

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 390 784**

51 Int. Cl.:  
**G01M 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06112608 .2**
- 96 Fecha de presentación: **13.04.2006**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **1717568**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.11.2006**

54 Título: **Procedimiento para la medición de un concentrador térmico solar**

30 Prioridad:  
**26.04.2005 DE 102005019367**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.11.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.11.2012**

73 Titular/es:  
**DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND  
RAUMFAHRT E.V. (100.0%)  
LINDER HÖHE  
51147 KÖLN, DE**

72 Inventor/es:  
**ULMER, STEFFEN**

74 Agente/Representante:  
**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 390 784 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

Procedimiento para la medición de un concentrador térmico solar

La invención se refiere a un procedimiento para la medición de un concentrador térmico solar.

5 En las centrales térmicas solares, la radiación solar se concentra en un absorbedor por medio de concentradores ópticos, para convertirse en otra forma de energía. En las centrales de cilindros parabólicos, los concentradores están constituidos por espejos parabólicos alargados que concentran en un tubo absorbedor la energía de radiación incidente. En las instalaciones Dish/Stirling, los concentradores están constituidos por espejos parabólicos, en cuyo punto focal está dispuesto el absorbedor. Además, existen instalaciones heliostáticas formadas por numerosos espejos ligeramente curvados que se orientan de tal forma que la radiación reflejada incida en un receptor común  
10 que generalmente está dispuesto sobre una torre. En todos los casos, se trata de espejos grandes que para alcanzar un elevado rendimiento energético tienen que estar orientados hacia el concentrador con gran precisión. La forma de los espejos tiene que corresponderse con gran precisión a la forma teórica para mantener reducidas las pérdidas de radiación y producir una distribución uniforme de la radiación sobre el absorbedor. Por razones económicas y dificultades técnicas, los concentradores presentan siempre ciertas desviaciones de forma. Estas desviaciones de forma han de medirse con gran precisión para el control de calidad y la optimización del grado de  
15 eficacia. Debido a las grandes dimensiones de los concentradores (valores típicos para el cilindro parabólico: ancho de apertura 6 m, reflectores parabólicos: 50 m<sup>2</sup>, helióstatos 100 m<sup>2</sup>), sin embargo, resulta muy difícil realizar, con una inversión de tiempo y gastos tolerable, mediciones bidimensionales con la precisión necesaria dentro del rango de error de pendiente de 1 mrad. Por ello, en la práctica, la cualificación de los concentradores se limita a las mediciones indirectas, como la medición del grado de eficacia óptica, de la distribución de la radiación producida y de la distribución de la temperatura sobre el absorbedor o la medición al azar de superficies limitadas.

El preámbulo de la reivindicación 1 parte de un procedimiento conocido por el documento DE10056077B4. En este procedimiento, una diana óptica en forma de una pantalla que lleva a ambos lados numerosas franjas se posiciona  
25 delante de un concentrador óptico de tal forma que la superficie de la pantalla se sitúa en el eje óptico del concentrador. La pantalla atraviesa transversalmente el plano focal del concentrador. En el curso del eje óptico esta dispuesta una cámara que graba una imagen de las franjas de la pantalla reflejadas por el concentrador. Dicha imagen registra las zonas a ambos lados del eje óptico. La imagen del dibujo de franjas se compara con su imagen ideal que cabe esperar en caso de existir características de reproducción óptimas.

Las distorsiones detectables permiten una determinación directa de las características de reproducción de los  
30 elementos de espejo del concentrador. En particular, sobre la base de las distorsiones se puede detectar en qué zona de la superficie de espejo existe un mal ajuste con respecto a la extensión parabólica ideal de la sección transversal. Este procedimiento requiere el montaje de una diana de gran superficie y, por tanto, es muy costoso. Proporciona sólo una comparación de cualitativa y la posibilidad de ajuste, pero ninguna afirmación cuantitativa acerca de errores de pendiente locales. El procedimiento permite el reajuste separado de facetas individuales de  
35 los espejos, pero no ofrece datos acerca de la medida de corrección necesaria. Por lo tanto, el reajuste puede realizarse sólo bajo el control óptico de la imagen proyectada por el colector.

En el documento DE3325919A1 se describe un procedimiento para comprobar el ajuste de los espejos individuales de los helióstatos de una central solar. Los espejos de la instalación heliostática se iluminan por una fuente de luz que proporciona luz paralela y se reproducen con una cámara. La imagen de la cámara se explora en cuanto a la  
40 distribución de la intensidad y se compara con una imagen de referencia. Los resultados de la comprobación se imprimen por una impresora. Mediante los resultados impresos se indica cuáles de los numerosos espejos individuales han de reajustarse, pero no se determina la dirección ni el grado del reajuste.

En el documento DE317148 se describe un dispositivo para examinar espejos huecos, que sirve para examinar los reflectores de faros de vehículos en cuanto a deformaciones. El dispositivo presenta varias fuentes de luz puntuales y una cámara móvil perpendicularmente con respecto al eje óptico. La cámara graba las tres fuentes de luz  
45 simultáneamente, produciéndose líneas en la imagen como consecuencia del movimiento de la cámara. Las distancias entre las líneas constituyen una medida de la magnitud de la dispersión del reflector en el punto correspondiente del espejo.

En el documento US2004/0169725A1 se describe un dispositivo para comprobar superficies reflectantes cóncavas en cuanto al astigmatismo. En este caso, la superficie reflectante reproduce una imagen de un punto en una luna de  
50 cristal fina.

En un ensayo de ARASA J Y COL.: "Concave reflective surfaces topographic inspection using robust non-contact techniques" EMERGING TECHNOLOGIES AND FACTORY AUTOMATION, 1999. PROCEEDINGS. ETFA '99. 1999  
55 7TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON BARCELONA, SPAIN 18-21 OCT. 1999, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, US, tomo 2, 18 de octubre de 1999 (1999-10-18), páginas 1147-1154, XP010365741 ISBN: 978-0-7803-5670-

2 se describe una técnica para realizar mediciones topográficas en superficies reflectantes cóncavas, en la que de un dibujo de sombras que se produce cuando una rejilla con líneas paralelas (rejilla de Ronchi) se dispone en el recorrido de un frente de ondas. El dibujo de sombras permite una medición precisa del frente de ondas que incide en la rejilla de Ronchi.

5 El documento DE19643018A1 describe un procedimiento para medir la extensión de una superficie reflectante. Según éste, un dibujo definido de al menos dos intensidades de luz diferentes se proyecta a la superficie. Una sección de la superficie se observa con una cámara y se evalúan las desviaciones de la sección observada, partiendo de los datos de la cámara. La cámara está enfocada nítidamente a una imagen reflejada del dibujo de luz.

10 En el documento US5,309,222A se describe un dispositivo para inspeccionar ondulaciones de superficies, en el que la luz procedente de una fuente de luz con dibujo se dirige a la superficie por la que es reflejada a una lente y un diafragma, detrás de los cuales está dispuesta una cámara. Las transiciones entre los puntos negros y blancos del dibujo se evalúan para detectar puntos defectuosos de la superficie.

15 En el documento JP01165907 se describe la medición de una superficie de espejo usando una red de difracción lineal. La red de difracción es proyectada por un escáner a una pantalla. El dibujo proyectado es reflejado por la superficie de espejo y la imagen reflejada es grabada por una videocámara y, a continuación, procesada por un procesamiento de imágenes para detectar desviaciones locales de la forma ideal.

20 En JEFFERIES K SED - INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS: "CONCENTRATOR TESTING USING PROJECTED IMAGES" AEROSPACE POWER. SYSTEMS. BONST, AUG. 4-9, 1991; [PROCEEDINGS OF THE INTERSOCIETY ENERGY CONVERSION ENGINEERING CONFERENCE] NEW YORK, IEEE, US, tomo 2, 4 de agosto de 1991 (1991-08-04) páginas 84-89, XP000295031 ISBN: 978-0-89448-163-5 se describe un sistema de proyección de imágenes para comprobar el concentrador de una instalación solar terrestre. El sistema presenta un panel de pequeñas luces que se graban con una videocámara, cuya imagen es procesada por un procesador de imágenes. Cada luz ilumina el concentrador completo, pero esta luz es reflejada a la cámara sólo desde pequeñas zonas del concentrador. El ordenador determina la orientación de estas pequeñas zonas que reflejan la luz hacia la cámara, sobre la base del lugar de las pequeñas zonas y del lugar de la cámara. Las luces se encienden de forma secuencial y mediante la combinación de las orientaciones de cada pequeña zona se determina el contorno del concentrador completo.

Los procedimientos conocidos no resultan aptos para medir un concentrador térmico solar con grandes superficies ni para la determinación rápida de la calidad del concentrador.

30 Los procedimientos empleados hasta ahora para medir las pendientes locales de los concentradores de instalaciones térmicas solares o bien no son suficientemente precisos y requieren demasiado tiempo, o bien quedan limitados a superficies relativamente pequeñas, y en el caso de superficies grandes requieren a su vez mucho tiempo. Para permitir la medición de grandes superficies de colectores y campos de colectores enteros se requieren procedimientos de medición sencillos y rápidos, capaces de medir bidimensionalmente. Hasta ahora no están disponibles procedimientos de este tipo.

La invención tiene el objetivo de proporcionar un procedimiento para medir un concentrador solar térmico, que permita una evaluación bidimensional y que pueda emplearse de forma económica e invirtiendo poco tiempo incluso en el caso de grandes superficies de espejo.

El procedimiento según la invención está definido por la reivindicación 1 ó 11.

40 Según éstas está previsto que por la comparación de imágenes se determinan las perpendiculares a la superficie con respecto al plano de reflexión en diferentes puntos del concentrador y porque las pendientes de la perpendicular a la superficie se comparan con las pendientes teóricas de una forma ideal del concentrador.

45 Según la invención, se aprovecha la reflexión de dibujos definidos. Por lo tanto, existe la posibilidad de medir incluso campos de colectores enteros. La invención permite medir fácilmente de forma bidimensional las pendientes de grandes superficies. Mediante la medición de dibujos estructurados reflejados de la diana y aprovechando las características de reproducción de concentradores parabólicos, el procedimiento permite medir, con un gasto de tiempo y de material muy reducido, las pendientes locales de la superficie reflectora con una precisión elevada y una resolución local elevada. La invención está basada en la medición de las pendientes locales de concentradores de centrales térmicas solares sobre la base de dibujos o líneas reflectantes en la superficie de espejo. El procedimiento aprovecha las características de reproducción de los concentradores. Con la elección adecuada de la distancia y la orientación de la diana con respecto al concentrador, la diana puede mantenerse muy pequeña. Esto a su vez permite usar una diana sencilla en forma de una placa impresa o un papel que no requiere ninguna modificación del concentrador y no perturba la medición.

La invención puede aplicarse tanto en concentradores de reflectores parabólicos como en concentradores de

cilindros parabólicos, así como en campos heliostáticos.

Según una configuración preferible de la invención, la diana presenta diferentes franjas de color. Preferentemente, las franjas de color están dispuestas en línea recta y paralelamente unas respecto a otras. También se pueden componer de franjas longitudinales y transversales. Las franjas de color permiten una asignación automática unívoca de los colores en la evaluación de imágenes. En caso de una distorsión de la superficie de reflexión se distorsionan las franjas en la imagen reproducida. Mediante la localización de las franjas se puede determinar la medida de la distorsión y, por tanto, la desviación de la perpendicular a la superficie. Convenientemente, se usa un dibujo de franjas en el que las franjas estén dispuestas con un valor H ascendente en el espacio de color HSI. Esto permite una asignación automática unívoca de los colores en la evaluación de imágenes. El ancho de las franjas puede adaptarse a las respectivas características del concentrador. En caso de la medición de un reflector parabólico, las franjas pueden ensancharse hacia fuera, porque el ángulo de observación se aplanan hacia fuera.

Como diana también pueden utilizarse objetos, por ejemplo los cantos de un tubo absorbedor en un colector de cilindro parabólico o un canto o una línea de la torre de una central heliostática o el horizonte. Si como diana se utiliza sólo una línea, se realiza un escaneado mediante el movimiento del concentrador en el sentido transversal con respecto a dicha línea. En el caso de un campo de color compuesto por numerosas franjas de diferentes colores, la evaluación de imágenes puede realizarse en un paso.

La medición de la forma de espejo se efectúa mediante la evaluación de imágenes de las fotos de la imagen reflejada de un objeto lineal (diana). Para la asignación trigonométrica de puntos de imagen y la geometría del objeto se utiliza un algoritmo adecuado para el reconocimiento de la imagen. El algoritmo sirve para la conversión de la imagen reproducida en ángulos de reflexión o ángulos de difracción con resolución bidimensional. Esto funciona también para superficies reflectantes no constantes.

Para una determinación sencilla y rápida de las distancias entre la diana y el absorbedor se recomienda el uso de un distanciómetro láser. Las grabaciones del concentrador con la imagen reproducida de la diana se realizan con una cámara digital. Evidentemente, también es posible generar una imagen analógica que se digitaliza a continuación. Para una orientación más sencilla del concentrador con respecto a la cámara, en el centro de la diana puede estar dispuesta una marca.

A partir de las perpendiculares a la superficie medidas o sus pendientes, mediante un algoritmo iterativo se determinan directamente la longitud focal, el error medio de pendiente y la inclinación del concentrador con respecto al sentido de observación. De referencia sirve una parábola ideal con parámetros  $f$  libres,  $X_{incl.}$ ,  $X_{incl.}$ .

A continuación, con la ayuda de los dibujo se explican en detalle ejemplos de realización de la invención.

Muestran:

La figura 1, un ejemplo de las consecuencias de una desviación de la forma del concentrador,

la figura 2, la medición en un concentrador en forma de un reflector parabólico,

la figura 3, un ejemplo para una diana de colores,

la figura 4, la imagen representada de la diana orientada con franjas perpendiculares, para la medición de desviaciones de la forma en el sentido x,

la figura 5, una imagen reproducida de la diana con franjas de color orientadas horizontalmente para determinar desviaciones de la forma en el sentido y,

la figura 6, la imagen reproducida generada por el ordenador bajo la localización de la desviación de la forma del concentrador,

la figura 7, un diagrama para explicar el sistema de coordenadas empleado en un reflector parabólico,

la figura 8, un diagrama de los vectores para la ley de reflexión, y

la figura 9, una estructura de medición diferente a la figura 2, con una distancia de medición más corta.

En la figura 1 está representado un concentrador 10, tratándose en este caso de un reflector parabólico. El sistema de coordenadas se ha elegido de tal forma que el punto 0 está situado en el ápice del concentrador. El eje  $X_K$  discurre horizontalmente por el ápice y el eje  $y_K$  discurre verticalmente por el ápice. Perpendicularmente a ello discurre el eje  $z_K$  que constituye el eje óptico del sistema. El índice K significa respectivamente "concentrador".

El concentrador presenta un plano focal  $F_A$  que pasa por el punto focal F y que presenta la distancia f (distancia

focal) con respecto al concentrador. La radiación R que incide paralelamente es concentrada por el concentrador al punto focal F.

Por la desviación de la forma 11, en este punto, el rayo 12 no es reflejado al punto focal F, sino como rayo 12' a un punto diferente en el plano focal F<sub>A</sub>. La desviación del punto focal F está designada por a.

5 La figura 2 muestra la estructura de medición para la medición del concentrador 10. También en este caso se trata de un reflector parabólico. Delante del concentrador 10 se dispone una diana 20 y detrás de la diana 20 se posiciona una cámara 22. Tanto la diana como la cámara se encuentran en el eje óptico OA que pasa por el ápice del concentrador 10. La distancia d<sub>T</sub> de la diana 20 con respecto al ápice del concentrador 10 es aproximadamente igual a la distancia focal f del concentrador. La distancia d<sub>K</sub> con respecto al ápice del concentrador es mucho más grande que f, siendo aproximadamente de 50 f. Las distancias d<sub>T</sub> y d<sub>K</sub> se miden con gran precisión con un distanciómetro láser. Las dianas retrorreflectantes incrementan la señal de recepción del distanciómetro láser en caso de grandes distancias.

10 La diana 20 es por ejemplo una hoja de papel con al menos una raya. Un ejemplo de la diana 20 está representado en la figura 3. La perpendicular a la superficie de la diana 20 discurre paralelamente con respecto al eje óptico OA del concentrador.

15 La figura 3 muestra la estructura de la diana 20 compuesta por numerosas franjas de color. Las franjas forman el sistema de coordenadas X<sub>T</sub> e Y<sub>T</sub>, designando el índice T la "diana". Las franjas de color están dispuestas en la diana con colores ascendentes en el espacio de color HSI en el valor H, siendo designados los colores rojo, azul, verde y amarillo por R, B, G e Y. Las franjas de color no designadas son colores intermedios. Los colores pueden repetirse de forma cíclica. En el centro de la imagen, las franjas son más estrechas y se ensanchan hacia fuera.

20 La figura 4 muestra la imagen reproducida 25 grabada por la cámara 22 y generada por un concentrador 10 ideal, cuya extensión de superficie corresponde a una parábola. Se puede ver el lado posterior de la diana 20, mientras que en la imagen reproducida 25 se pueden ver las franjas verticales reflejadas de la diana. Si la diana presentase una desviación de la forma, estarían deformadas las franjas.

25 En la figura 5, la diana 20 está girada 90 grados, de forma que ahora las franjas están orientadas horizontalmente. En cada una de las dos imágenes, las deformaciones se reconocen durante una evaluación espectral en el ordenador. Las imágenes reproducidas en las figuras 4 y 5 se graban sucesivamente y se coordinan entre ellas.

30 La figura 6 muestra una representación de imagen del concentrador, determinada por el ordenador, estando representadas las desviaciones de las pendientes ideales del concentrador como desviación de pendiente 11. A partir de las pendientes de superficie puede calcularse la forma del concentrador.

35 Con el dibujo de franjas compuesto por las franjas de color se consigue que la superficie completa del concentrador pueda evaluarse en una sola imagen o en dos imágenes. Alternativamente, existe la posibilidad de reproducir una diana con una sola franja y desplazar la misma con respecto al concentrador, pudiendo realizarse tanto un movimiento gradual de la diana como un movimiento gradual del concentrador transversalmente con respecto al sentido de la raya. Otra posibilidad consiste en mover un punto de la diana línea por línea a través de la superficie del concentrador, de manera similar al punto de imagen de un tubo de televisor, y en determinar para cada punto de la pantalla el ángulo correspondiente de la perpendicular a la superficie.

40 Por la disposición representada en la figura 2 resulta un tamaño reducido de la diana 20 necesaria, por ejemplo a 50 cm x 50 cm, con un diámetro del concentrador de 8,5 m. Se producen lagunas de datos aproximadamente sólo en aquellos puntos en los que incluso durante el funcionamiento tiene lugar un sombreado de los rayos de sol a causa del recubrimiento del concentrador por varillajes, por la diana, por accionamientos etc.

La figura 7 muestra el sistema de coordenadas del concentrador 10, situándose el ápice del concentrador 10, que en este caso es un reflector parabólico, en el punto de origen del sistema de coordenadas. El eje X<sub>K</sub> es el eje horizontal, el eje Y<sub>K</sub> es el eje vertical y el eje Z<sub>K</sub> es el eje central que en este caso coincide con el eje óptico.

45 La figura 8 muestra las relaciones de reflexión en un elemento de espejo 27 del concentrador. La perpendicular a la superficie n es un vector situado perpendicularmente sobre el elemento de superficie 27, siendo designado por s el vector del rayo incidente y por r el vector del rayo reflejado.

50 Las pendientes locales n en los sentidos horizontal y vertical pueden calcularse con las posiciones conocidas de las franjas en la diana (X<sub>T</sub>, Y<sub>T</sub>), las distancias medidas (d<sub>K</sub>, d<sub>T</sub>), la posición de los píxeles en el concentrador a partir de la calibración local (X<sub>K</sub>, Y<sub>K</sub>) y la forma aproximadamente conocida del concentrador (parábola normal:  $Z_K = (X_K^2 + Y_K^2)/(4*f)$ ) con la ley de reflexión vectorial, de la siguiente manera:

(1)

$$n = \frac{r - s}{|r - s|}$$

Con:

(2)

$$r = \frac{1}{\sqrt{(-x_K + x_T)^2 + (-y_K + y_T)^2 + (d_T - z_K)^2}} \begin{bmatrix} -x_K + x_T \\ -y_K + y_T \\ d_T - z_K \end{bmatrix}$$

5

(3)

$$s = \frac{1}{\sqrt{x_K^2 + y_K^2 + (z_K - d_K)^2}} \begin{bmatrix} x_K \\ y_K \\ z_K - d_K \end{bmatrix}$$

Las pendientes obtenidas de esta manera se comparan con las pendientes teóricas de la parábola normal con el parámetro libre  $f$ , y mediante un procedimiento iterativo con la minimización de los errores cuadráticos se determinan la longitud focal  $f$  real del concentrador medido y los dos ángulos de inclinación  $X_{incl.}$  e  $Y_{incl.}$  en los sentidos horizontal y vertical con respecto a la orientación ideal. De esta manera, se pueden representar de forma informativa los resultados de medición y las desviaciones de las pendientes locales. Como índice de calidad para la comparación de diferentes concentradores puede calcularse  $\sigma_{Total}$ :

10

(4)

$$\sigma_{Total} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{x,i}^2 + R_{y,i}^2)}{N}}$$

15

En lugar de una diana impresa puede usarse una pantalla blanca a la que un proyector fijado dentro del concentrador proyecta un dibujo de franjas en diferentes anchos.

20

La figura 9 muestra un ejemplo de realización en el que la distancia de cámara  $d_K$  es igual a la distancia de diana  $d_T$ , ascendiendo aproximadamente a dos  $f$ . La cámara y la diana están dispuestas a lo largo del eje óptico, estando posicionada la cámara 22 directamente detrás de la diana 20. La diana tiene una ventana en forma de un agujero en el centro, a través del cual la cámara graba el concentrador 10. La ventaja consiste en que basta con una distancia de medición ( $2f$ ) relativamente pequeña.

El mismo procedimiento de medición que antes se ha descrito con la ayuda de reflectores parabólicos puede

aplicarse también en cilindros parabólicos y en campos heliostáticos. En un cilindro parabólico se fija una diana de colores al tubo envolvente del absorbedor. Las imágenes se graban desde una larga distancia, de modo que en el ancho de abertura total del concentrador se reflejan franjas de color.

5 En caso de no disponer del espacio suficiente para grabar imágenes con la cámara, en las que el ancho de abertura total esté relleno de franjas de color reflejadas, el ángulo de elevación del concentrador puede ajustarse de forma controlada con su accionamiento de precisión que está previsto para el seguimiento de la posición del sol, grabándose sucesivamente varias imágenes. De esta forma, las franjas pueden desplazarse por todo el ancho de abertura y se puede acumular la información necesaria para el cálculo.

10 Para seguir reduciendo el tiempo necesario para la medición de filas de colectores enteras, en lugar de una diana de colores es posible usar directamente el tubo absorbedor como objeto de referencia. En la reflexión se pueden determinar de forma unívoca dos líneas, el canto superior y el canto inferior, por la longitud total a lo largo de varios módulos de colectores de 12 m respectivamente. Mediante el ajuste controlado del ángulo de elevación del colector con su accionamiento de precisión y la grabación de varias imágenes es posible desplazar las líneas por el ancho de abertura total de la cámara y obtener la información necesaria para el cálculo. Con esta variante se pueden  
15 medir las pendientes de las perpendiculares a la superficie en el sentido transversal del colector de cilindros parabólicos, que son los principales responsables de la concentración, pero no se pueden medir las pendientes de las perpendiculares a la superficie en el sentido longitudinal. Para una medición de los errores de pendiente en el sentido longitudinal se puede efectuar una segunda medición bajo un ángulo oblicuo en el plano óptico. A partir de la comparación con la primera medición pueden determinarse por cálculo los errores en el sentido longitudinal.

20 El mismo procedimiento de medición puede usarse para medir los heliostatos de un campo heliostático. Para este fin, en caso de existir una superficie blanca del tamaño de los heliostatos que han de ser medidos en o cerca de la torre sobre la que se encuentra el absorbedor se proyecta de noche un dibujo de franjas, y con una cámara en la torre se graba la reflexión en el heliostato. La medición de las distancias, la orientación del concentrador y la evaluación se realizan de la misma manera que en el procedimiento descrito anteriormente.

25 Si no se dispone de ninguna superficie blanca, se pueden enfocar dos cantos definidos, perpendiculares uno respecto a otro, por ejemplo el canto de la torre, un poste de electricidad, el horizonte o similar, y la reflexión puede moverse mediante el ajuste controlado de la elevación o del acimut del heliostato a lo largo de toda su superficie reflectante. A partir de varias imágenes grabadas durante ello, conociéndose las distancias se puede calcular la información buscada. Este procedimiento también puede realizarse simultáneamente para numerosos heliostatos.

30 El método de medición puede emplearse de la misma manera también para medir facetas individuales en el control de calidad en la producción. Para ello, para facetas de enfoque lineal (cilindro parabólico, Fresnel lineal), una diana con franjas de color se posiciona en el área de la longitud focal y se toman fotos en el eje óptico desde una distancia mayor. En el sentido en el que no concentra, la diana tiene que ser algo más larga que la faceta y, en el sentido transversal, tiene que tener aproximadamente 2 a 3 veces el ancho del diámetro del taladro del absorbedor,  
35 en función de la calidad del concentrador y de la distancia de la cámara. Para poder fotografiar en rápida sucesión los dos dibujos verticales, la diana puede ser giratoria alrededor de su eje longitudinal y tener los dos dibujos diferentes en los lados delantero y trasero. Ha de preverse un enclavamiento en la posición de medición correspondiente para permitir un posicionamiento unívoco. Si se utiliza una estructura inmovilizada con un soporte no modificable para las facetas, las distancias necesarias para la evaluación tienen que medirse sólo una vez.

40 Para facetas de enfoque puntual se ofrece un posicionamiento a la distancia  $2f$ , como se ha descrito en relación con los concentradores parabólicos para sistemas Dish/Stirling. El procedimiento es transmisible entonces.

Para realizar en un campo de colectores de una central de cilindros parabólicos comercial con varios cientos de miles de metros cuadrados de superficie de espejo y con filas de colectores dispuestas unas muy junto a otras una  
45 medición de la calidad de los espejos, la medición puede efectuarse desde el aire. Para este fin, todos los colectores se orientan hacia arriba (esto ofrece la ventaja adicional de una orientación similar de los colectores tanto durante la medición como durante el funcionamiento). Con un aparato aéreo adecuado (globo, helicóptero o similares), el campo se sobrevuela a velocidad lenta a una altura de aproximadamente 100 pies, y con una cámara digital se realizan tomas de la reflexión del tubo absorbedor, tal como se ha descrito anteriormente. Mediante un aparato de medición adecuado (taquímetro con seguimiento automático del objetivo, GPS diferencial, o similares)  
50 se mide la posición absoluta de la cámara en los momentos de la toma de imagen. Las posiciones de las filas de colectores se conocen. Con esta información y la información procedente de la evaluación de imágenes se pueden calcular las pendientes de las superficies de los espejos del campo entero, tal como se ha descrito anteriormente. Mediante la determinación del error promedio de pendiente o mediante el cálculo del valor de interceptación (la interceptación es la parte de la radiación reflejada que incide en el absorbedor) del campo completo mediante una  
55 simulación basada en los resultados de medición y la comparación subsiguiente con los valores de diseño, este procedimiento podría aplicarse como procedimiento de recepción de calidad en la construcción de centrales comerciales de cilindros parabólicos.

Si para tal ensayo de recepción se realizan muchas tomas, la medición de la posición de la cámara puede realizarse también mediante el procedimiento de la fotogrametría de corto alcance. En este caso, las tomas hechas para el análisis de concentradores pueden utilizarse para la medición de la ubicación de la cámara y al mismo tiempo para la medición geométrica del campo de colectores. Después de una evaluación fotogramétrica de las tomas están disponibles las coordenadas relativas de las ubicaciones de las cámaras con respecto al campo de colectores y las coordenadas relativas de los distintos concentradores con respecto al sistema de coordenadas locales. Por lo tanto, con mediciones fotogramétricas suficientemente precisas (actualmente se puede alcanzar una precisión de medición de hasta 1:200.000) es posible mejorar las mediciones de la calidad y al mismo tiempo determinar y comprobar otras características geométricas del campo de colectores (por ejemplo, la precisión de montaje de los tubos absorbedores en cada módulo de colectores, control de las posiciones de pilones y de ejes). En principio, el procedimiento también puede aplicarse en campos heliostáticos de centrales térmicas solares de torre.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para la medición de un concentrador térmico solar, con los pasos

- la disposición de una diana (20) óptica, provistas de estructuras, aproximadamente en el plano focal del concentrador (10),

5 - la toma de al menos una imagen reproducida (25) de la diana (20), generada mediante reflexión por el concentrador (10), como imagen de píxeles,

en el que la estructura prevista en la diana (20) tiene al menos una línea recta, **caracterizado porque** se toman imágenes reproducidas de la diana en dos orientaciones perpendiculares una respecto a otra y se realizan los siguientes pasos:

10 - la asignación de las estructuras visibles en la imagen reproducida a las coordenadas en la imagen original de la diana,

- la determinación por cálculo de la perpendicular a la superficie (n) con respecto al plano de reflexión en diferentes puntos del concentrador, a partir de la asignación unívoca de las estructuras reproducidas,

15 - la comparación de las pendientes de las perpendiculares a la superficie con las pendientes teóricas en una forma ideal del concentrador.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la diana se hace girar respectivamente perpendicularmente con respecto a la línea y dicho giro se mide con un codificador rotatorio.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, en el que la diana (20) presenta diferentes franjas de color.

20 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que una cámara (22) para generar la imagen reproducida (25) de la diana (20) se dispone a una distancia del concentrador (10), sensiblemente mayor que la distancia focal (f) del concentrador, con lo que se consigue una reducción del tamaño necesario de la diana.

25 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el concentrador (10) es un cilindro parabólico alargado, en cuya línea focal se extiende un tubo absorbedor, y porque como diana (20) se usa un tubo absorbedor y el concentrador se hace girar para realizar una evaluación bidimensional bajo el control por un codificador rotatorio.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1, 3 ó 4, en el que el concentrador (10) se compone de numerosos helióstatos orientados hacia un absorbedor fijado sobre una torre, y según el que como diana se utiliza una línea o un canto de la torre u otras líneas o cantos.

30 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la diana (20) se compone de una placa impresa que se fija temporalmente a un absorbedor para absorber la radiación solar reflejada por el concentrador.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que se modifica en pasos definidos el ángulo del concentrador y/o la posición de una cámara (22) que genera la imagen reproducida (25) y durante ello se escanea la superficie del concentrador (10) para determinar la perpendicular a la superficie (n) en diferentes puntos.

35 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la comparación se realiza mediante un procedimiento iterativo con minimización de los mínimos errores cuadráticos.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que se realizan desde el aire tomas de numerosos concentradores orientados perpendicularmente hacia arriba para determinar simultáneamente las pendientes de las perpendiculares a la superficie en todos los concentradores.

40 11. Procedimiento para la medición de un concentrador térmico solar, en el que el concentrador (10) presenta una distancia focal (f), con los pasos

- la disposición de una diana (20) óptica, provista de estructuras, aproximadamente a la distancia 2f con respecto al concentrador (10),

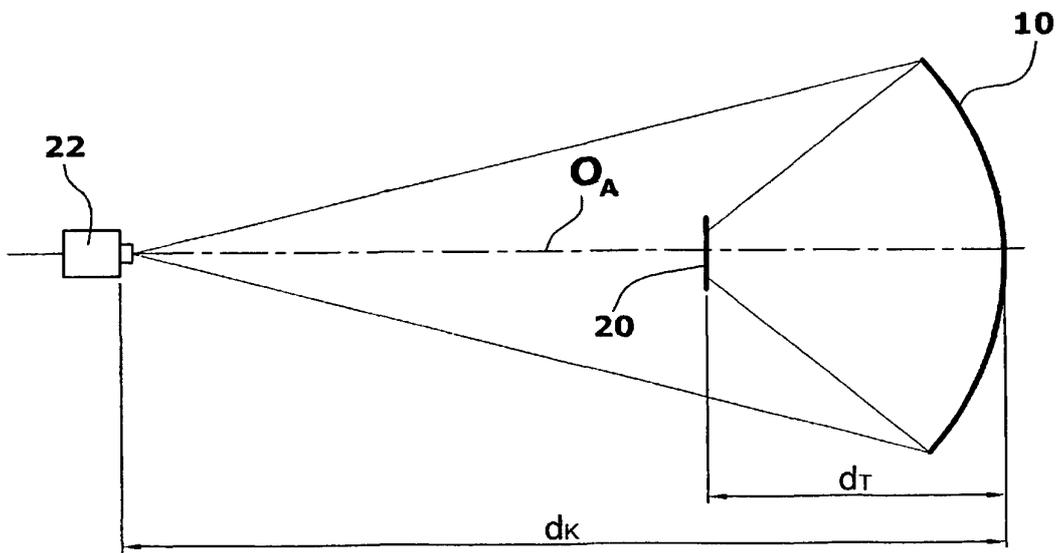
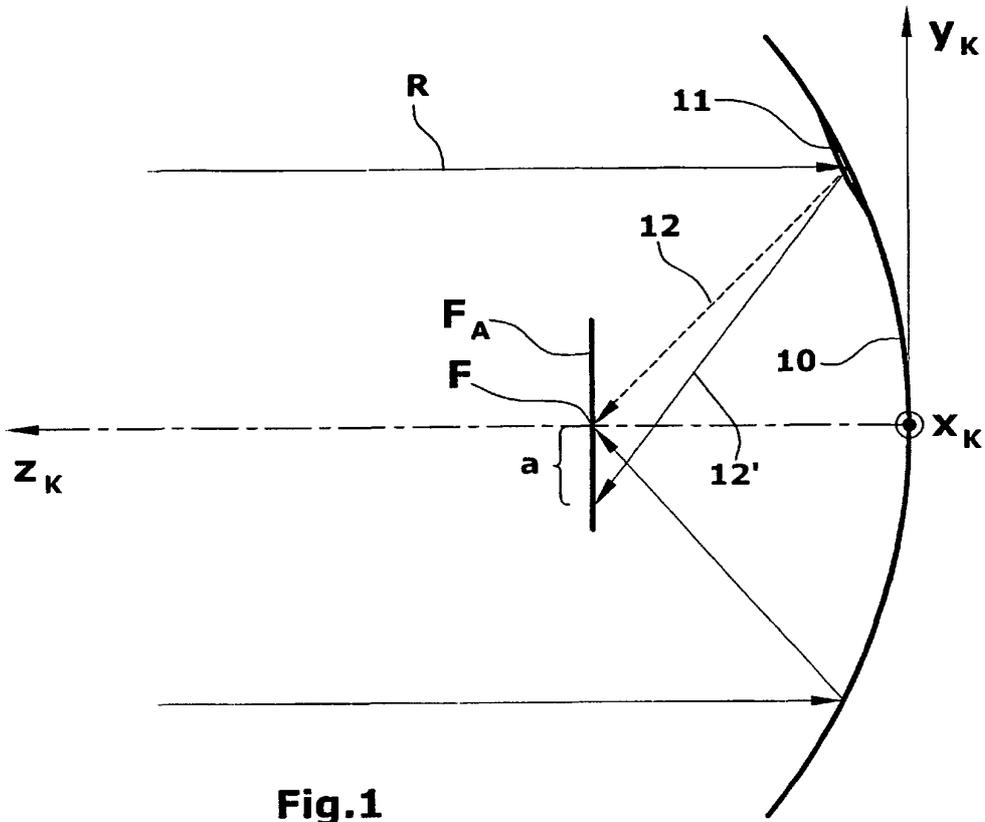
- la toma de al menos una imagen reproducida (25) de la diana (20), generada mediante reflexión por el concentrador (10), como imagen de píxeles,

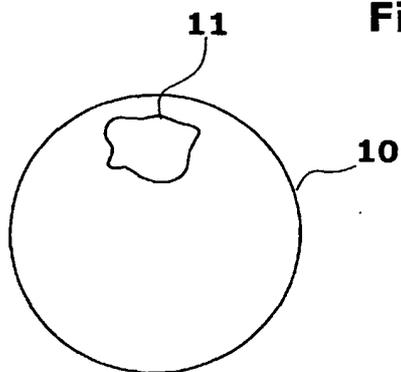
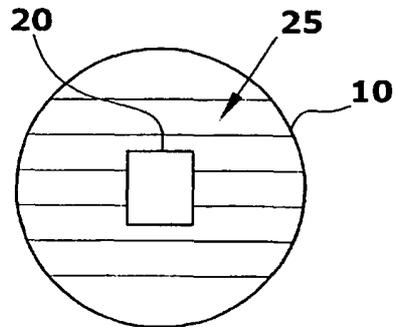
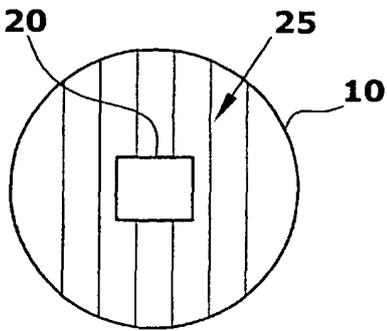
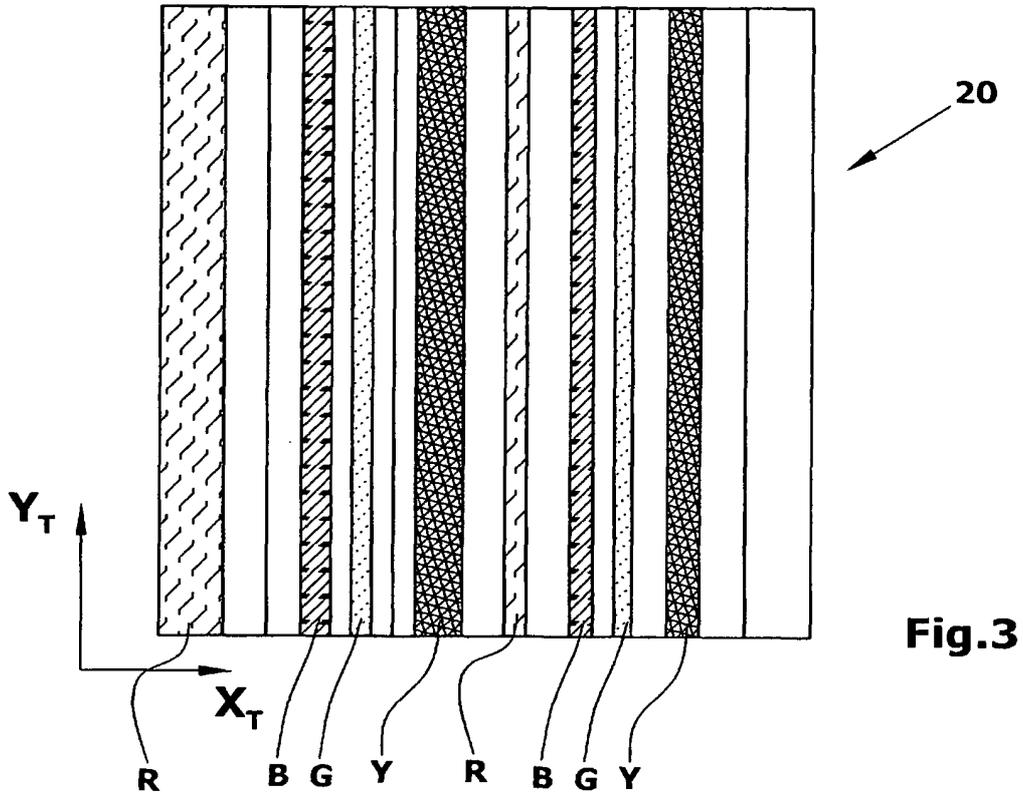
45 en el que la estructura prevista en la diana (20) tiene al menos una línea recta

**caracterizado porque**

una cámara (22) para generar la imagen reproducida (25) de la diana se dispone aproximadamente a una distancia  $2f$  con respecto al concentrador (10), por lo que se consigue una reducción del tamaño necesario de la diana (20), y se graban imágenes reproducidas de la diana en dos orientaciones perpendiculares una respecto a otra, realizándose los siguientes pasos:

- 5 - la asignación de las estructuras visibles en la imagen reproducida a las coordenadas en la imagen original de la diana,
- la determinación por cálculo de las perpendiculares a la superficie (n) con respecto al plano de reflexión en diferentes puntos del concentrador, a partir de la asignación unívoca de las estructuras reproducidas,
- 10 - la comparación de las pendientes de las perpendiculares a la superficie con las pendientes teóricas en una forma ideal del concentrador.
- 12.** Procedimiento según la reivindicación 11, en el que la diana se hace girar perpendicularmente con respecto a la dirección de la línea y dicho giro se mide con el codificador rotatorio.
- 13.** Procedimiento según la reivindicación 11 ó 12, en el que la diana (20) presenta diferentes franjas de color.
- 14.** Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 ó 13, en el que el concentrador (10) se compone de numerosos helióstatos orientados hacia un absorbedor fijado sobre una torre y en el que como diana se utiliza una línea o un canto de la torre u otras líneas o cantos.
- 15 **15.** Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 14, en el que el ángulo de concentrador y/o la posición de una cámara (22) que genera la imagen reproducida (25) se modifica en pasos definidos y durante ello se escanea la superficie del concentrador (10) para determinar las perpendiculares a la superficie (n) en diferentes puntos.





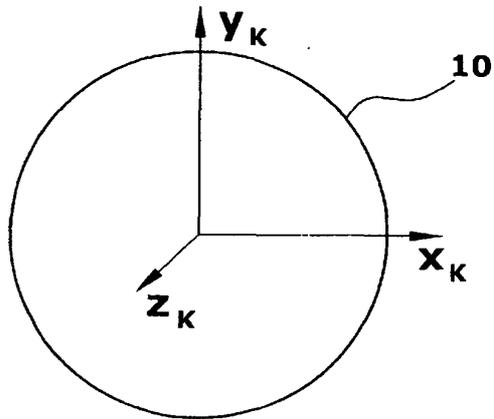


Fig.7

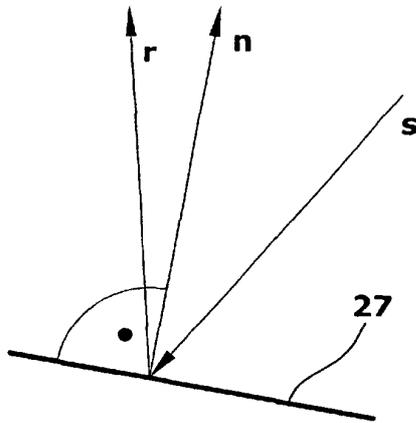


Fig.8

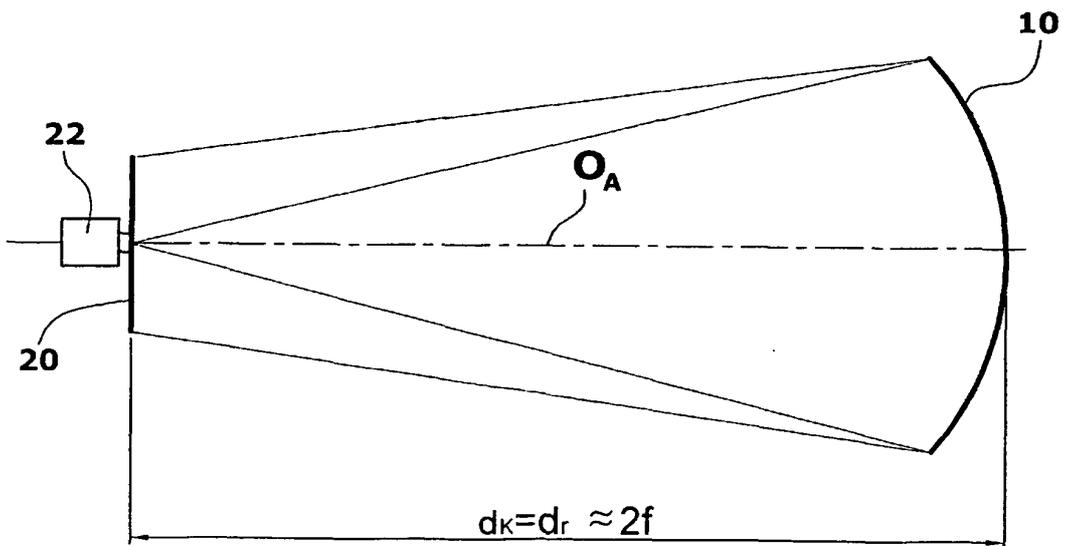


Fig.9