

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 620 767**

51 Int. Cl.:

**G01R 31/40** (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.04.2014 PCT/EP2014/057356**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.10.2014 WO2014167086**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.04.2014 E 14717129 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.02.2017 EP 2984497**

54 Título: **Método y dispositivo adecuado para la caracterización de módulos fotovoltaicos de concentración**

30 Prioridad:

**12.04.2013 EP 13382131**

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

**29.06.2017**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID  
(100.0%)**

**Ramiro de Maeztu nº 7  
28040 Madrid, ES**

72 Inventor/es:

**HERRERO MARTÍN, REBECA;  
ANTÓN HERNÁNDEZ, IGNACIO;  
SALA PANO, GABRIEL;  
VICTORIA PEREZ, MARTA y  
ASKINS, STEPHENS**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 620 767 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

5 **MÉTODO Y DISPOSITIVO ADECUADO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE CONCENTRACIÓN**10 **OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención es un dispositivo adecuado para caracterizar módulos fotovoltaicos de concentración que permite obtener la función transmisión angular tanto del módulo como de cada grupo formado por célula y óptica, así como valorar la calidad óptica del módulo.

15 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Los paneles fotovoltaicos convencionales consisten en una placa plana enteramente cubierta de células solares interconectadas entre sí y preparadas para recibir directamente la radiación solar global. Se dice directamente porque no es necesario interponer una óptica entre el sol, la fuente de luz, y la célula solar. Este tipo de células solares son capaces de producir energía a partir tanto de la luz incidente que proviene directamente del sol como a partir de la luz difusa por ejemplo resultado de reflexiones intermedias.

El documento US6512385B divulga un método para caracterizar dispositivos fotovoltaicos.

Para caracterizar el comportamiento de un panel fotovoltaico convencional basta analizar, en fábrica o laboratorio, la potencia eléctrica producida por el conjunto de células frente a un haz de luz uniforme sin que sea necesario reproducir la distribución angular del sol en la medida en interior. La potencia de salida medida en el panel fotovoltaico bajo esa fuente de luz es, prácticamente, la única propiedad importante.

Existe otro tipo de paneles fotovoltaicos, los llamados módulos fotovoltaicos de concentración. Los módulos fotovoltaicos de concentración utilizan dispositivos ópticos para aumentar la intensidad de luz que incide sobre las células y sólo utilizan la luz directa procedente del disco solar, cuya extensión angular en la superficie terrestre es de  $\pm 0.27$  grados, y de una región del cielo muy pequeña alrededor del disco, denominada circunsolar.

Un módulo fotovoltaico de concentración está formado por una pluralidad de unidades elementales donde cada una de ellas dispone de una óptica de concentración que focaliza la radiación directa incidente en el área de apertura de la óptica en la célula solar. Esta célula es de un tamaño mucho más reducido que el área de las células solares empleadas en paneles fotovoltaicos convencionales y, en modo operativo, trabajan con intensidades también mayores incluso mil veces superiores.

Desde el punto de vista de la calidad estos sistemas tienen que tener controlados por lo menos tres elementos funcionales: la óptica, las células y la interacción entre ambas.

En un módulo fotovoltaico de concentración, los desalineamientos entre la óptica y la célula hacen que la radiación concentrada por el sistema óptico no incida sobre la célula solar o se reduzca de una forma importante. En el módulo fotovoltaico de concentración, al estar formado por una pluralidad de grupos óptica-célula solar, la estructura del módulo puede tener deformaciones o errores de montaje que dan lugar a que no todos los grupos entreguen la máxima potencia en la misma orientación del módulo aunque individualmente la óptica esté bien montada respecto de su correspondiente célula solar. En la calidad del módulo fotovoltaico de concentración intervendrá la calidad de montaje de cada grupo óptica-célula solar así como la buena orientación de cada uno de ellos dentro del módulo. Igualmente, la óptica y la célula solar pueden tener defectos de fabricación que empeoren el rendimiento individual de un grupo óptica-célula solar.

La medida convencional del funcionamiento óptico de un módulo fotovoltaico de concentración consiste en iluminar el módulo y obtener la potencia generada a medida que la luz cambia su dirección con respecto a la normal (forma abreviada de denominar dirección normal) del módulo, pero manteniendo el vector dirección de la luz en el mismo plano que la normal durante toda la medida, plano que se denomina meridiano. De esta manera se estima cual es el funcionamiento del módulo bajo una fuente de luz determinada cuando el módulo se desalinea respecto de la fuente de luz. La función obtenida se llama *función transmisión angular*  $f(\alpha)$  del módulo fotovoltaico de concentración. La función transmisión angular se define para una determinada trayectoria de luz contenida en un plano meridiano del módulo fotovoltaico de concentración siendo  $\alpha$  el ángulo de incidencia respecto a la normal que determina la posición en dicha trayectoria.

Se define la *función transmisión angular*  $f(\alpha)$  de una “unidad elemental” como la potencia entregada por dicha unidad elemental en función del ángulo  $\alpha$  de incidencia de la luz con la que se ilumina. Se hace uso del término unidad elemental ya que la función transmisión angular se puede evaluar o bien sobre un módulo formado por una pluralidad de grupos óptica-célula solar o bien sobre una unidad elemental formada por un único grupo óptica-célula solar.

5 En la práctica, tal y como se lleva a cabo en el estado de la técnica, para obtener esta función  $f(\alpha)$  el módulo se ilumina de manera uniforme con una fuente de luz lo más parecida al sol (tanto en amplitud angular como en espectro).

10 Existen actualmente dos opciones que nos permiten obtener esta medida:

**Medida en el exterior:**

15 El módulo se fija a un seguidor solar (en inglés conocido como “tracker”) responsable de mantener la orientación de la normal al módulo hacia el Sol. El seguidor solar permite también determinar grados de desalineamiento respecto del Sol preestablecidos. Bajo distintas condiciones de iluminación se llevan a cabo medidas con distintos ángulos de desalineamiento y en particular con desalineamiento nulo.

20 El principal inconveniente de esta medida es la dependencia de las medidas con las condiciones meteorológicas así como la poca repetitividad de las condiciones de medida (espectro, temperatura, irradiancia, velocidad del viento...).

Otro importante inconveniente de esta opción es la necesidad de medir en el exterior. Al tiempo empleado en realizar la medida es necesario sumar el tiempo adicional que supone el traslado y montaje del o de los módulos.

**Medida en el interior:**

25 En la caracterización de un módulo fotovoltaico de concentración, a causa de la óptica de concentración interpuesta, la fuente de luz que hay que utilizar para llevar a cabo las medidas no puede ser de gran tamaño angular como en los paneles fotovoltaicos sino que ha de estar constituida por dispositivos que produzcan un haz colimado; es decir, un haz uniforme de rayos paralelos. Para realizar esta medida, es necesaria una fuente de luz que simule el Sol en todas sus características, incluida su extensión angular. Los sistemas de iluminación artificiales con haces paralelos y de gran área son difíciles de fabricar y, de entre los conocidos en el estado de la técnica solo pueden operar en modo “flash”, para alcanzar los niveles de iluminación necesarios con una duración de iluminación de pocas milésimas de segundo complicando la caracterización.

35 Para iluminar un módulo de concentración, se debe utilizar lo que se conoce como “simulador solar de módulos de concentración”. La principal diferencia respecto a un simulador de módulos convencionales radica en la colimación de la fuente de luz imprescindible para medir módulos fotovoltaicos de concentración. Para realizar la medida de la función de transmisión angular ha de medirse la potencia del módulo mientras éste es rotado respecto al haz de luz colimado gracias al movimiento de la estructura en la que se localiza.

40 El inconveniente principal de esta medida es la necesidad de incluir una estructura giratoria y el tiempo consumido en medir la potencia del módulo para diferentes posiciones. En realidad, se deben tomar tantas medidas como puntos o muestras se quieran a la hora de definir la función de transmisión. En la práctica se considera adecuado una resolución de la función de transmisión angular de 8 puntos como mínimo en una determinada dirección. Esto significa que se necesitan 8 medidas de la potencia del módulo iluminado (con el consumo de recursos asociado), cada una en una posición determinada. En total necesitamos 8 movimientos de módulo por cada dirección angular que quiera evaluarse.

50 La caracterización obtenida depende directamente de la fuente de luz utilizada. Por ello, si la luz con la que se caracteriza el sistema es diferente de la luz solar (en tamaño angular y espectro), el comportamiento medido del módulo será muy diferente en condiciones reales de operación. De ahí la importancia de utilizar un simulador solar adecuado para este tipo de módulos fotovoltaicos.

55 De todo esto se deduce que el control de calidad de los concentradores es problemático por razón de la fuente y porque tenemos que verificar tres aspectos: óptica, células y su interacción.

60 Si la caracterización de un módulo fotovoltaico de concentración es costosa y poco viable para ser introducida en un proceso de fabricación de módulos más costosa aún es la caracterización de cada unidad elemental (grupo óptica-célula solar) que forma el módulo. Las medidas tomadas a la salida del módulo es la suma de las contribuciones de cada unidad elemental. No es posible desmontar cada una de las unidades elementales ya que precisamente los errores de montaje son variables que se quieren tener en cuenta en la caracterización. Una alternativa consiste en tapar todas las unidades elementales salvo una y llevar a cabo tantas medidas como sean necesarias como para obtener la función de transmisión angular con suficiente resolución. Si esta labor es costosa e inoperativa para caracterizar una producción, multiplicar este esfuerzo por el que requiere ir cubriendo todas las unidades elementales salvo una; y, que la unidad elemental sin cubrir sea cada vez una distinta lo hace todavía más costoso.

La caracterización de sistemas fotovoltaicos de concentración es una línea de investigación novedosa y muy deseada por la industria del sector. Debido a la falta de herramientas útiles en la industria que permitan identificar problemas en la óptica de los módulos fotovoltaicos de concentración muchas veces se desconocen las causas que provocan una disminución de eficiencia de esta clase de módulos.

Con el dispositivo y método de acuerdo a la invención es posible evaluar la óptica de los sistemas de concentración caracterizando, no solo el módulo, sino cada una de las unidades elementales por separado en una sola operación que puede ser casi instantánea, se puede aplicar a la totalidad de los módulos fabricados y no solo a una muestra estadística y, entre otros resultados, también se puede obtener información adicional tal como el desalineamiento de las unidades elementales (grupos óptica-célula solar) debido a las lentes, los secundarios, o las células; y así también el desalineamiento del módulo en su conjunto respecto a sus elementos de fijación.

La técnica evita el uso de dispositivos caros tales como estructuras diseñadas para el soporte y el giro del módulo o su iluminación colimada; y provee de una caracterización independiente del modo de iluminación.

### **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN**

El método según un primer aspecto de la invención permite evaluar la óptica de una unidad elemental formada por un único grupo "óptica-célula solar" obteniendo su respuesta impulsional  $h(\alpha)$  en función del ángulo  $\alpha$  de incidencia de la luz. La respuesta impulsional es la función que caracteriza, en este caso el grupo óptica-célula solar, el comportamiento medido a través de la potencia generada, en función del ángulo  $\alpha$  de incidencia, independientemente de la naturaleza de la fuente de iluminación. El comportamiento del mismo dispositivo, en este caso el grupo óptica-célula solar, frente a una fuente de luz como es el Sol  $s(\alpha)$  se obtendrá mediante la convolución de la función que caracteriza el Sol con la respuesta impulsional. El resultado de esta convolución es la función transmisión angular  $f(\alpha) = (h * s)(\alpha)$ .

Tal y como ya se ha indicado, tanto la respuesta impulsional  $h(\alpha)$  como la función transmisión angular  $f(\alpha)$  se define para una determinada trayectoria de luz contenida en un plano meridiano del módulo fotovoltaico de concentración siendo  $\alpha$  el ángulo de incidencia respecto a la normal que determina la posición en dicha trayectoria. Al plano meridiano o a planos paralelos al meridiano lo denotaremos como  $P_\alpha$ . La intersección del plano meridiano  $P_\alpha$  con el plano principal del módulo es una recta coincidente con la dirección a lo largo de la cual se expresa la evolución de las funciones  $h(\alpha)$  o  $f(\alpha)$  cuando varía  $\alpha$ . Tal y como se describirá, esta dirección o trayectoria será la que se establecerá mediante la orientación de la alineación de un conjunto de cámaras.

Este mismo método según la presente invención permite evaluar una pluralidad de unidades elementales o la totalidad de las unidades que componen el módulo en una misma operación donde esta evaluación provee de las funciones que caracterizan cada una de estas unidades elementales.

El método lleva a cabo la caracterización de un módulo fotovoltaico de concentración que a su vez comprende una pluralidad de unidades elementales "óptica-célula solar". El método es aplicable a un dispositivo que comprende:

- a) una óptica colimadora definiendo el plano focal orientado perpendicular al eje focal de la óptica colimadora y posicionado pasando por el foco de dicha óptica colimadora,
- b) un soporte adecuado para soportar el módulo a caracterizar situado en un lugar del plano focal y con la superficie receptora principal del módulo orientada hacia la óptica colimadora.

La posición de la óptica colimadora va a ser utilizada como elemento de referencia ya que define la posición y orientación del eje focal y también de su foco. El plano perpendicular a este eje focal pasando por el foco es el plano focal que servirá para distribuir diversos componentes según ejemplos de realización. En particular en el plano focal se sitúa el soporte del módulo que permite que en modo operativo dicho módulo esté orientado hacia la óptica colimadora. El módulo se sitúa en un lugar del plano focal donde según diversos ejemplos de realización la posición respecto del foco dará lugar a distintas configuraciones posibles.

- c) una fuente de alimentación adecuada para alimentar eléctricamente el módulo de tal modo que dicho módulo opere como un emisor de luz.

Si bien en el estado de la técnica el módulo es caracterizado procediendo a su iluminación o bien natural con luz solar o bien con elementos cuya emisión tiene un espectro conocido, en la presente invención la fuente de luz es el propio módulo. Los módulos formados por células solares admiten la alimentación eléctrica para operar como emisores de luz. En la invención se provee de una fuente de alimentación adaptada para que el módulo que se instala en el soporte opere de este modo, emitiendo luz. Una primera ventaja de esta estrategia es que las medidas obtenidas no dependerán del espectro de una fuente de luz externa y no es necesaria una fuente externa capaz de iluminar la totalidad del módulo.

d) una pluralidad  $n$  de cámaras que a su vez comprenden un sensor de imagen y una óptica:

- la pluralidad  $n$  de cámaras está distribuida a lo largo de una línea esencialmente situada en el plano focal donde cada una de las cámaras está orientada para tomar una imagen del módulo a través de la óptica colimadora,
- la línea a lo largo de la cual está distribuida la pluralidad de  $n$  de cámaras está contenida en un plano  $P_\alpha$  perpendicular al plano focal que tiene una orientación coincidente con la orientación determinada por el eje del plano principal del módulo a lo largo del cual se examina el ángulo  $\alpha$  coincidente con la variable independiente de la función impulso  $h(\alpha)$  con la que se desea caracterizar el módulo,
- la posición de cada cámara es tal que capta la imagen del módulo situado en el soporte correspondiente a la emisión de luz con una determinada dirección según el ángulo de incidencia  $\alpha$  transmitida a través de la óptica colimadora,
- el enfoque de la óptica de cada una de las cámaras es tal que la imagen obtenible del módulo a través de la óptica colimadora se encuentra dentro de la profundidad de campo.

El módulo situado sobre el soporte está orientado hacia la óptica colimadora. Las  $n$  cámaras que forman el dispositivo están orientadas para tomar una imagen del módulo a través de la óptica colimadora y en particular, cuando el módulo está en modo operativo operando como un emisor de luz, las cámaras permiten tomar una imagen del módulo iluminado debido a que está generando luz.

Las cámaras no solo tienen un sensor que recibe la luz emitida por el módulo con la interposición de la óptica colimadora sino que, al estar dotadas de una óptica enfocada en el módulo, el sensor recibe la imagen del módulo iluminado observado con un ángulo de incidencia  $\alpha$  determinado por la posición de la cámara en el plano focal.

Dado que el objetivo de la invención es el de obtener una caracterización del módulo proveyendo de su respuesta impulsional, la función  $h(\alpha)$ , la posición de las cámaras en el plano focal a lo largo de una línea es tal que cada una de las posiciones corresponde a valores del ángulo de incidencia  $\alpha_i$  distintos tales que permiten definir la función  $h(\alpha)$  a partir de un conjunto de valores  $h_i = h(\alpha_i)$  discretos.

La imagen del módulo operando como emisor de luz depende del ángulo de incidencia  $\alpha$  y esta imagen contiene al menos un área donde se muestra la captura de una unidad elemental. La pluralidad de  $n$  de cámaras, cada una de ellas teniendo una posición distinta, proveen imágenes conteniendo un área de la al menos una unidad elemental que corresponden a un ángulo de incidencia  $\alpha_i$  distinto. Si las imágenes contienen áreas que corresponden a más de una unidad elemental, a partir de las mismas imágenes es posible la obtención de tantas funciones respuesta impulsional como unidades elementales son capturadas.

Se define un plano  $P_\alpha$  perpendicular al plano focal de tal modo que la intersección entre este plano  $P_\alpha$  y el plano focal coincide con la orientación de la trayectoria a lo largo de la cual se extiende la pluralidad de cámaras. Esta misma trayectoria coincide con la orientación del eje situado sobre el plano definido por la superficie del módulo a lo largo del cual se mide la evolución del ángulo.

e) una unidad central de proceso en comunicación con los sensores de imagen de cada una de las cámaras adaptado para recibir las imágenes  $(I_i, i = 1..n)$  captadas por los sensores de imagen y para llevar a cabo el procesamiento de dichas imágenes;

La unidad central de proceso es la que está adaptada para llevar a cabo las etapas del método que permiten la caracterización. Esta unidad central de proceso no obstante puede estar a su vez comprendida por otras subunidades de proceso especializadas en tareas específicas o que por ejemplo lleven a cabo el procesamiento de imágenes en paralelo.

El método según la invención comprende las siguientes etapas:

- f) situar el módulo a caracterizar sobre el soporte orientado hacia la óptica colimadora,
- g) alimentar el módulo eléctricamente para que opere en modo emisor emitiendo luz hacia la óptica colimadora,
- h) mientras el módulo está emitiendo luz capturar la imagen del módulo mediante los sensores de imagen de cada una de las cámaras de la pluralidad  $n$  de cámaras y transferir dichas imágenes  $(I_i, i = 1..n)$  a la unidad central de proceso,
- i) mediante la unidad central de proceso, para una unidad elemental "óptica-célula solar" preestablecida de entre la pluralidad  $n$  de unidades elementales comprendidas en el módulo:
  - identificar en cada imagen  $(I_i, i = 1..n)$  el área que corresponde a la unidad elemental "óptica-célula solar" preestablecido,
  - para cada imagen  $(I_i, i = 1..n)$  determinar el ángulo  $\alpha$  de incidencia de la emisión del haz de luz que alcanza la cámara que ha capturado dicha imagen,
  - para cada imagen  $(I_i, i = 1..n)$  evaluar la intensidad radiante de emisión del grupo "óptica-célula solar" a partir de la porción de imagen situada en el interior del área de imagen que corresponde a dicha uni-

*dad elemental "óptica-célula solar" preestablecida.*

5 El dispositivo admite uno o varios módulos a caracterizar que se sitúan en el soporte orientado hacia la óptica colimadora. La alimentación del módulo permite que éste opere como emisor de luz de tal modo que las cámaras son capaces de captar la imagen del módulo iluminado, esto es, produciendo luz. Al menos una unidad elemental "óptica-célula solar" aparecerá como un área determinada en cada una de las imágenes. Por ejemplo si la imagen capta la totalidad de las unidades elementales "óptica-célula solar" distribuidas por filas y columnas, la imagen tendrá aspecto de "tablero de ajedrez" formado por áreas o regiones de la imagen distribuidas en forma de matriz y de tal modo que cada área corresponderá con una unidad elemental y la distribución será la misma en todas las imágenes. De imagen a imagen variará el grado de iluminación que se observa en cada unidad elemental según la cámara que ha capturado dicha imagen. Si la cámara únicamente estuviese formada por un sensor, éste solo registraría la suma de las aportaciones de los rayos incidentes que alcanzasen el sensor; esto es, se tendría un valor ponderado suma de las aportaciones de cada unidad elemental. Al contrario, el uso de una óptica enfocada permite que cada cámara genere una imagen donde cada una de ellas repite el patrón formado por la pluralidad de unidades elementales contenidas en el módulo. De esta forma, el conjunto de imágenes permite caracterizar al menos una unidad elemental y de forma ventajosa también la totalidad de las unidades elementales que aparecen en todas las imágenes.

20 El método identifica el área que corresponde a la unidad elemental que se va a caracterizar para cada una de las imágenes. La imagen de la unidad elemental emitiendo luz está representada por el conjunto de píxeles que comprenden el área de la imagen que se ha capturado de la unidad elemental. Un experto en la materia es capaz de establecer un valor de la intensidad radiante a partir de los valores que toman los píxeles en la porción de imagen que corresponde a dicha unidad elemental "óptica-célula solar" objeto de caracterización. Por ejemplo es posible asociar un valor del píxel a un valor de la intensidad radiante mediante una pre-calibración y tomar como valor de la porción de imagen el valor ponderado a partir de todos los píxeles que están comprendidos en dicha porción.

- 30 j) *a partir de la correspondencia entre cada uno de los ángulos  $\alpha$  de incidencia de la emisión y los valores de la intensidad radiante valorados en la imagen asociada a dicho ángulo  $\alpha$  de incidencia de la emisión generar una función discreta  $h_i = h(\alpha_i); i = 1..n$ , para la unidad elemental preestablecida,*  
 k) *proveer de la función  $h(\alpha_i); i = 1..n$  como la función respuesta al impulso para una fuente puntual que caracteriza la unidad elemental "óptica-célula solar" preestablecida.*

35 Cada una de las imágenes provee de una muestra de la función respuesta al impulso, la que corresponde al ángulo de incidencia de la cámara que ha captado la imagen. La pluralidad de n cámaras provee de n muestras de la función discreta  $h_i = h(\alpha_i); i = 1..n$ . A partir de estas muestras es posible construir una función continua aproximante por ejemplo por interpolación o por correlación de funciones conocidas por poner dos ejemplos.

40 Un segundo aspecto de la invención es el dispositivo que permite soportar el módulo y caracterizarlo haciendo uso del método de acuerdo al primer aspecto inventivo.

### **DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

45 Estas y otras características y ventajas de la invención, se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la descripción detallada que sigue de una forma preferida de realización, dada únicamente a título de ejemplo ilustrativo y no limitativo, con referencia a las figuras que se acompañan.

- 50 Figura 1A En esta figura se muestra en alzado un esquema de distribución de los componentes que permiten caracterizar un módulo fotovoltaico de concentración según un primer ejemplo de realización.  
 Figura 1B En esta figura se muestra en alzado un esquema de distribución de los componentes que permiten caracterizar un módulo fotovoltaico de concentración según un segundo ejemplo de realización.  
 55 Figura 2 En esta figura se muestra el plano focal sobre el que quedan distribuido el módulo y las cámaras para la captura de la imagen.  
 Figura 3 En esta figura se muestra esquemáticamente una cámara con su óptica.  
 60 Figura 4 En esta figura se muestra un ejemplo de capturas de imagen y la reconstrucción de la función respuesta impulsional a partir de la información tomada en las imágenes.  
 Figura 5 En esta figura se muestra el módulo y las distintas direcciones relevantes en la presente invención.

### **EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

La presente invención, de acuerdo al primer aspecto inventivo, es un método de caracterización de un módulo fotovoltaico de concentración. En la figura 1 se muestra de forma esquemática un primer ejemplo de realización de dispositivo que permite llevar a cabo la caracterización. A la derecha de la figura se muestra una óptica colimadora (2) donde en este ejemplo de realización está constituida por un espejo colimador.

Esta óptica colimadora (2) define un eje focal (C) que se muestra en línea de trazos y puntos y también un foco (F) situado sobre el eje focal (C).

Perpendicular al eje focal se representa una línea de trazos que representa el plano focal (P). El plano focal (P) queda dispuesto perpendicular al papel donde se representa la figura 1.

Situado bajo la línea del eje focal (C) se muestra un soporte (6) adecuado para soportar el módulo (1) a caracterizar. Una vez que el módulo (1) se coloca sobre el soporte (6) la superficie del módulo (1) se encuentra principalmente en el plano focal (P) y orientado hacia la óptica colimadora (2).

Se muestra también una fuente de alimentación (4) adecuada para alimentar eléctricamente el módulo (1) de tal modo que dicho módulo (1) opera como emisor de luz. De forma esquemática la figura 1 muestra cuatro haces de luz saliendo del módulo (1) en dirección perpendicular a la superficie donde se encuentra la pluralidad de unidades elementales "óptica-célula solar" que forman el módulo (1). Los haces están representados en línea continua y paralelos incidiendo sobre la óptica colimadora (2). Por reflexión estos haces son concentrados en el foco (F) de la óptica colimadora (2). De la luz emitida también hay haces que salen con un determinado ángulo  $\alpha$ . Estos haces se representan saliendo del mismo punto del módulo que los haces perpendiculares pero con el ángulo de salida  $\alpha$  y representados en línea discontinua fina.

Los haces que salen con un ángulo  $\alpha$  también inciden en la óptica colimadora solo que son concentrados en un punto distinto del plano focal (P). En el foco (F) donde se concentran los haces con ángulo de salida del módulo  $\alpha = 0$  está situada una cámara (3) y en el punto del plano focal (P) donde se concentran los haces con un ángulo determinado  $\alpha$  de salida del módulo, los representados en línea de trazos, es donde también hay dispuesta otra cámara (3). En este ejemplo de realización se han dispuesto cinco cámaras alineadas, contenidas en el plano focal (P), de tal modo que están situadas para que la cámara (3) central se corresponda con un ángulo de incidencia nulo y haya cámaras (3) para dos ángulos distintos positivos y dos ángulos distintos negativos.

Las cámaras (3) están formadas por un sensor (3.1) y una óptica (3.2) tal y como se muestra en la figura 3. La óptica (3.2) está adecuadamente enfocada sobre la superficie principal del módulo (1) a través de la óptica colimadora (2) y hace que en el sensor (3.1) de la cámara (3) se proyecte una imagen del módulo (1) visto a través de la óptica colimadora (2).

En este ejemplo de realización, las cinco imágenes tomadas mediante las cinco cámaras (3) son transmitidas a una unidad central de proceso (5) para su posterior tratamiento tal y como se describirá más adelante.

En este ejemplo de realización las cámaras (3) están distribuidas verticalmente según la orientación en la que se muestra la figura 1. La caracterización de la al menos una unidad elemental del módulo (1) será mediante una función de respuesta al impulso  $h(\alpha)$ . Acudiendo a la figura 5, el módulo (1) tiene un plano principal sobre el que está definida la normal  $\mathbf{n}$ . El plano meridiano  $P_\alpha$  contiene la normal  $\mathbf{n}$  y tiene una orientación tal que la intersección con el plano principal del módulo (1) es la línea L1. Un vector contenido en el plano meridiano  $P_\alpha$  y con una inclinación determinada  $\alpha$  tendrá su proyección sobre el plano principal del módulo (1) situada en la línea L1. La orientación de esta línea L1 es coincidente con la orientación de la línea a lo largo de la cual se distribuyen las cámaras (3). Si en la figura 1 en lugar de estar las cámaras (3) distribuidas verticalmente estuviesen distribuidas horizontalmente entonces la función de respuesta al impulso  $h(\alpha)$  obtenida correspondería a un eje situado en el plano principal del módulo (1) según L2. La dirección del eje al que corresponde  $h(\alpha)$  en el módulo (1) es la dirección también que establece la orientación del plano perpendicular al plano focal y que contiene la alineación de cámaras (3).

La figura 1B muestra un segundo ejemplo de realización que contiene los mismos elementos que el primer ejemplo de realización solo que el soporte (6) del módulo está inclinado un ángulo  $\delta$ . De esta forma los haces de luz que salen perpendiculares al plano principal del módulo (1) salen también inclinados un ángulo  $\delta$  de tal modo que la reflexión en la óptica colimadora (2) no es en el foco (F) sino por encima del foco (F). En el primer ejemplo de realización, al situar la pluralidad de cámaras (3) en torno al foco (F) situando cámaras por encima y por debajo dejan menos espacio al módulo (1). Si el módulo (1) es grande, al disponer las cámaras (3) por encima del eje focal (C) se dispone de todo el espacio que hay en el plano focal (P) por debajo del eje focal (C) para el módulo (1). En este caso se indica encima y debajo haciendo referencia a la orientación mostrada en la figura 1B, no obstante se entiende que lo que importa es que el soporte está a un lado del eje focal (C) y que la pluralidad de cámaras (3) está al otro lado del eje focal (C).

- El ángulo  $\delta$  no tiene que ser suficientemente grande como para que la totalidad de las cámaras estén al otro lado del eje focal (C), por pequeño que sea  $\delta$  se producirá un desplazamiento del grupo de cámaras (3) dejando más espacio al módulo (1). Lo que es relevante es que la alineación de cámaras debe también tener un ángulo  $\delta$  de inclinación en sentido opuesto y en el mismo plano. En este caso en el plano paralelo al plano del dibujo.
- 5 La ligera inclinación que impone el ángulo  $\delta$  distancia algunas de las cámaras (3) del plano focal y también el plano principal del módulo deja de estar estrictamente contenido en el plano focal (P). No obstante, la profundidad de campo de las ópticas (3.2) de las cámaras (3) hace que estas desviaciones no impidan que la invención funcione.
- 10 La figura 2 muestra el plano focal (P) paralelo al papel para permitir observar distribuciones de pluralidades de cámaras (3) según diversos ejemplos de realización y el efecto técnico que tienen dichas distribuciones en la caracterización del módulo (1).
- 15 En la parte inferior del plano focal (P) se muestra la superficie principal del módulo (1) con una distribución matricial de unidades elementales "óptica-célula solar" (1.1). Cada una de estas unidades elementales (1.1) es vista en este ejemplo de realización como un cuadrado. La distribución matricial se extiende por filas horizontales y por filas verticales.
- 20 Por encima del módulo se encuentran las cámaras (3). La línea L1 vertical es la distribución de cámaras (1) vertical tal y como se ha utilizado en el primer y segundo ejemplo. Una distribución horizontal de cámaras (3) seguiría una orientación según L2. Esta distribución se ha destacado haciendo uso de círculos rellenos en negro en lugar de solo círculos. El uso de una distribución de cámaras (3) según una línea vertical (L1) permite caracterizar una o más unidades elementales del módulo (1) mediante funciones de respuesta al impulso según un eje vertical. Si se hace uso de una distribución de cámaras (3) según una línea horizontal (L2) es posible caracterizar una o más unidades elementales del módulo (1) mediante funciones de respuesta al impulso según un eje horizontal. Si se disponen cámaras (3) dispuestas en una distribución vertical y en horizontal, por ejemplo formando una cruz, es posible obtener caracterizaciones según dos ejes coordenados. En la figura 5 las líneas L1 y L2 son los ejes coordenados.
- 25 En la figura 2 se muestra una matriz de cámaras (3) que permiten simultáneamente no solo caracterizar según ejes coordenados sino que se pueden tomar alineaciones oblicuas sin más que hacer la selección de imágenes apropiadas mediante la unidad central de proceso (5).
- 30 La figura 4 muestra una secuencia de cinco imágenes tomadas por cinco cámaras (3) alineadas según por ejemplo L1 de un módulo (1) formado por unidades elementales "óptica-célula solar" (1.1) distribuidas en una matriz 5x5.
- 35 La posición de la primera cámara (3) corresponde a un ángulo de incidencia  $\alpha=-1.8^\circ$ , la segunda cámara (3) a un ángulo de incidencia  $\alpha=-0.9^\circ$ , la tercera cámara (3) a un ángulo de incidencia  $\alpha=0^\circ$ , la cuarta cámara (3) a un ángulo de incidencia  $\alpha=0.9^\circ$ ; y, la quinta cámara (3) a un ángulo de incidencia  $\alpha=1.8^\circ$ .
- 40 En cada una de las imágenes se observa la totalidad de las unidades elementales "óptica-célula solar" (1.1) observándose 25 áreas o regiones distribuidas en 5 filas y 5 columnas ya que muestran una captura del módulo (1) formado por una matriz 5x5 de unidades elementales "óptica-célula solar" (1.1) iluminado gracias a la alimentación (4).
- 45 En este ejemplo de realización se caracteriza la unidad elemental "óptica-célula solar" (1.1) situada en el centro de la matriz 5x5. El método, una vez capturadas las cinco imágenes, identifica el área que corresponde a la unidad elemental predeterminada (la central). Esta identificación se muestra en forma de rectángulo blanco superpuesto a cada una de las imágenes enmarcando el área de la imagen que corresponde a dicha unidad elemental (1.1).
- 50 Para cada área correspondiente a la unidad elemental predeterminada se lleva a cabo la evaluación de la intensidad radiante de emisión por ejemplo preasignando valores que toman los píxeles con valores de intensidad radiante tras llevar a cabo una precalibración y ponderando los valores que corresponden a todos los píxeles que hay en el área.
- 55 Para cada ángulo  $\alpha$  se tiene un valor de la intensidad radiante que permite construir la función discreta que se muestra en la parte inferior de la figura 4. En este caso la función continua  $h(\alpha)$  representada mediante una curva en trazo continuo se ha generado mediante un polinomio interpolatorio a partir de los cinco valores de la función discreta  $h(\alpha_i), i = 1, \dots, 5$ .
- 60 En las imágenes se muestran también áreas del resto de las unidades elementales (1.1). A partir de estas mismas imágenes se podría caracterizar cada una de las 25 unidades elementales (1.1) para la dirección definida por la línea a lo largo de la cual están distribuidas las cámaras (3). Para poder comparar las curvas obtenidas para las unidades individuales, las células deberían emitir con la misma intensidad, sin embargo esto no ocurre. Cada célula en el módulo emite con una intensidad distinta (no todas tienen por qué emitir igual) por lo que la curva que se obtiene se normaliza. Esto es, cada conjunto lente-célula se normaliza por la suma de todos los valores que forman dicha curva. De esta manera, es posible comparar las curvas entre las diferentes lentes, asumiendo que todas emiten con

la misma intensidad.

- 5 Si la adquisición de imágenes fuese mediante una matriz de cámaras, la invención permite construir una función de respuesta al impulso bidimensional. Cada función respuesta al impulso en una determinada dirección se corresponde a la función obtenida seleccionando las imágenes según dicha dirección. La selección de imágenes según una diagonal permitiría por ejemplo construir la función respuesta al impulso para caracterizar una determinada unidad elemental (1.1) según una dirección oblicua a 45 grados respecto de las líneas coordenadas L1 y L2 si estas son verticales y horizontales respectivamente tal y como se representan en la figura 2.
- 10 Es también objeto de la invención los componentes que admiten el soporte para ser éste caracterizado aplicando el método según el primer aspecto inventivo.

REIVINDICACIONES

- 1.- Método para la caracterización de un módulo (1) fotovoltaico de concentración que a su vez comprende una pluralidad de unidades elementales "óptica-célula solar", aplicable a un dispositivo que comprende:
- 5 a) una óptica colimadora (2) definiendo el plano focal (P) orientado perpendicular al eje focal (C) de la óptica colimadora (2) y posicionado pasando por el foco (F) de dicha óptica colimadora (2),
  - b) un soporte (6) adecuado para soportar el módulo (1) a caracterizar situado en un lugar del plano focal (P) y con la superficie receptora principal del módulo (1) orientada hacia la óptica colimadora (2),
  - 10 c) una fuente de alimentación (4) adecuada para alimentar eléctricamente el módulo (1) de tal modo que dicho módulo (1) opere como un emisor de luz,
  - d) una pluralidad  $n$  de cámaras (3) que a su vez comprenden un sensor de imagen (3.1) y una óptica (3.2) donde:
    - la pluralidad  $n$  de cámaras (3) está distribuida a lo largo de una línea (L1, L2) esencialmente situada en el plano focal (P) donde cada una de las cámaras (3) está orientada para tomar una imagen del módulo (1) a través de la óptica colimadora (2),
    - 15 - la línea (L1, L2) a lo largo de la cual está distribuida la pluralidad de  $n$  de cámaras (3) está contenida en un plano  $P_\alpha$  perpendicular al plano focal (P) que tiene una orientación coincidente con la orientación determinada por el eje del plano principal del módulo (1) a lo largo del cual se examina el ángulo  $\alpha$  coincidente con la variable independiente de la función impulso  $h(\alpha)$  con la que se desea caracterizar el módulo (1),
    - 20 - la posición de cada cámara (3) es tal que capta la imagen del módulo (1) situado en el soporte (6) correspondiente a la emisión de luz con una determinada dirección según el ángulo de incidencia  $\alpha$  transmitida a través de la óptica colimadora (2),
    - el enfoque de la óptica (3.2) de cada una de las cámaras (3) es tal que la imagen obtenible del módulo (1) a través de la óptica colimadora (2) se encuentra dentro de la profundidad de campo,
  - 25 e) una unidad central de proceso (5) en comunicación con los sensores (3.1) de imagen de cada una de las cámaras (3) adaptado para recibir las imágenes ( $I_i, i = 1..n$ ) captadas por los sensores (3.1) de imagen y para llevar a cabo el procesamiento de dichas imágenes;
- donde dicho método comprende las siguientes etapas:
- f) situar el módulo (1) a caracterizar sobre el soporte (6) orientado hacia la óptica colimadora (2),
  - 30 g) alimentar el módulo (1) eléctricamente para que opere en modo emisor emitiendo luz hacia la óptica colimadora (2),
  - h) mientras el módulo (1) está emitiendo luz capturar la imagen (I) del módulo mediante los sensores (3.1) de imagen de cada una de las cámaras (3) de la pluralidad  $n$  de cámaras (3) y transferir dichas imágenes ( $I_i, i = 1..n$ ) a la unidad central de proceso (5),
  - 35 i) mediante la unidad central de proceso (5), para una unidad elemental "óptica-célula solar" preestablecida de entre la pluralidad  $n$  de unidades elementales comprendidas en el módulo (1):
    - identificar en cada imagen ( $I_i, i = 1..n$ ) el área que corresponde a la unidad elemental "óptica-célula solar" preestablecida,
    - para cada imagen ( $I_i, i = 1..n$ ) determinar el ángulo  $\alpha$  de incidencia de la emisión del haz de luz que alcanza la cámara (3) que ha capturado dicha imagen,
    - 40 - para cada imagen ( $I_i, i = 1..n$ ) evaluar la intensidad radiante de emisión del grupo "óptica-célula solar" a partir de la porción de imagen situada en el interior del área de imagen que corresponde a dicha unidad elemental "óptica-célula solar" preestablecida,
  - 45 j) a partir de la correspondencia entre cada uno de los ángulos  $\alpha$  de incidencia de la emisión y los valores de la intensidad radiante valorados en la imagen asociada a dicho ángulo  $\alpha$  de incidencia de la emisión generar una función discreta  $h_i = h(\alpha_i); i = 1..n$ , para la unidad elemental preestablecida,
  - k) proveer de la función  $h(\alpha_i); i = 1..n$  como la función respuesta al impulso para una fuente puntual que caracteriza la unidad elemental "óptica-célula solar" preestablecida.
- 50 2.- Método según la reivindicación 1 caracterizado por que mediante las imágenes capturadas en la etapa h), las etapas i) y j) se llevan a cabo para una pluralidad de unidades elementales "óptica-célula solar" o para la totalidad de unidades elementales "óptica-célula solar" caracterizando a partir de las mismas imágenes dicha pluralidad o la totalidad de los grupos "óptica-célula solar".
- 55 3.- Método según la reivindicación 1 o 2 caracterizado por que el dispositivo comprende una multiplicidad  $m$  de filas formadas por pluralidades de  $n$  de cámaras (3) distribuidas a lo largo de cada fila dando lugar a una matriz de cámaras (3), estando esta matriz de cámaras (3) esencialmente situada en el plano focal (P).
- 60 4.- Método según la reivindicación 3 caracterizado por que mediante imágenes de cámaras distribuidas por filas en la matriz y mediante imágenes de cámaras distribuidas por columnas en la misma matriz, las etapas i) y j) se llevan a cabo, para una o más unidades elementales "óptica-célula solar", para caracterizar simultáneamente mediante funciones respuesta al impulso correspondientes a direcciones de incidencia contenidos en los planos determinados por las posiciones de las cámaras.

- 5.- Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 caracterizado por que el soporte (6) adecuado para soportar el módulo (1) está inclinado respecto del eje focal (C) de la óptica colimadora (2) y la pluralidad de  $n$  cámaras (3) está distanciada del mismo eje focal (C).
- 5 6.- Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 caracterizado por que el soporte (6) adecuado para soportar el módulo (1) es paralelo al plano al plano focal (P) y perpendicular respecto del eje focal (C) de la óptica colimadora (2); y, la pluralidad de  $n$  cámaras (3) está centrada respecto del eje focal (C).
- 10 7.- Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que al menos una de las cámaras (3) tiene el enfoque establecido con una distancia focal situada en el infinito.
- 8.- Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que la unidad central de proceso (5) está a su vez comprendida por sub unidades centrales de proceso encargadas de tareas específicas.
- 15 9.- Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que la intensidad radiante asociada a un área de la imagen se determina asignando un valor escalar determinado a cada pixel del área y a partir de estos valores la intensidad radiante se calcula como la suma de todos los valores asignados.
- 20 10.- Método según la reivindicación 9 caracterizado por que el valor de la intensidad radiante asociada a un área de la imagen tomada como muestra de una curva se normaliza por la suma de todos los valores que forman dicha curva.
- 25 11.- Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que, dada una fuente de radiación definida a partir de su función característica  $s(\alpha)$ , se determina la función de transmisión angular  $f(\alpha)$  que caracteriza el comportamiento de una unidad elemental "óptica-célula solar" frente a dicha fuente como la convolución de la función característica  $s(\alpha)$  con la función respuesta al impulso
- $$f(\alpha) = (f * h)(\alpha)$$
- obtenida para dicha unidad elemental.
- 30 12.- Dispositivo adecuado para la caracterización de un módulo (1) fotovoltaico de concentración que comprende los componentes a)-e) de la reivindicación 1 y donde la unidad central de proceso (5) está adaptada para llevar a cabo las tareas f)-j) de dicha reivindicación 1.
- 13.- Dispositivo según la reivindicación 12 caracterizado por que comprende una matriz de cámaras (3).
- 35 14.- Dispositivo según la reivindicación 12 caracterizado por que la óptica colimadora es un espejo (2) colimador.

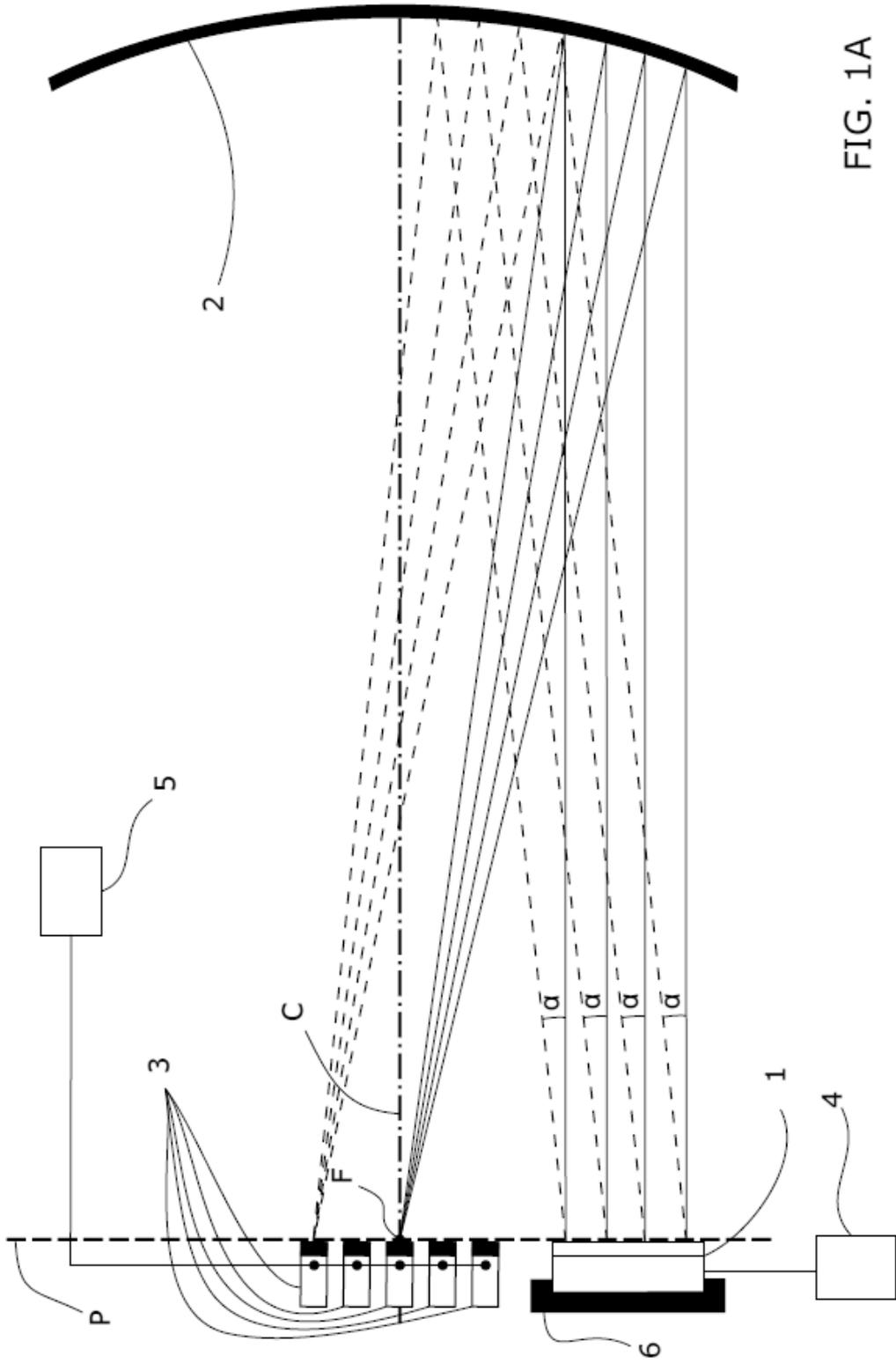
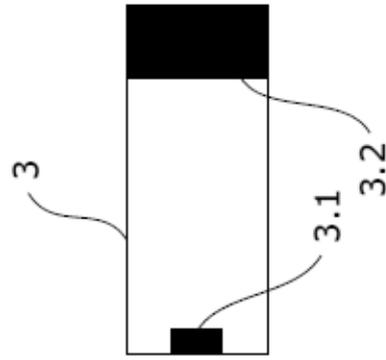
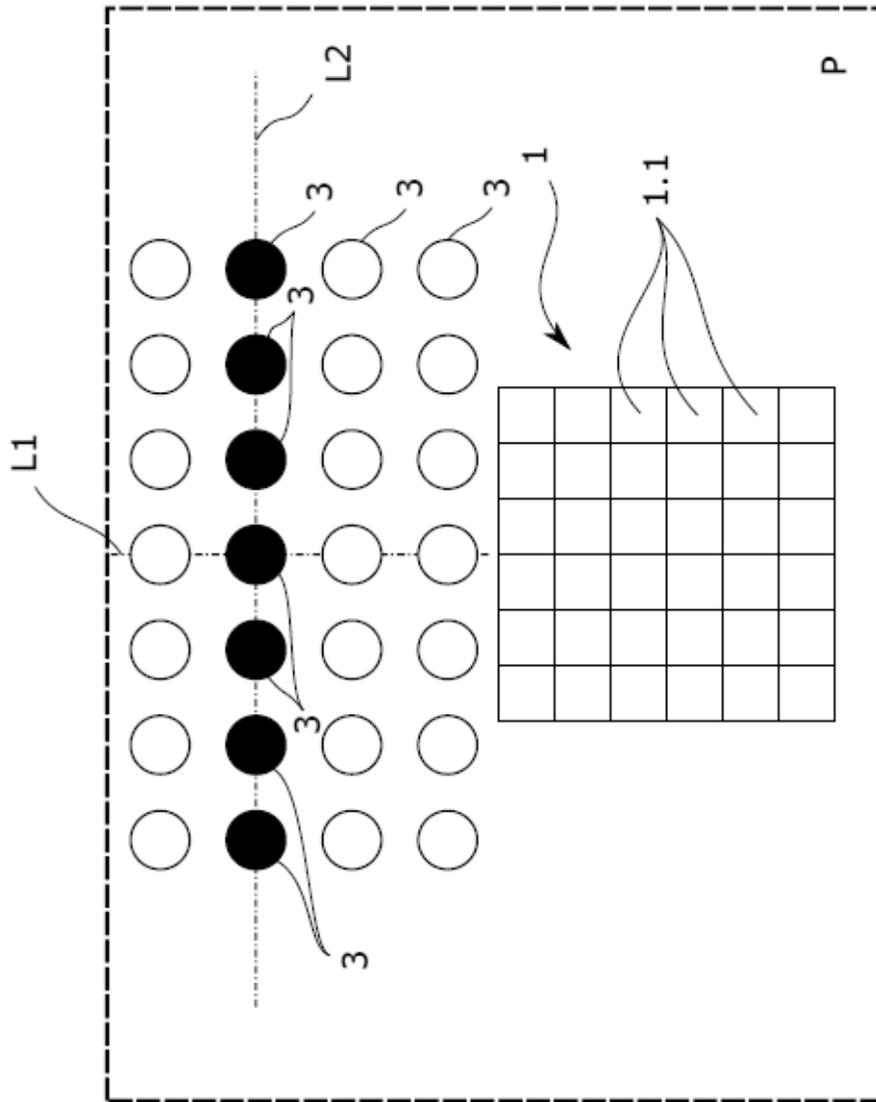


FIG. 1A





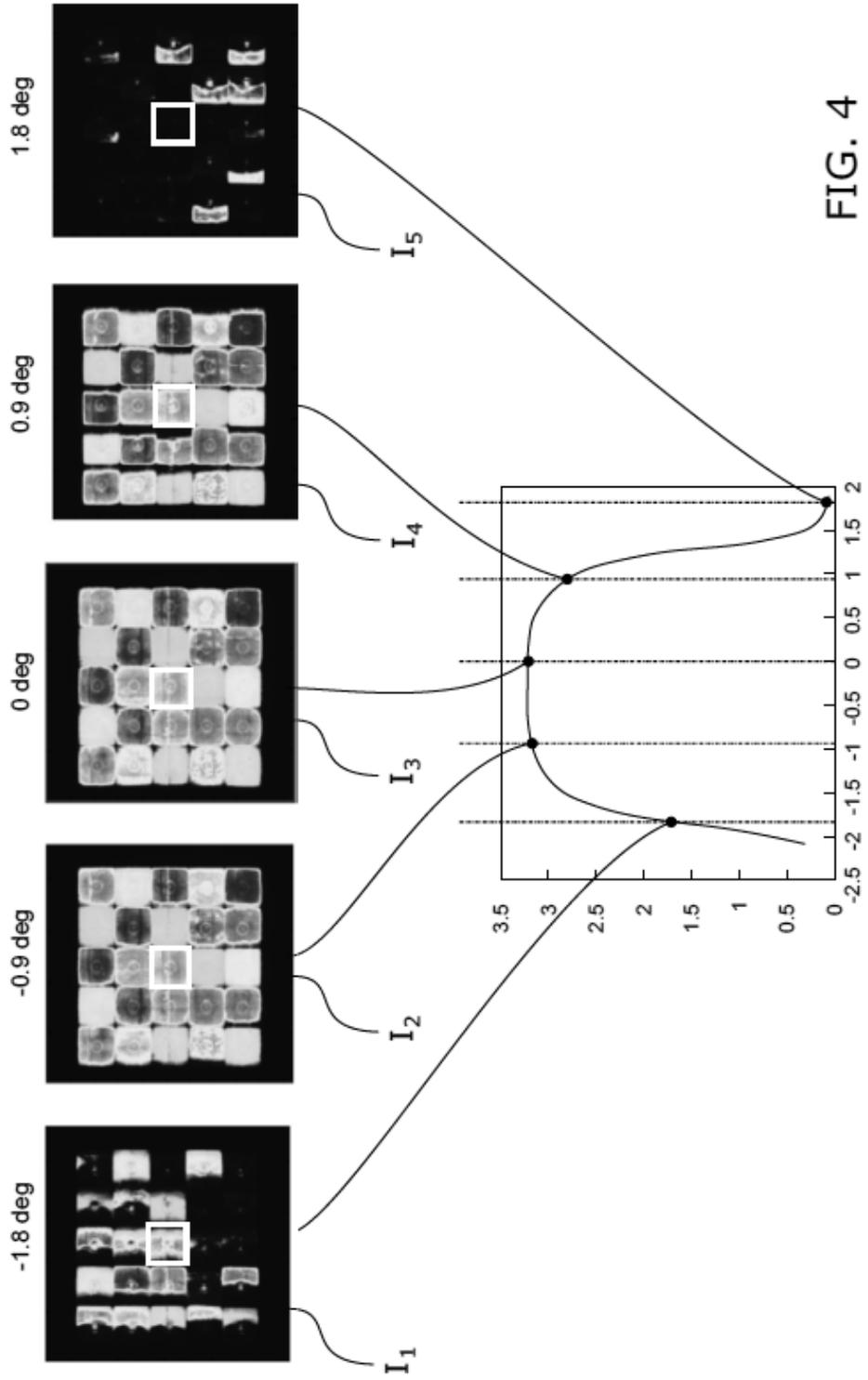


FIG. 4

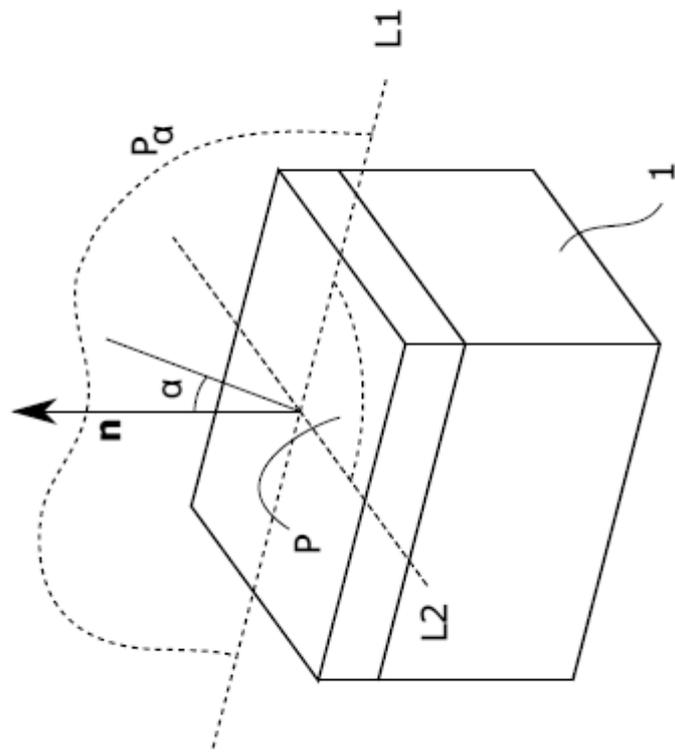


FIG. 5