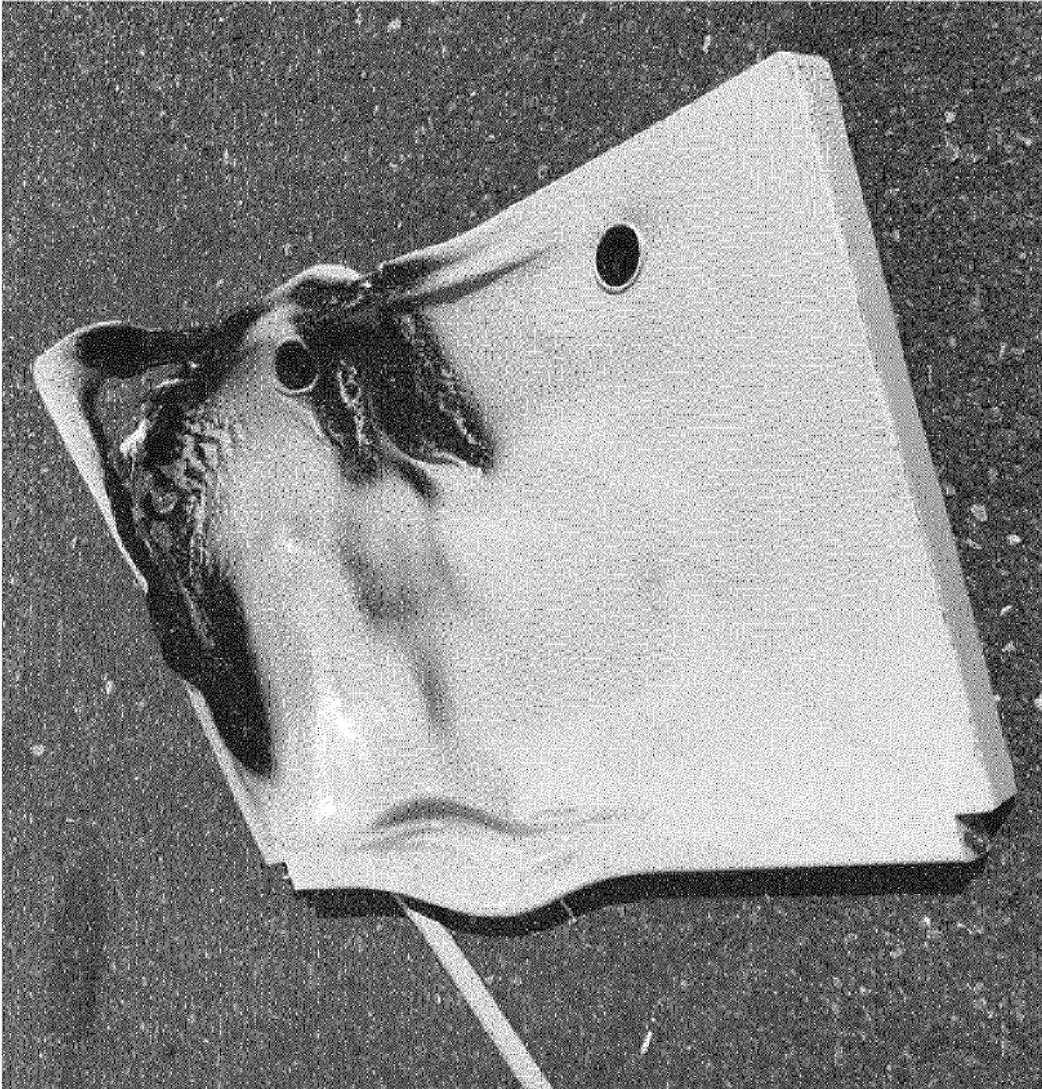


FIG. 4

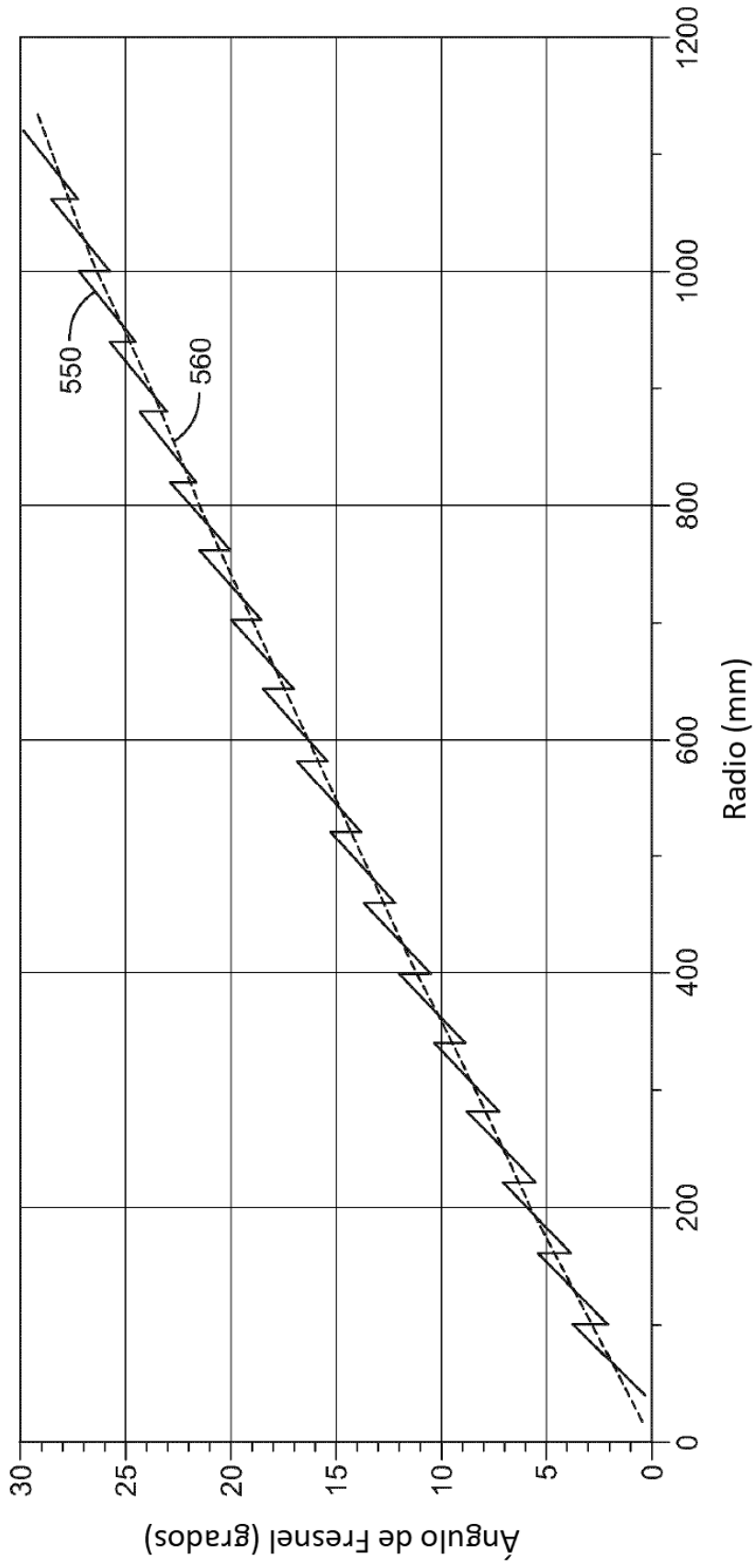


FIG. 5

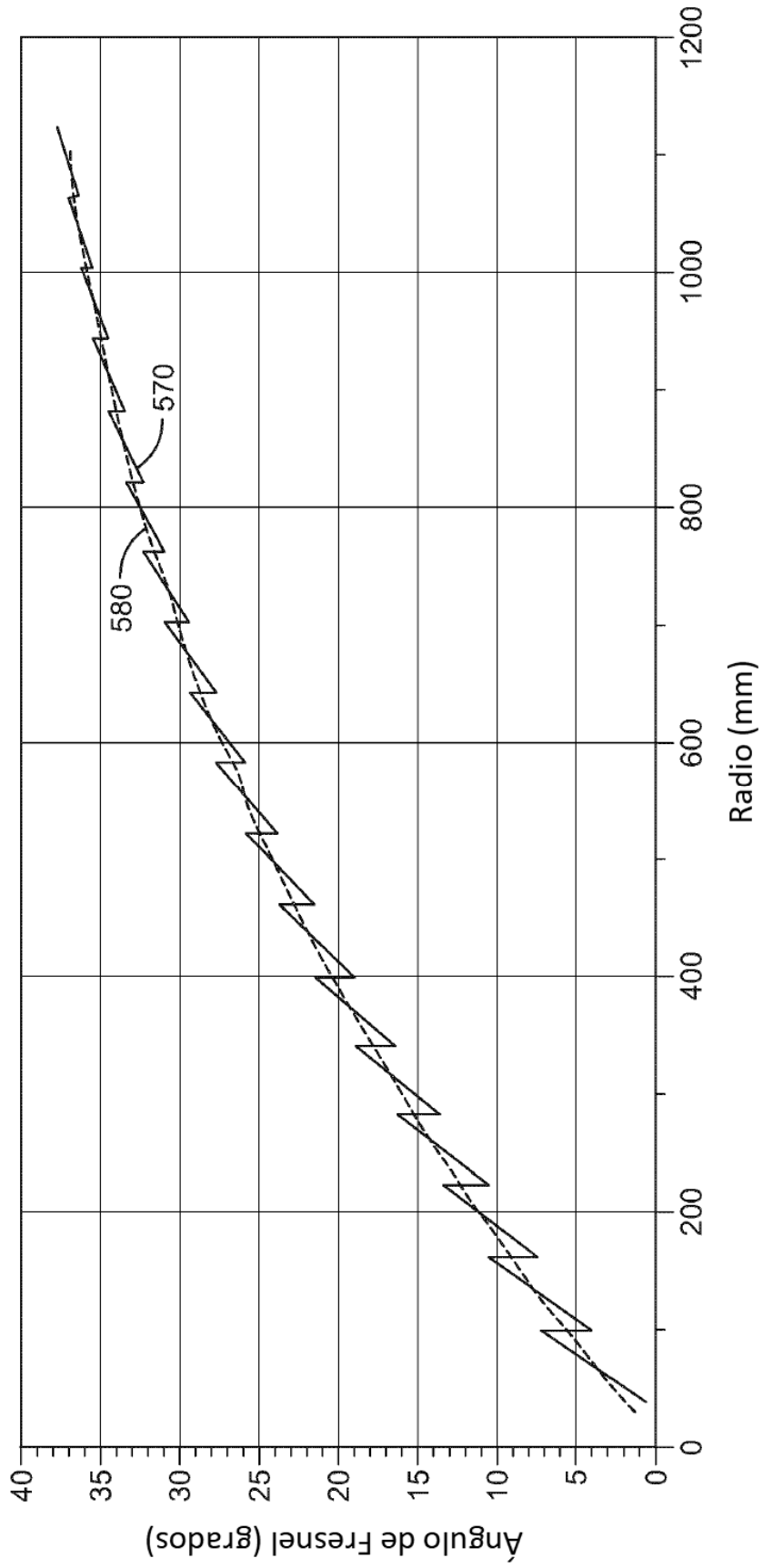


FIG. 6

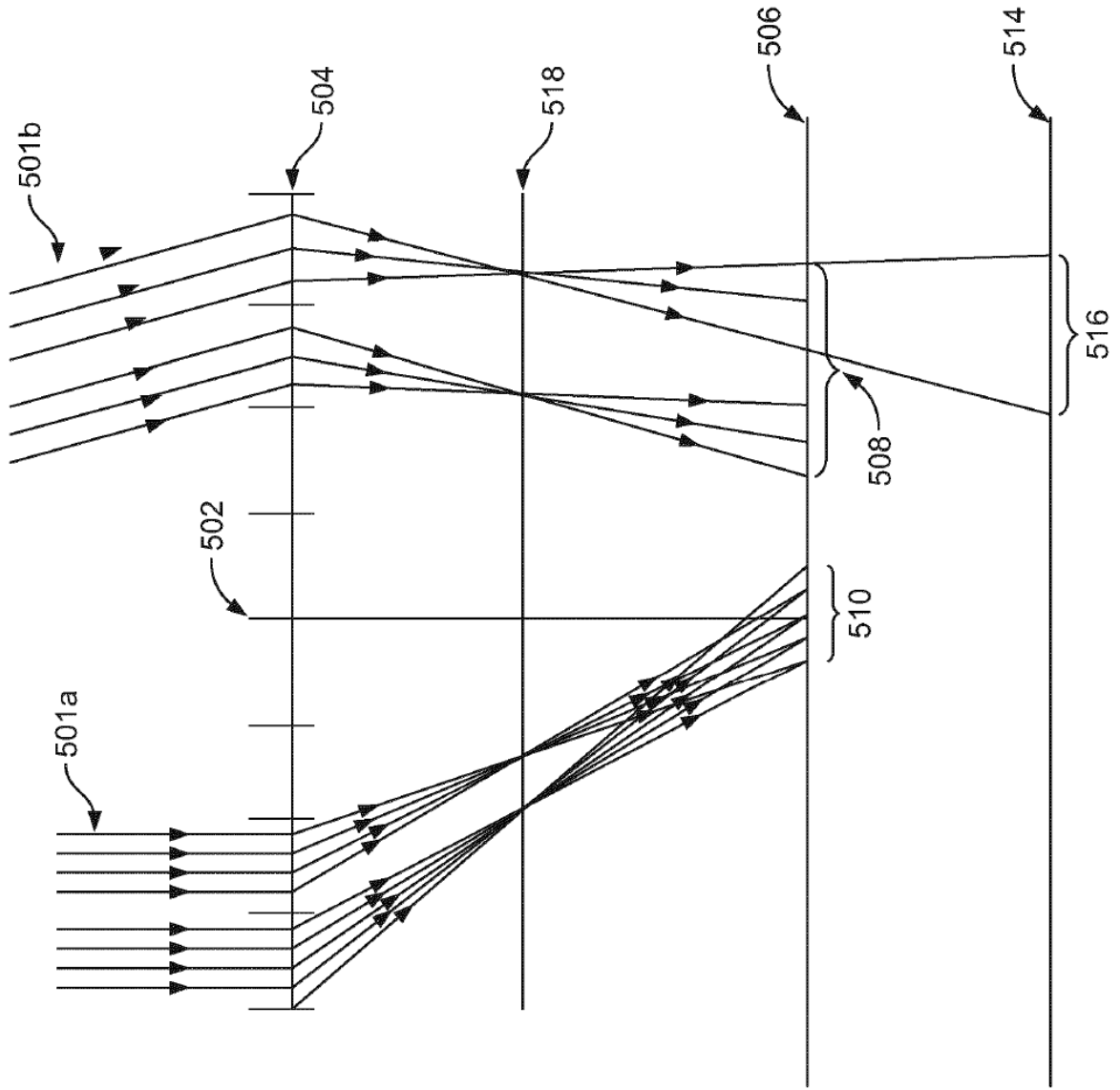


FIG. 7

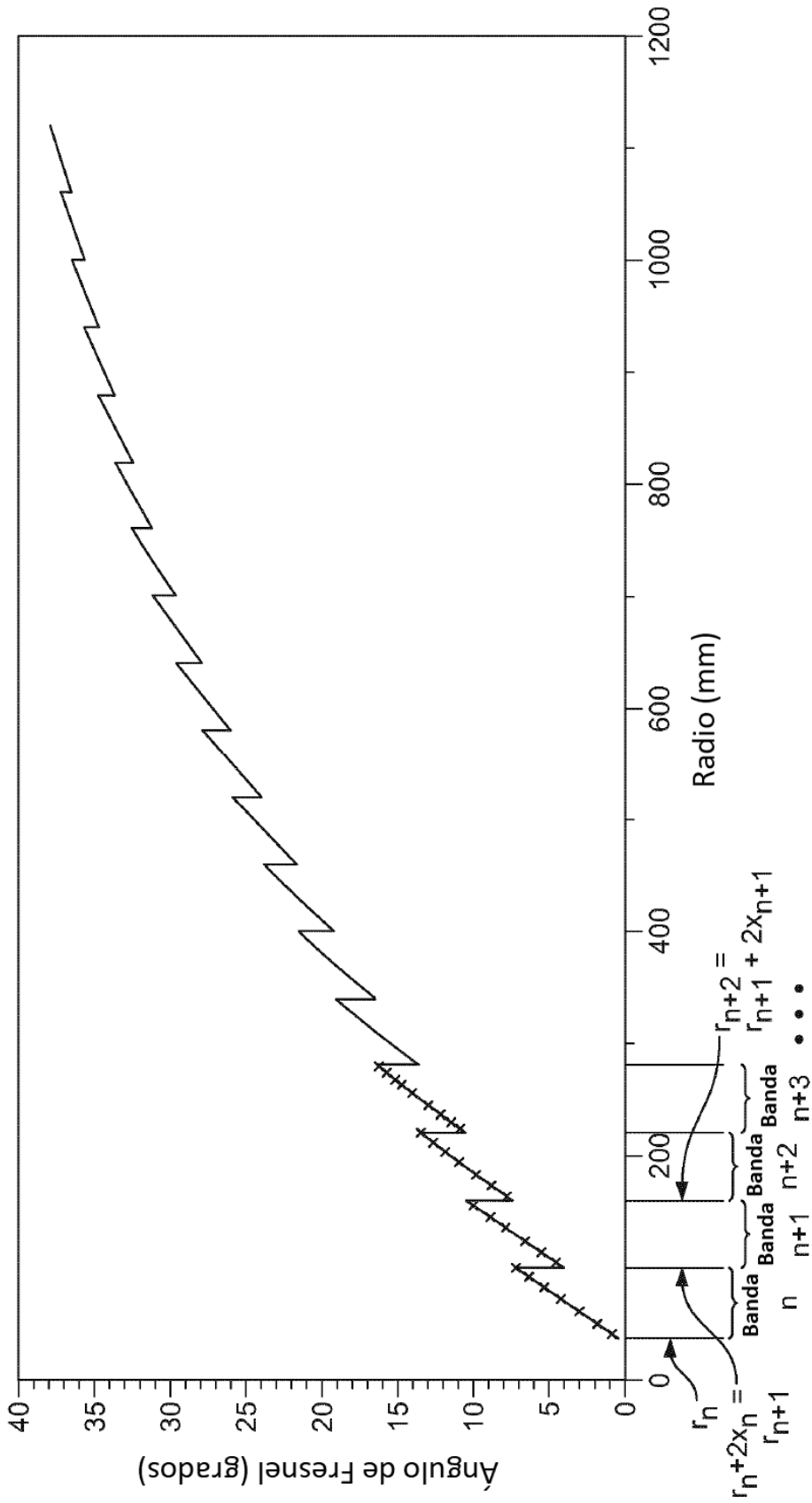


FIG. 8

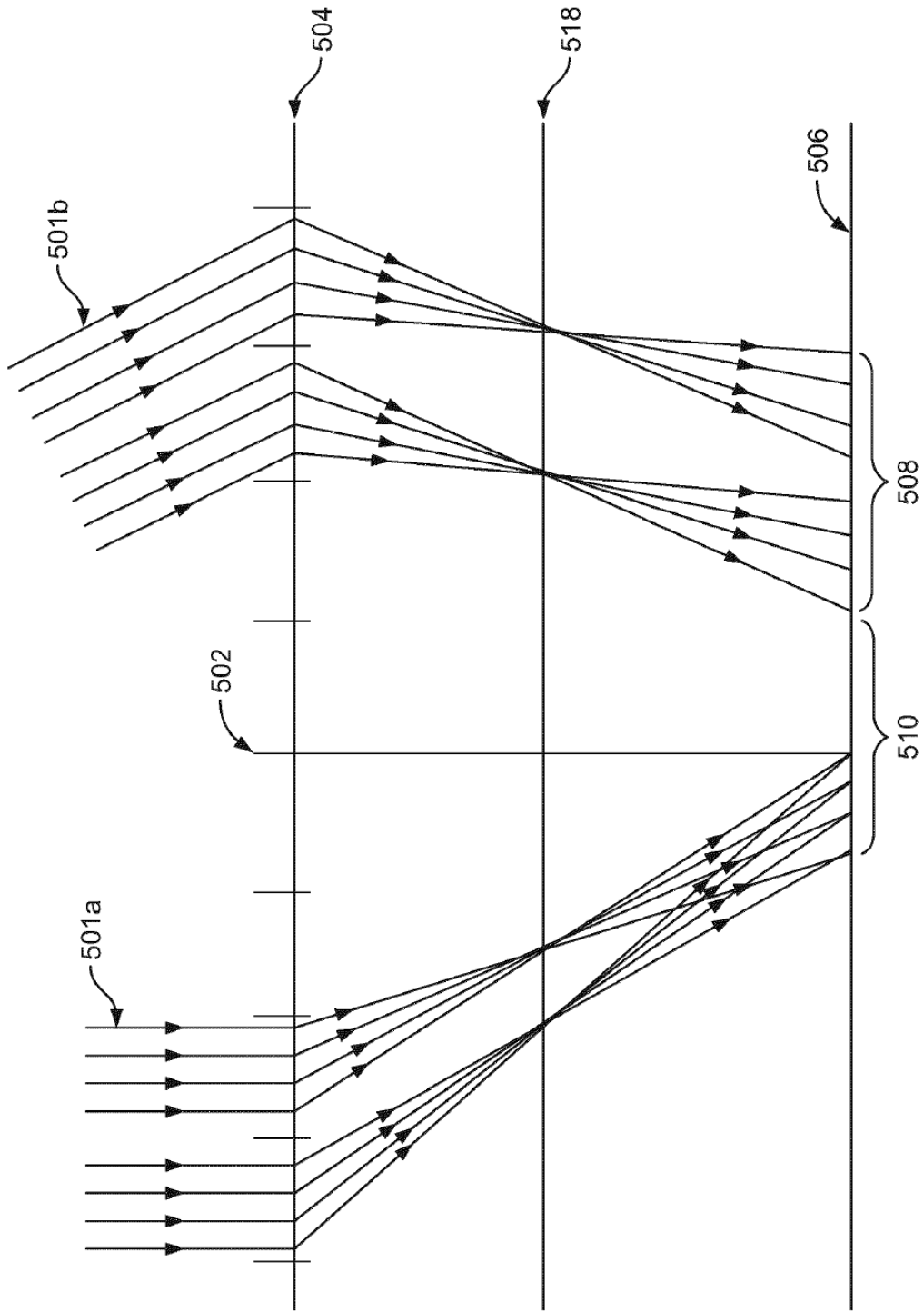


FIG. 9

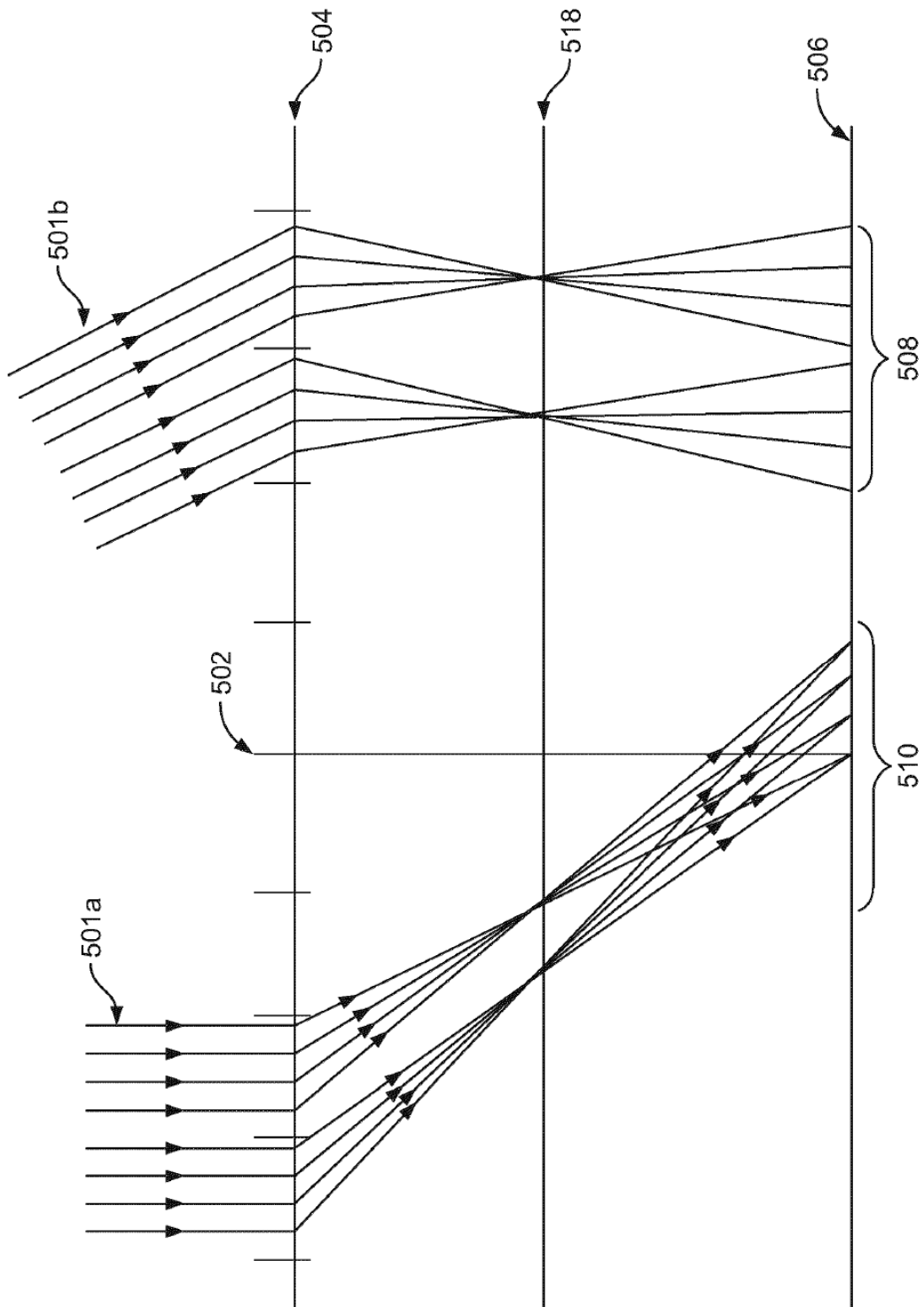


FIG. 10

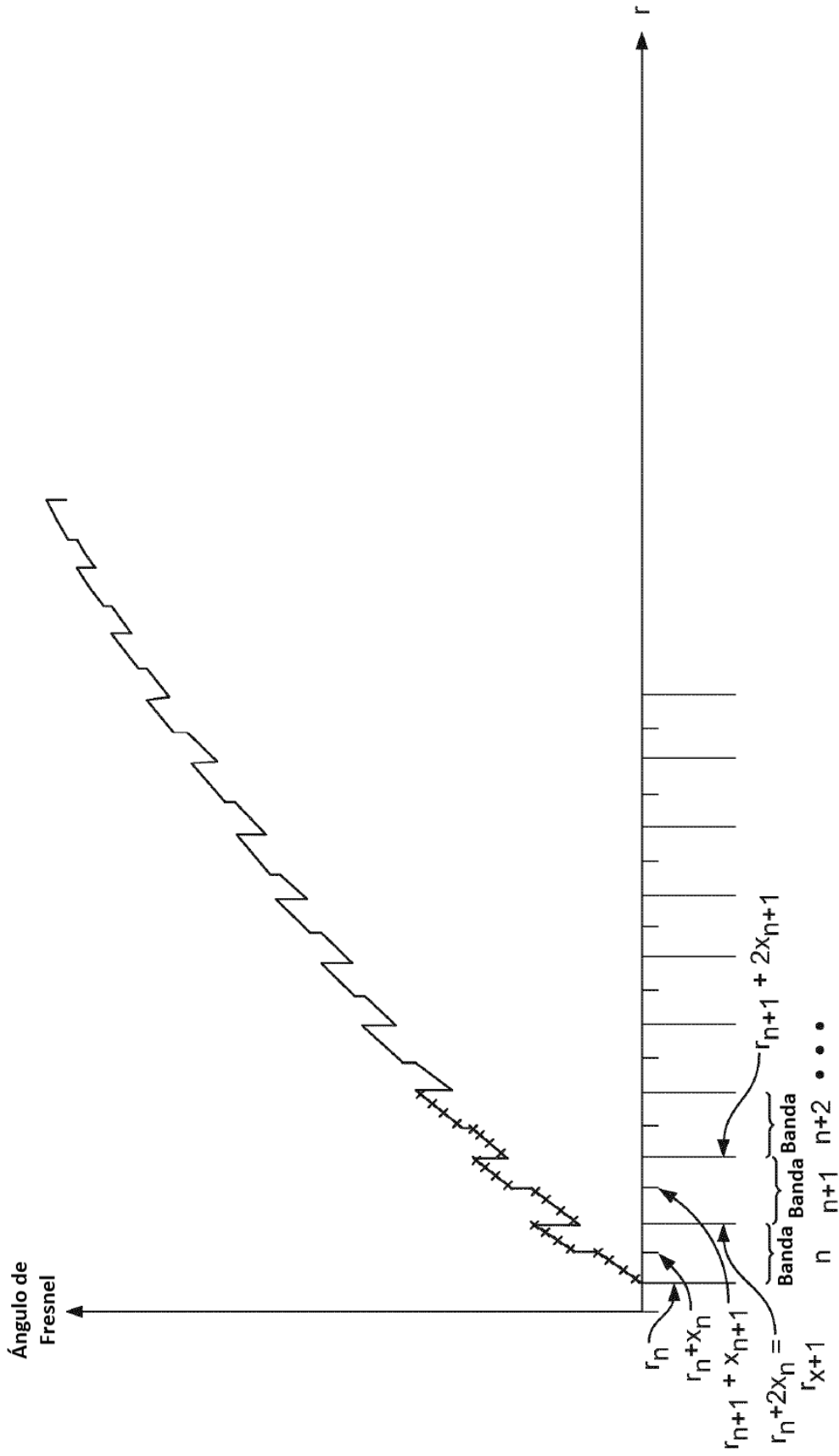


FIG. 11

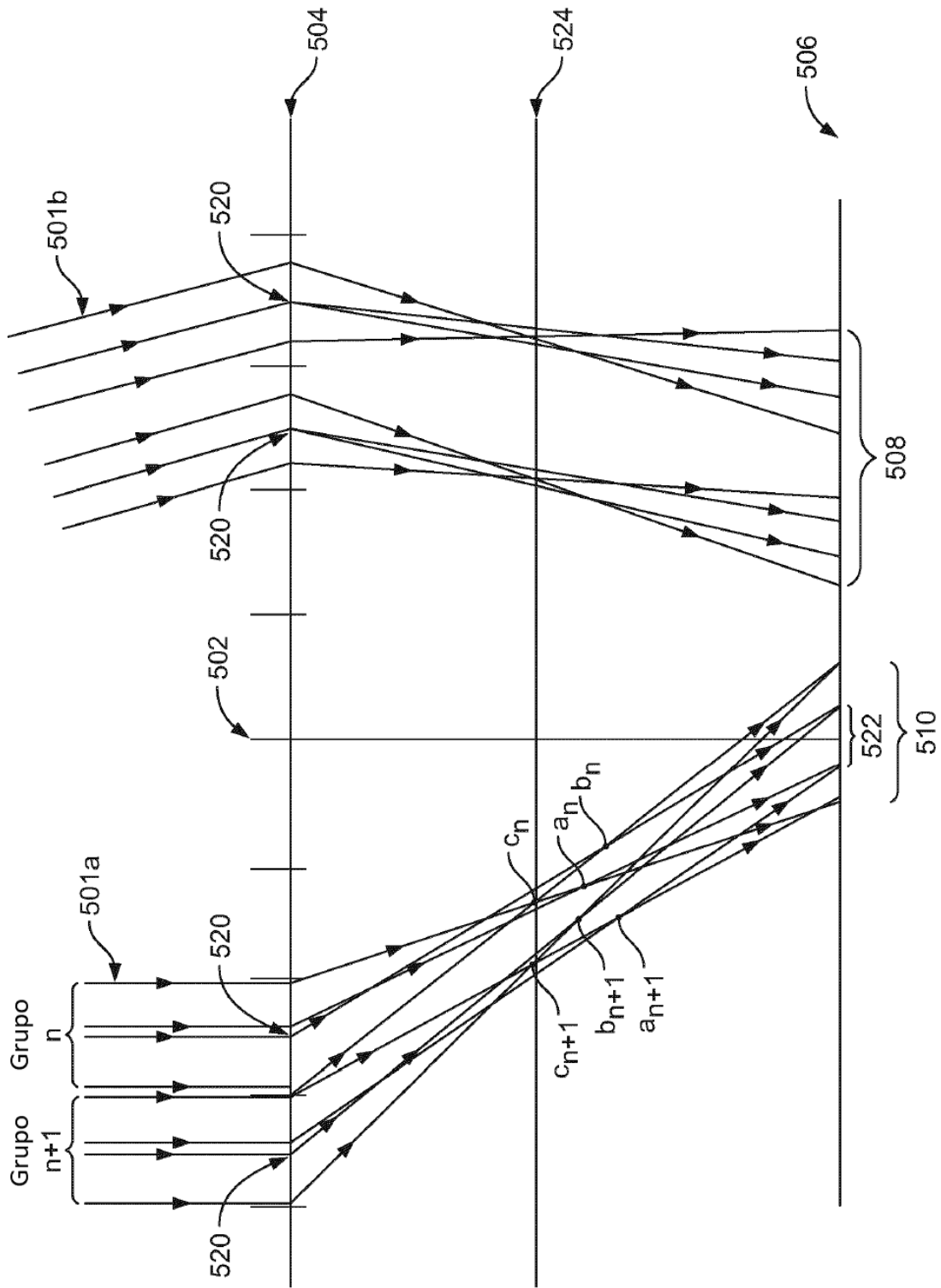


FIG. 12

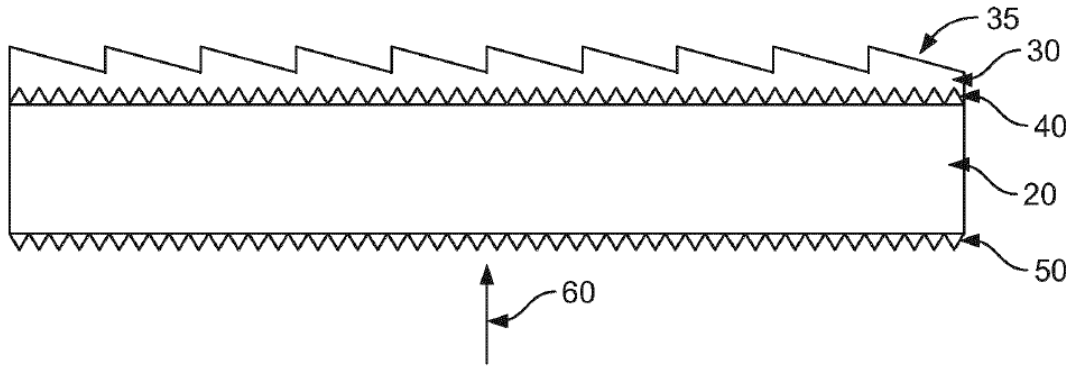


FIG. 13

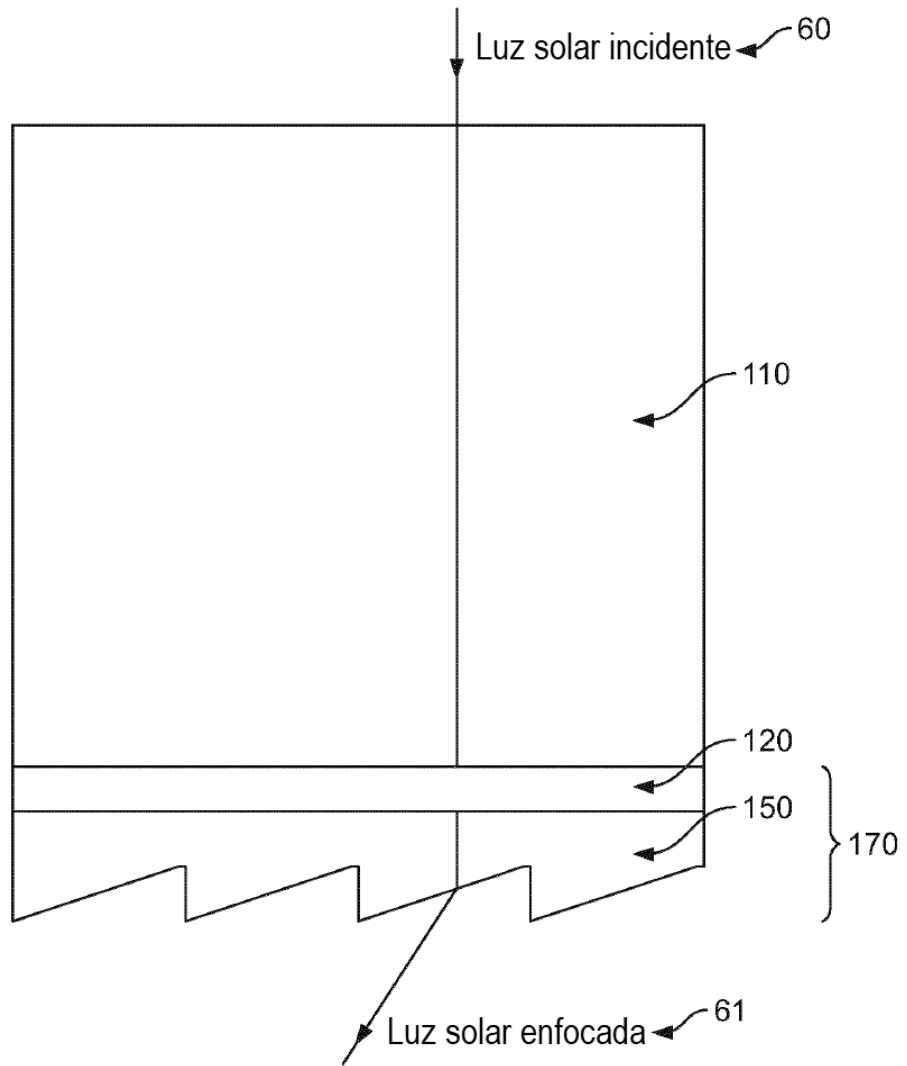


FIG. 14

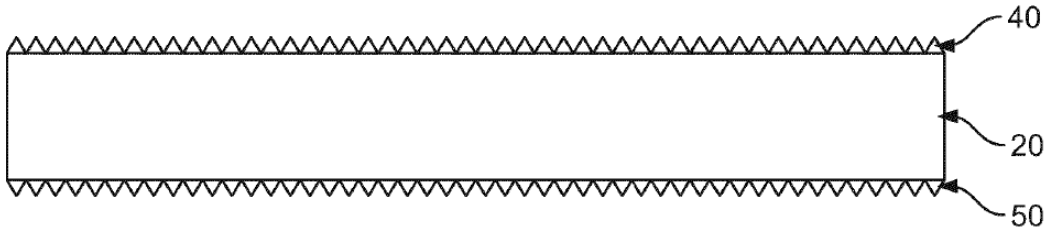


FIG. 15A

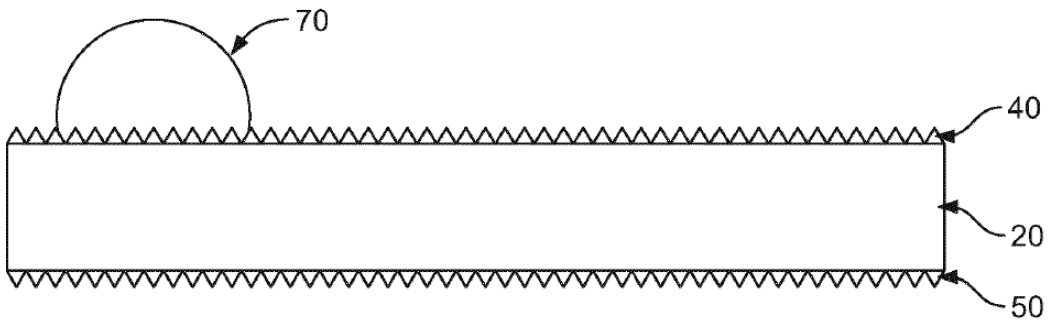


FIG. 15B

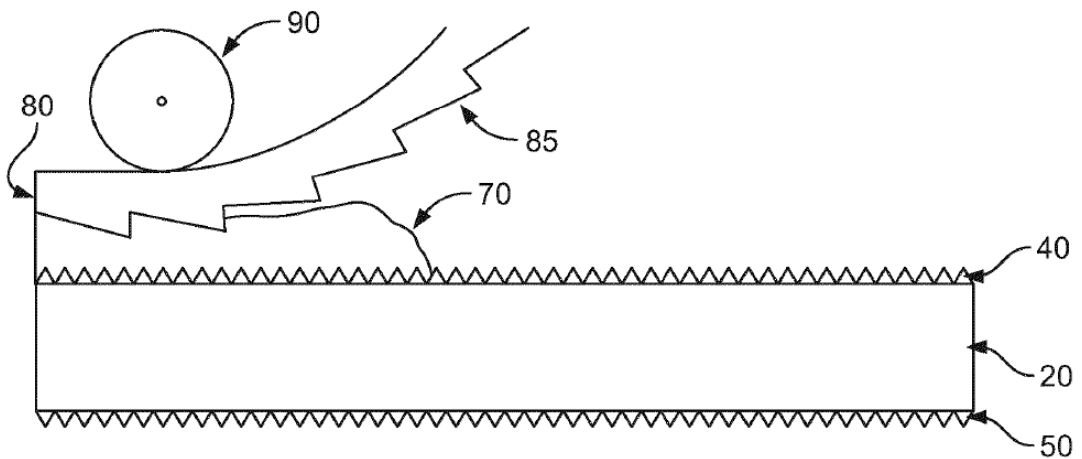


FIG. 15C

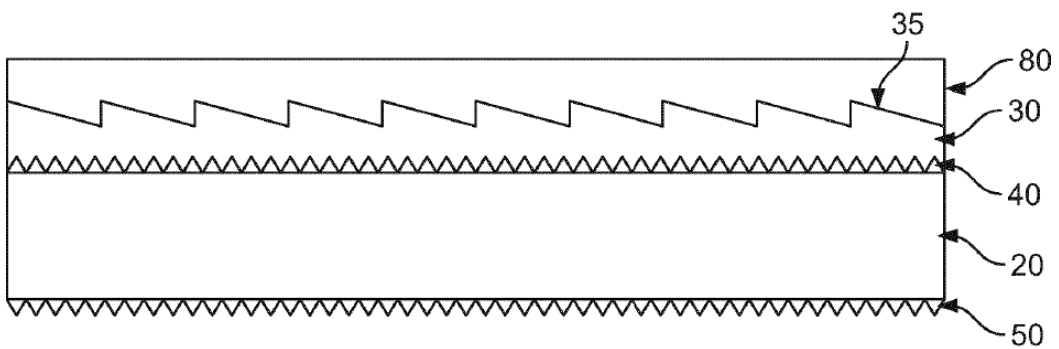


FIG. 15D

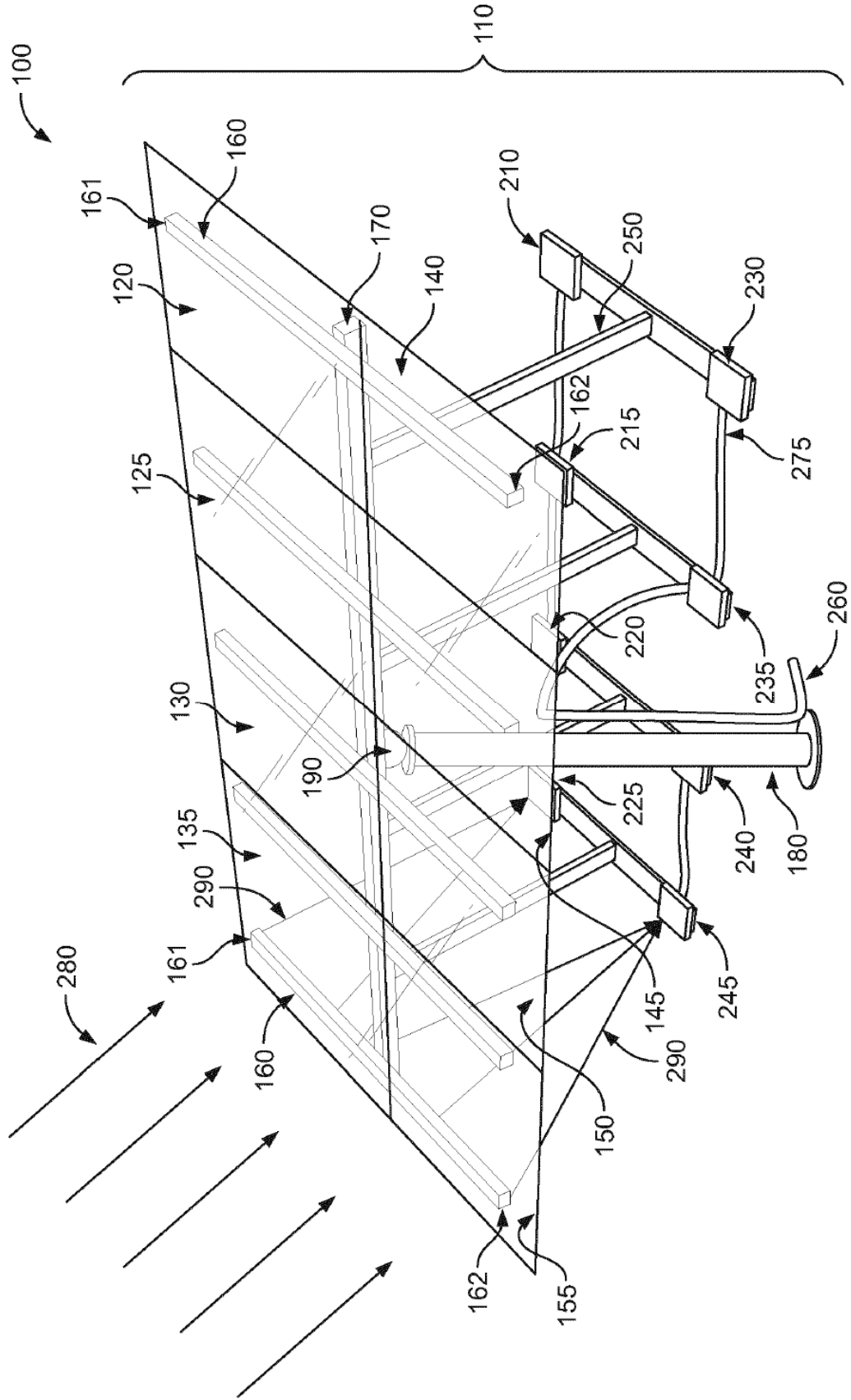


FIG. 16

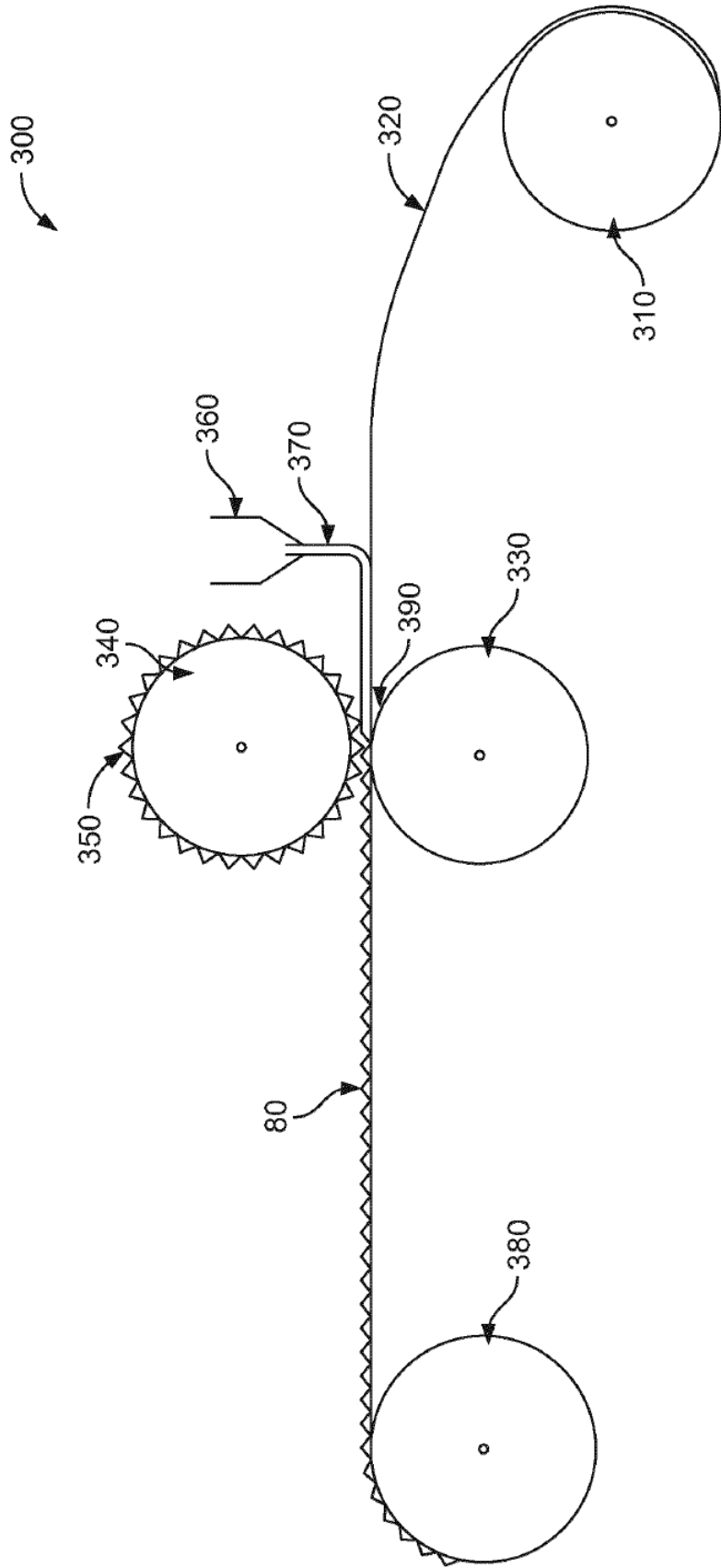


FIG. 17