

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 794 552**

51 Int. Cl.:

**H02S 50/15** (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.05.2016 PCT/EP2016/061838**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.12.2016 WO16189052**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.05.2016 E 16726071 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2020 EP 3304732**

54 Título: **Procedimiento y sistema para estimar una pérdida de producción energética de un módulo fotovoltaico**

30 Prioridad:

**26.05.2015 FR 1554676**

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

**18.11.2020**

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET  
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)  
25, Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D"  
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**HA, DUY LONG y  
TSANAKAS, IOANNIS**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 794 552 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 y sistema para estimar una pérdida de producción energética de un módulo fotovoltaico

La presente invención se refiere a un procedimiento para evaluar una pérdida de producción energética de un módulo fotovoltaico de una central fotovoltaica, y el sistema de estimación correspondiente.

5 Una central solar fotovoltaica es un conjunto que incluye una pluralidad de módulos solares fotovoltaicos (PV) conectados entre sí y destinados a producir electricidad. Se extiende sobre una gran superficie, que puede alcanzar varios km<sup>2</sup>. El documento US2009/0238444A describe un procedimiento de ensayo de un módulo fotovoltaico.

10 Los módulos, compuestos por celdas fotovoltaicas, son susceptibles de presentar defectos que forman, en funcionamiento, "hot spots" o zonas calientes. Estos defectos tienen potencialmente un impacto en la productividad de la central. Por lo tanto, es importante poder detectar, localizar y evaluar estos defectos, a fin de decidir si es pertinente intervenir al nivel del módulo defectuoso para repararlo. En general, un operador de mantenimiento equipado con una cámara térmica pasa sucesivamente por delante de los diferentes módulos PV para tomar imágenes térmicas. Los datos térmicos así recogidos son a continuación analizados para detectar con ellos una zona potencialmente defectuosa. Como variante, el operador puede desconectar cada módulo a controlar y determinar la característica de corriente-tensión, o I-V, del módulo con la ayuda de un trazador IV. Si se detectan una o más zonas potencialmente defectuosas, se activa una intervención de reparación. Esto necesita generalmente un cierre temporal de la central PV, lo que representa una pérdida significativa de producción, y trabajos de manutención. Además, el acceso al módulo puede ser delicado.

20 Teniendo en cuenta la superficie de una central PV, dicha operación de mantenimiento se revela muy costosa en términos de tiempo y pérdida de producción. Además, a menudo carece de fiabilidad. En efecto, las zonas defectuosas potenciales detectadas pueden resultar no ser defectuosas en la realidad. Como resultado, la pérdida de producción causada por una intervención de reparación puede resultar a posteriori injustificada. Esto puede disuadir al operador de una central PV de llevar a cabo dicha operación de mantenimiento.

25 Antes de activar una intervención de reparación en un módulo fotovoltaico defectuoso en el seno de una central fotovoltaica, puede ser pertinente evaluar, o cuantificar, previamente la pérdida de producción energética inducida por el o los defectos de este módulo.

Con este fin, la invención se refiere a un procedimiento para estimar una pérdida de producción energética de un módulo fotovoltaico defectuoso que pertenece a una central fotovoltaica, que comprende las etapas de:

- adquisición de una imagen térmica del módulo fotovoltaico defectuoso en funcionamiento;
- 30 • división de la imagen térmica adquirida en diferentes zonas de temperatura y determinación de las temperaturas respectivas relacionadas con las diferentes zonas a partir de la imagen térmica;
- obtención de una temperatura de referencia de un módulo fotovoltaico de referencia;
- detección, entre dichas zonas de temperatura, de al menos una zona caliente cuya temperatura es superior a la temperatura de referencia con una diferencia de temperatura superior o igual a un valor
- 35 mínimo predefinido;
- cálculo de una estimación de la pérdida de producción energética del módulo a partir de la diferencia de temperatura entre la temperatura de la zona caliente y la temperatura de referencia, de la superficie de la zona caliente y de un coeficiente de intercambio térmico del módulo.

40 Gracias a la invención, se estima la pérdida de productividad de un módulo fotovoltaico defectuoso de manera simple, por termografía, a partir de una imagen térmica de este módulo en funcionamiento. Por lo tanto, no es necesario interrumpir momentáneamente el funcionamiento del módulo fotovoltaico para probarlo. La estimación puede ser realizada en un módulo fotovoltaico operativo de una central fotovoltaica durante el funcionamiento.

Ventajosamente, se calcula una estimación de la pérdida de producción energética  $\Delta P_{ij}$  con respecto a la zona caliente  $Z_{ij}$  del módulo fotovoltaico defectuoso  $M_i$  mediante la siguiente relación:

45 
$$\Delta P_{ij} = U_{pv} \cdot S_{ij} \cdot (T_{ij} - T_{ref})$$

donde:

- $U_{pv}$  representa un coeficiente de intercambio térmico del módulo  $M_i$ ;
- $S_{ij}$  representa la superficie de la zona caliente  $Z_{ij}$ ;

- $T_j$  representa la temperatura de la zona caliente  $Z_j$ ;
- $T_{ref}$  representa dicha temperatura de referencia.

5 Ventajosamente aún, en el caso de que el módulo fotovoltaico defectuoso comprenda varias zonas de temperatura calientes, se acumulan las pérdidas estimadas de producción energética relacionadas con las diferentes zonas calientes.

En un modo de realización particular, dicho módulo fotovoltaico defectuoso que pertenece a una central fotovoltaica que incluye una pluralidad de módulos fotovoltaicos, la temperatura de referencia se refiere a un módulo no defectuoso en funcionamiento de la central.

10 Ventajosamente, cada una de las zonas de temperatura de la imagen térmica adquirida está caracterizada por una temperatura específica que es uniforme o casi uniforme en toda la zona, presentando dos zonas de temperatura adyacentes entre ellas una diferencia de temperatura superior a un umbral predefinido.

Ventajosamente aún, comprende una etapa para determinar la superficie de la zona caliente, a partir de la imagen térmica de dicho módulo.

15 En un modo de realización particular, comprende una etapa preliminar para determinar el coeficiente de intercambio térmico del módulo fotovoltaico defectuoso que comprende las siguientes etapas secundarias, implementadas en un módulo fotovoltaico de referencia en funcionamiento:

- medición de la potencia del flujo luminoso que irradia el módulo de referencia;
- medición de la potencia energética entregada a la salida del módulo fotovoltaico de referencia irradiado;
- medición de la temperatura ambiente;
- 20 • medición de la temperatura del módulo fotovoltaico de referencia;
- determinación del coeficiente de intercambio térmico del módulo fotovoltaico de referencia mediante la siguiente relación:

$$U_{pv} = \frac{G \cdot A - P}{A \cdot (T - T_\alpha)}$$

donde:

- 25 -  $U_{pv}$  representa el coeficiente de intercambio térmico del módulo fotovoltaico de referencia;
- $G$  representa la potencia del flujo luminoso que irradia el módulo fotovoltaico de referencia;
- $A$  representa la superficie del módulo fotovoltaico de referencia;
- $P$  representa la potencia energética entregada por el módulo fotovoltaico de referencia;
- $T$  representa la temperatura del módulo fotovoltaico de referencia;
- 30 -  $T_\alpha$  representa la temperatura ambiente.

Ventajosamente, durante la adquisición de la imagen térmica del módulo fotovoltaico defectuoso, la central fotovoltaica está en funcionamiento.

La invención también se refiere a un sistema para estimar una pérdida de producción energética de un módulo fotovoltaico defectuoso de una central fotovoltaica, que comprende:

- 35 • un dispositivo para adquirir una imagen térmica del módulo fotovoltaico en funcionamiento;
- una computadora que comprende un módulo para dividir la imagen térmica adquirida en diferentes zonas de temperatura y para determinar las temperaturas respectivas relativas a las diferentes zonas a partir de la imagen térmica, un módulo para obtener una temperatura de referencia de un módulo fotovoltaico no defectuoso, un módulo de detección, entre dichas zonas de temperatura, de al menos una zona caliente
- 40 cuya temperatura es superior a la temperatura de referencia con una diferencia de temperatura superior o igual a un valor mínimo predefinido, un módulo para calcular una estimación de la pérdida de producción energética del módulo a partir de la diferencia de temperatura entre la temperatura de la zona caliente y la temperatura de referencia, de la superficie de la zona caliente y de un coeficiente de intercambio térmico del módulo.

Ventajosamente, el módulo de cálculo está dispuesto para calcular una estimación de la pérdida de producción energética  $\Delta P_{ij}$  con respecto a la zona caliente  $Z_{ij}$  del módulo  $M_i$  por la siguiente relación:

$$\Delta P_{ij} = U_{pv} \cdot S_{ij} \cdot (T_{ij} - T_{ref})$$

donde:

- 5
- $U_{pv}$  representa un coeficiente de intercambio térmico del módulo  $M_i$ ;
  - $S_{ij}$  representa la superficie de la zona caliente  $Z_{ij}$ ;
  - $T_{ij}$  representa la temperatura de la zona caliente  $Z_{ij}$ ;
  - $T_{ref}$  representa dicha temperatura de referencia.

10 Ventajosamente aún, el módulo de división está adaptado para descomponer la imagen térmica del módulo fotovoltaico en diferentes zonas de temperatura, cada una caracterizada por una temperatura específica que es uniforme o casi uniforme en toda la zona, presentando dos zonas térmicas adyacentes entre ellas una diferencia de temperatura superior a un umbral predefinido.

15 La invención se entenderá mejor con la ayuda de la siguiente descripción de un modo de realización particular del procedimiento y del sistema para estimar una pérdida de producción energética de un módulo fotovoltaico de una central fotovoltaica, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

Las figuras 1A y 1B representan un organigrama de las etapas del procedimiento según un modo de realización particular de la invención;

La figura 2 representa un esquema de bloques funcional de un sistema de estimación capaz de implementar el procedimiento de las figuras 1A y 1B, según una forma de realización particular de la invención;

20 Las figuras 3, 4 y 5 representan imágenes térmicas de módulos fotovoltaicos de una central fotovoltaica.

25 El sistema 1 de la invención está destinado a estimar la pérdida de producción o de potencia energética de un módulo fotovoltaico defectuoso en funcionamiento. El módulo fotovoltaico defectuoso pertenece aquí a una central fotovoltaica que incluye un conjunto de módulos fotovoltaicos  $M_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ). La estimación de la pérdida de potencia puede ser realizada cuando la central fotovoltaica está en funcionamiento. Cada módulo  $M_i$  comprende un número  $X$  de celdas fotovoltaicas y presenta una superficie  $A$ .

Por los términos «en funcionamiento» o «durante el funcionamiento», se entiende que el módulo fotovoltaico o la central fotovoltaica están en proceso de producir energía eléctrica mediante la conversión de energía luminosa incidente. Preferiblemente, esto excluye cualquier alimentación eléctrica de un módulo fotovoltaico para producir un calentamiento del mismo.

30 El sistema 1 de estimación comprende los siguientes elementos:

- un dispositivo 2 para adquirir imágenes térmicas;
- una computadora 3;
- un sensor térmico 4;
- un sensor 5 de irradiancia (o de medición de potencia de un flujo luminoso).

35 El dispositivo 2 de adquisición de imágenes térmicas es, por ejemplo, una cámara térmica. Es capaz de tomar imágenes térmicas de un módulo fotovoltaico. Puede ser transportado por un usuario destinado a pasar por delante de los módulos fotovoltaicos de la central fotovoltaica y a tomar imágenes térmicas de uno o más módulos fotovoltaicos, en otras palabras, para adquirir datos térmicos o termográficos del o de los módulos fotovoltaicos. Como variante, el dispositivo 2 de adquisición termográfica puede ser transportado por un dron destinado a sobrevolar sobre los módulos de la central.

40

El sensor térmico 4 está destinado a medir la temperatura ambiente exterior.

El sensor 5 de irradiancia está destinado a medir la irradiancia incidente en un módulo fotovoltaico, en otras palabras, la potencia del flujo luminoso recibido por un módulo fotovoltaico.

45 La computadora 3 está destinada a estimar la pérdida de producción energética de un módulo fotovoltaico a partir de una imagen térmica del módulo en funcionamiento. Comprende diferentes módulos funcionales que se describirán más adelante.

La cámara térmica 2, el sensor térmico 4 y el sensor 5 de irradiancia están conectados aquí a la computadora 3 y están destinados a transmitir a la misma datos termográficos, datos térmicos y datos de irradiancia medidos. Los diferentes elementos 2 a 5 pueden estar integrados en un mismo equipo físico. En una variante, los elementos 2 a 5 pueden estar, total o parcialmente, separados físicamente. Por ejemplo, la computadora 3 podría estar distante, es decir, separada físicamente de la cámara térmica 2 y de los sensores 4 y 5. La computadora 3 puede estar integrada en particular en un ordenador portátil o de sobremesa destinado a ser utilizado por un operador. En este caso, la cámara 2, el sensor térmico 4 y/o el sensor 5 de irradiancia pueden estar conectados a la computadora 3 por en lace por radio o por cable. De manera alternativa, la temperatura medida por el sensor 4 y/o la irradiancia medida por el sensor 5 podrían ser suministradas a la computadora 3 por un usuario por medio de una interfaz hombre-máquina.

Ahora se va a describir con referencia a la figura 1 un modo de realización particular del procedimiento para estimar una pérdida de producción o de potencia energética de un módulo fotovoltaico defectuoso de la central fotovoltaica. El proceso es implementado aquí durante el funcionamiento de la central fotovoltaica.

Tómese, a título de ejemplo ilustrativo, la imagen térmica de la figura 3. Contiene las imágenes térmicas  $Im_1$  e  $Im_2$  de dos módulos fotovoltaicos referenciados  $M_1$  (en la parte superior de la figura 3) y  $M_2$  (en la parte inferior de la figura 3). El módulo  $M_1$  es defectuoso: incluye un defecto térmico relacionado con grietas en el material semiconductor. El módulo  $M_2$  no tiene defectos térmicos y funciona correctamente.

El procedimiento de la invención permite estimar la pérdida de producción energética o la pérdida de potencia a la salida del módulo  $M_1$ , siendo causada esta pérdida por el defecto térmico.

El procedimiento comprende una etapa previa de configuración E0 destinada a determinar un coeficiente de intercambio térmico  $U_{pv}$  del módulo fotovoltaico  $M_1$ . Esta etapa de configuración E0 es implementada en un módulo fotovoltaico de referencia  $M_{ref}$ . Un «módulo fotovoltaico de referencia» es un módulo fotovoltaico análogo al módulo  $M_1$  a evaluar (es decir, del mismo tipo y/o que tiene las mismas características técnicas) pero no defectuoso, es decir sin defecto térmico. El módulo fotovoltaico de referencia es ventajosamente un módulo de la central fotovoltaica, por ejemplo, situado en las proximidades del módulo a evaluar. En el ejemplo de realización descrito aquí, este módulo fotovoltaico de referencia es el módulo  $M_2$ .

La etapa de configuración E0 comprende una primera etapa secundaria E01 de medición, durante la cual el sensor 5 mide la irradiancia incidente  $G$  recibida por el módulo fotovoltaico  $M_{ref}$ , en el plano del módulo  $M_{ref}$ , en otras palabras, la potencia del flujo luminoso recibido por el módulo  $M_{ref}$ . La magnitud  $G$  medida es expresada en  $W/m^2$ .

La etapa de configuración E0 comprende una segunda etapa secundaria E02 de medición, durante la cual la potencia eléctrica  $P$  entregada a la salida del módulo fotovoltaico  $M_{ref}$  de referencia es medida mientras el módulo  $M_{ref}$  es irradiado. La potencia puede ser determinada midiendo la tensión y la corriente a la salida del módulo  $M_{ref}$  con la ayuda de un trazador IV.

La etapa de configuración E0 comprende una tercera etapa secundaria E03 de medición durante la cual el sensor térmico 4 mide la temperatura ambiente  $T_a$  en el entorno exterior del módulo fotovoltaico  $M_{ref}$  de referencia.

La etapa de configuración E0 comprende una cuarta etapa secundaria E04 de medición durante la cual se mide la temperatura  $T(M_{ref})$  del módulo de referencia. La temperatura  $T(M_{ref})$  corresponde a la temperatura media del módulo  $M_{ref}$  de referencia. Esta medición puede ser realizada a partir de una imagen térmica del módulo  $M_{ref}$  tomada por la cámara térmica 2 o por un sensor térmico capaz de medir la temperatura media del módulo  $M_{ref}$  de referencia. El sensor térmico puede ser un sensor que incluye una o varias sondas térmicas de contacto y está pegado, por ejemplo, a la parte posterior del módulo, o un sensor sin contacto, que un operador puede colocar, por ejemplo, cerca del módulo  $M_{ref}$  para medir su temperatura.

La etapa de configuración E0 comprende finalmente una etapa E05 para calcular el coeficiente de intercambio térmico  $U_{pv}$  del módulo fotovoltaico  $M_{ref}$  aquí por la siguiente relación:

$$U_{pv} = \frac{G \cdot A - P}{A \cdot (T - T_a)} \quad (0)$$

donde:

- $G$ , expresado en  $W \cdot m^{-2}$ , representa la potencia luminosa incidente, o irradiancia incidente, en el módulo fotovoltaico  $M_{ref}$  de referencia;
- $A$ , expresado en  $m^2$ , representa la superficie del módulo fotovoltaico  $M_{ref}$  de referencia;
- $P$ , expresado en  $W$ , representa la potencia energética (aquí eléctrica) entregada a la salida por el módulo fotovoltaico  $M_{ref}$  de referencia;

- $T$  representa la temperatura del módulo fotovoltaico  $M_{ref}$  de referencia;
- $T_a$  representa la temperatura ambiente en el entorno del módulo  $M_{ref}$  de referencia;

Sin embargo, podrían utilizarse otros procedimientos, conocidos por el experto en la técnica, para estimar  $U_{pv}$ .

5 La relación (0) se deduce de la siguiente ecuación (1) que traduce una condición de equilibrio energético del módulo fotovoltaico:

$$G.A = P + U_{pv} \times A \times (T - T_a) \quad (1)$$

10 El coeficiente de intercambio térmico del módulo fotovoltaico  $M_1$  es igual o sustancialmente igual al coeficiente de intercambio térmico  $U_{pv}$  determinado para el módulo  $M_{ref}$  de referencia. En general, el coeficiente de intercambio térmico  $U_{pv}$  determinado a partir del módulo  $M_{ref}$  de referencia es aplicable a todos los módulos fotovoltaicos del mismo tipo, en particular a los que pertenecen a la central fotovoltaica.

Sin embargo, esta etapa de configuración E0 es opcional. De hecho, se podría considerar que el coeficiente de intercambio térmico del módulo  $M_1$  es conocido, por ejemplo, proporcionado por el fabricante.

15 Al conocerse el coeficiente de intercambio térmico  $U_{pv}$  del módulo  $M_1$ , el procedimiento comprende una etapa E1 de adquisición de una imagen térmica  $Im_1$  del módulo fotovoltaico  $M_1$ . Esta imagen térmica  $Im_1$  es tomada por la cámara térmica 2. La imagen  $Im_1$  del módulo  $M_1$  puede estar constituida por una parte de una imagen adquirida por la cámara térmica 2, como se ha representado en la figura 3.

20 La adquisición de imagen es realizada cuando las condiciones de medición radiométrica son satisfactorias, por ejemplo, con  $G$  superior o igual a  $600 \text{ W/m}^2$  y un viento estable de velocidad inferior o igual a  $15 \text{ km/h}$ . De manera más detallada, las siguientes condiciones (basadas en particular en la experiencia y en la norma IEC 60904-14 en desarrollo) son consideradas preferibles para obtener una precisión radiométrica (o termográfica) óptima:

- calibración de la cámara termográfica con este valor con el factor de emisividad  $\epsilon$  de la superficie objetivo determinada. Por ejemplo, valores típicos de  $\epsilon$  son próximos a 0,85 (u 85%) para el vidrio templado (de cobertura de un módulo PV), y próximos a 0,90 (o 90%) para el material de la lámina posterior (por ejemplo, Tedlar®);
- 25 – condiciones estables insolación, preferiblemente con una irradiancia mínima  $G_{min} = 600 \text{ W/m}^2$  en el plano del módulo fotovoltaico);
- condiciones de viento estables, preferiblemente con una velocidad máxima del viento igual a 4 Bf, o sea aproximadamente 20 a 30 km/h;
- 30 – preferiblemente una cobertura de nubes nula o muy baja, preferiblemente, una cobertura de nubes máxima de 2 octas;
- calibrado o corrección de la cámara térmica con un valor de compensación ambiental (ACV), en función de la distancia de la superficie objetivo, de la humedad relativa (% de RH) y de la temperatura ambiente uniforme;
- 35 – regulación del ángulo  $\vartheta_{opt}$  entre la lente de la cámara térmica y el plano del módulo (superficie objetivo) lo más cerca posible de  $90^\circ$  (vertical al módulo) o, al menos, no menor de  $50^\circ$ . La elección del ángulo  $\vartheta_{opt}$  debe estar igualmente adaptada para evitar los reflejos no deseados de la cámara o del operador de la superficie objetivo que provocan la detección automática (fenómeno "Narciso");
- distancia máxima desde la superficie objetivo para asegurar una resolución mínima de al menos  $5 \times 5$  píxeles por celda para la imagen térmica. La distancia mínima de la superficie objetivo es preferiblemente superior o igual a 1 m.
- 40 – condiciones de carga estables en lo que se refiere al funcionamiento de los módulos fotovoltaicos inspeccionados. La operación es realizada preferiblemente en el punto de máxima potencia y al menos 20 minutos después de un incidente anterior (sombra, nube, anomalía de carga, etc.).

45 La cámara térmica 2 puede ser transportada por un operador que se posiciona delante del módulo  $M_1$  o por un dron que sobrevuela el módulo  $M_1$ .

50 La etapa E1 es seguida por una etapa E2 de división o de descomposición de la imagen térmica  $Im_1$  del módulo fotovoltaico  $M_1$  en un número  $N$  de zona o zonas  $Z_{1j}$ , con  $1 \leq j \in [1, \dots, N]$ . Aquí, por el término "división", se entiende por lo tanto una división virtual o una malla. El ensamblaje de las  $N$  zonas  $Z_{1j}$  forma la imagen térmica inicial  $Im_1$ . La etapa de división E2 es realizada mediante el procesamiento de imágenes. Es implementada por la computadora 3. Las zonas divididas son aquí zonas de temperatura. Cada zona de temperatura está caracterizada por su propia

5 temperatura que es uniforme o casi uniforme en toda la zona, presentando dos zonas térmicas adyacentes o contiguas entre ellas una diferencia de temperatura superior a un umbral predefinido  $\Delta T_{\text{umbral}}$ . Este umbral  $\Delta T_{\text{umbral}}$  es, por ejemplo, igual a 10 °C. Por "casi uniforme", se entiende que la temperatura en la zona puede variar ligeramente entre dos puntos situados en la zona, permaneciendo la diferencia de temperatura entre estos dos puntos inferior al umbral  $\Delta T_{\text{umbral}}$  (aquí de 10 °C). Durante la etapa de división E2, la computadora 3 divide o descompone la imagen térmica adquirida  $Im_1$  del módulo  $M_1$  en un número  $N$  de zonas de temperatura  $Z_{1j}$ , con  $j \in [1, \dots, N]$ , distintas (sin superposición entre zonas), y determina la temperatura  $T_{1j}$  de cada zona  $Z_{1j}$  a partir de los datos de la imagen térmica adquirida  $Im_1$ .

10 En el ejemplo de realización de la figura 3, la imagen  $Im_1$  del módulo  $M_1$  comprende dos zonas de temperatura  $Z_{11}$  y  $Z_{12}$ . La zona  $Z_{11}$  corresponde a una zona sin defecto térmico y presenta una temperatura uniforme o casi uniforme  $T_{11}$  aquí igual a 30 °C. La zona de temperatura  $Z_{12}$  corresponde a una zona caliente que tiene una temperatura uniforme o casi uniforme  $T_{12}$  aquí igual a 54 °C. Esta zona caliente  $Z_{12}$  corresponde en este caso a un defecto constituido por grietas dentro del material semiconductor.

15 El procedimiento comprende entonces una etapa E3 para determinar las superficies respectivas de las zonas de temperatura. En el modo realización descrito, la computadora 3 determina la proporción de superficie  $Q_{11}$  y  $Q_{12}$  de cada zona de temperatura  $Z_{11}$  y  $Z_{12}$  en comparación con la superficie total del módulo  $M_1$ , en otras palabras, el índice de ocupación de cada zona  $Z_{11}$  y  $Z_{12}$  en la imagen total  $Im_1$ . Esta etapa E3 es realizada también mediante el procesamiento de imágenes a partir de los datos de imagen  $Im_1$  del módulo  $M_1$ . Luego, la computadora 3 calcula aquí la superficie  $s_{1j}$  de cada zona térmica  $Z_{1j}$ , expresada en número de celdas. El cálculo es efectuado multiplicando el índice de ocupación de superficie de la zona  $Q_{1j}$  por el número total  $X$  de celdas del módulo  $M_1$ . En el ejemplo descrito aquí,  $X$  es igual a 54 celdas. Se obtiene así la superficie  $s_{11}$  y  $s_{12}$  de cada zona expresada en número de celdas. En el ejemplo de la figura 3, para el módulo  $M_1$ , la superficie  $s_{11}$  de la zona  $Z_{11}$  es de 51,84 celdas y la superficie  $s_{12}$  de la zona  $Z_{12}$  es 2,16 celdas. Como variante, las superficies de las zonas térmicas podrían estar expresadas en otra unidad de medida, por ejemplo, en  $m^2$ .

25 El procedimiento comprende igualmente una etapa E4 para obtener una temperatura  $T_{\text{ref}}$  de referencia de un módulo fotovoltaico de referencia (no defectuoso) en funcionamiento. En este caso, la temperatura  $T_{\text{ref}}$  de referencia es la temperatura del módulo  $M_2$  en funcionamiento. A partir de la imagen térmica del módulo  $M_2$ , la computadora 3 determina la temperatura media del módulo  $M_2$ , aquí igual a 30 °C. Como variante, la temperatura  $T_{\text{ref}}$  de referencia podría ser grabada previamente en una memoria, por un usuario o por la computadora 3, o medida directamente por un sensor térmico (con o sin contacto).

30 El procedimiento comprende a continuación una etapa E5 de prueba destinada a detectar si el módulo  $M_1$  contiene al menos una zona caliente  $Z_{1j}$  cuya temperatura es superior a la temperatura de referencia con una diferencia de temperatura superior o igual a un valor mínimo predefinido  $\Delta T_{\text{min}}$ . Durante la prueba E5, se determina si el módulo fotovoltaico  $M_1$  evaluado contiene al menos una zona  $Z_{1j}$  que contiene al menos una celda cuya temperatura  $T_{1j}$  es superior a la temperatura  $T_{\text{ref}}$ , de referencia con una diferencia de temperatura  $\Delta T$  superior o igual al valor mínimo  $\Delta T_{\text{min}}$ , aquí igual a 2 °C. En otras palabras, se verifica si una al menos de las zonas de temperatura determinadas tiene una superficie superior o igual a 1 celda y presenta una temperatura superior a la temperatura  $T_{\text{ref}}$  de referencia con una diferencia de temperatura superior o igual a  $\Delta T_{\text{min}}$  (aquí al menos de 2 °C).

40 En el caso de una prueba E5 positiva o verificada (rama Y en la figura 1A), se determina que el módulo fotovoltaico considerado (aquí  $M_1$ ) es un módulo defectuoso y que conviene cuantificar la pérdida de potencia o de producción energética de este módulo defectuoso inducida por el defecto térmico detectado. En el ejemplo descrito, la prueba E5 es positiva porque el módulo  $M_1$  contiene la zona  $Z_{12}$  que posee 2,16 celdas y que tiene una temperatura igual a 54 °C. El procedimiento ejecuta entonces las etapas E7 y E8.

45 Durante la etapa E7, se evalúan las pérdidas de potencia o de producción energética respectivamente relativas a las zonas de temperatura  $Z_{1j}$  del módulo  $M_1$ , como se describe a continuación.

Si la temperatura  $T_{1j}$  de la zona  $Z_{1j}$  es superior a la temperatura  $T_{\text{ref}}$  de referencia con una diferencia de temperatura superior o igual al valor mínimo  $\Delta T_{\text{min}}$ , aquí igual a 2 °C, entonces la pérdida de potencia es evaluada por la siguiente relación energética  $\Delta P_{1j}$ , relativa a la zona del índice  $j$  del módulo  $M_1$  por la siguiente relación:

$$\Delta P_{1j} = U_{pv} \cdot A_c \cdot (T_{1j} - T_{ref}) \cdot s_{1j} \quad (2)$$

50 donde:

- $U_{pv}$  representa el coeficiente de intercambio térmico del módulo  $M_1$ , expresado en  $W \cdot ^\circ C^{-1} \cdot m^{-2}$ ;
- $s_{1j}$  representa la superficie de la zona  $Z_{1j}$  de índice  $j$  del módulo  $M_1$  expresada en número de celdas;
- $T_{1j}$  representa la temperatura de la zona  $Z_{1j}$  de índice  $j$  del módulo  $M_1$ ;

- $T_{ref}$  representa dicha temperatura de referencia, aquí igual a 30 °C;
- $A_c$  representa la superficie de una celda, expresada en m<sup>2</sup>.

Téngase en cuenta que la relación (2) es equivalente a la relación (2'):

$$\Delta P_{1j} = U_{pv} \cdot (T_{1j} - T_{ref}) \cdot S_{1j} \quad (2')$$

- 5 donde  $S_{ij} = A_c \cdot s_{ij}$  representa la superficie de la zona  $Z_{ij}$  expresada en m<sup>2</sup>.

La ecuación (2) es obtenida a partir de la ecuación de equilibrio energético (1). De esta ecuación (1) se deduce en efecto que la potencia eléctrica  $P_c$  entregada por una celda fotovoltaica viene dada por la siguiente relación:

$$P_c = G \cdot A_c - U_{pv} \times A_c \times (T_c - T_\alpha) \quad (3)$$

donde:

- 10
- $G$  representa la irradiancia incidente en la celda, expresada en W.m<sup>-2</sup>;
  - $A_c$  representa la superficie de una celda, expresada en m<sup>2</sup>;
  - $U_{pv}$ , presente el coeficiente de intercambio térmico del módulo fotovoltaico al que pertenece la celda, expresado en W.°C<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>;
  - $T_c$  representa la temperatura de la celda, expresada en °C;
- 15
- $T_\alpha$  representa la temperatura ambiente en el entorno exterior de la celda, expresada en °C.

A partir de la ecuación (3), se puede expresar la pérdida  $\Delta P_c$  de potencia eléctrica o producción energética entre una celda de referencia (no defectuosa) y una celda defectuosa de índice k por la siguiente relación:

$$\Delta P_c = G_1 \cdot A_c - U_{pv} \times A_c \times (T_{ref} - T_{\alpha 1}) - G_2 \cdot A_c + U_{pv} \times A_c \times (T_k - T_{\alpha 2}) \quad (4)$$

donde:

- 20
- $G_1$  representa la irradiancia incidente en la celda de referencia, expresada en W.m<sup>-2</sup>;
  - $T_{ref}$  y  $T_{\alpha 1}$  representan respectivamente la temperatura de la celda de referencia y la temperatura ambiente en el entorno de la celda de referencia;
  - $G_2$  representa la irradiancia incidente en la celda defectuosa j, expresada en W.m<sup>-2</sup>;
  - $T_k$  y  $T_{\alpha 2}$  representan respectivamente la temperatura de la celda defectuosa de índice k y la temperatura ambiente en el entorno de la celda defectuosa k.
- 25

Si las imágenes térmicas respectivas de la celda defectuosa k y de la celda de referencia son obtenidas al mismo tiempo, o en un intervalo de tiempo corto, se supone que  $G_1 = G_2$  y  $T_{\alpha 1} = T_{\alpha 2}$  y la ecuación (4) pueden simplificarse según la siguiente relación:

$$\Delta P_c = U_{pv} \times A_c \times (T_k - T_{ref}) \quad (5)$$

- 30 La ecuación (5) permite obtener la ecuación (2) que da la pérdida de potencia de una zona de temperatura que contiene al menos una celda.

Si la temperatura  $T_{1j}$  de la zona  $Z_{1j}$  es igual o sustancialmente igual a la temperatura de referencia  $T_{ref}$ , entonces la pérdida de potencia es evaluada a cero. Por «sustancialmente igual», se entiende aquí que la diferencia de temperatura entre la temperatura de la zona considerada y la temperatura  $T_{ref}$  de referencia es inferior al valor mínimo  $\Delta T_{min}$ , aquí igual a 2 °C.

35

En el ejemplo descrito aquí, durante la etapa E7, se determina así:

- la pérdida de potencia  $\Delta P_{12}$  relativa a la zona caliente  $Z_{12}$  por la relación  $\Delta P_{12} = U_{pv} \cdot A_c \cdot (T_{12} - T_{ref}) \cdot S_{12}$ ;
- la pérdida de potencia relativa a la zona  $Z_{11}$  por la relación  $\Delta P_{11} = 0$ .

Durante una siguiente etapa E8, se determina la pérdida de potencia o de producción energética  $\Delta P_1$  del módulo fotovoltaico  $M_1$ , correspondiente a la suma de las pérdidas de potencia relacionadas con las  $N$  diferentes zonas de temperatura  $Z_{1j}$  del módulo  $M_1$  por la siguiente relación:

$$\Delta P_1 = \sum_{j=1}^N \Delta P_{1j} \quad (6)$$

5 Las etapas E7 y E8 son ejecutadas por la computadora 3.

En el caso de una prueba E5 negativa o no verificada, se determina que el módulo evaluado es un módulo no defectuoso que funciona correctamente (etapa E6).

10 Con referencia a la figura 3, cada uno de los módulos  $M_1$  y  $M_2$  contiene  $X = 54$  celdas y tiene una superficie de  $A=1,314 \text{ m}^2$ . Durante la medición termográfica (es decir, durante la toma de imagen térmica), se han medido los siguientes parámetros:

- irradiancia  $G = 684 \text{ W/m}^2$ ;
- temperatura ambiente  $T_\alpha = 9,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- temperatura de referencia del módulo fotovoltaico (correspondiente a la temperatura del módulo  $M_2$ )  $T_{ref}=30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- 15 – potencia eléctrica a la salida del módulo de referencia (módulo  $M_2$ )  $P=131,7 \text{ W}$  (medida con ayuda de un analizador o trazador I-V), que corresponde a una potencia normalizada, para condiciones de prueba estándar (es decir, una temperatura ambiente de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  y una irradiancia  $G$  de  $1000 \text{ W/m}^2$ ), igual a  $P'=205,4 \text{ W}$ .

A partir de los parámetros medidos, se calcula el valor del coeficiente  $U_{pv}$  de intercambio térmico por la relación (1):

$$20 \quad U_{pv} = \frac{G \cdot A - P}{A \cdot (T - T_\alpha)} = \frac{684 \times 1,314 - 131,7}{1,314 \cdot (30 - 9,2)} = 28,07 \text{ W} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Por otra parte, a partir de la imagen térmica  $Im_1$  del módulo  $M_1$ , se determina que la zona caliente  $Z_{12}$  del módulo  $M_1$  tiene una temperatura  $T_{12}$  igual a  $54^\circ\text{C}$  y una superficie  $s_{12}=2,16$  celdas. Se deduce de ello la pérdida de potencia relativa en la zona  $Z_{12}$  del módulo  $M_1$  por la relación:

$$\Delta P_{12} = U_{pv} \cdot A_c \cdot (T_{12} - T_{ref}) \cdot s_{12} = 28,07 \times \frac{1,314}{54} \times (54 - 30) \times 2,16 = 35,4 \text{ W}$$

25 Dado que la pérdida de potencia con relación a la zona  $Z_{11}$  es nula, se determina así que la pérdida estimada de potencia o de producción energética del módulo  $M_1$ , causada por el defecto térmico presente en este módulo, es igual a  $35,4 \text{ W}$ . Esto corresponde a un índice estimado de disminución de la producción o de la potencia energética del  $17,96\%$ .

30 Con el fin de estimar la precisión del método para estimar la pérdida de potencia del módulo  $M_1$  de la invención, se ha medido la potencia eléctrica  $P_1$  a la salida del módulo  $M_1$ , con la ayuda de un trazador I-V, y se ha obtenido una potencia  $P_1=112,2 \text{ W}$ , correspondiente a una potencia normalizada  $P_1'=168,5 \text{ W}$ . Esto da como resultado una pérdida de potencia medida (real) con relación al módulo de referencia (aquí  $M_2$ ) igual a  $\Delta P_1 = 205,4 - 168,5 = 36,9 \text{ W}$ . Esto corresponde a una tasa real de disminución de la producción energética del  $17,23\%$ . Se constata que la estimación de pérdida ( $17,96\%$ ) obtenida por el método de la invención está muy cerca de la pérdida real ( $17,23\%$ ) medida con la ayuda de un trazador I-V. La estimación de pérdida de potencia según la invención ofrece, por lo tanto, una muy buena precisión.

Las figuras 4 y 5 representan respectivamente las imágenes  $Im_3$  e  $Im_4$  de dos módulos fotovoltaicos  $M_3$  y  $M_4$  de la central fotovoltaica. Cada imagen  $Im_3$  y  $Im_4$  tiene una zona caliente  $Z_{32}$  y  $Z_{42}$ .

Se supone aquí que:

- 40 – el coeficiente de intercambio térmico de los módulos  $M_3$  y  $M_4$  es el mismo que el del módulo  $M_1$ , es decir,  $U_{pv} = 28,07 \text{ W} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ;
- la temperatura  $T_{ref}$  de referencia de un módulo fotovoltaico no defectuoso es igual a  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

45 La zona caliente  $Z_{32}$  del módulo  $M_3$  tiene una temperatura  $T_{32}$  igual a  $70,6^\circ\text{C}$  y una superficie igual a 1 celda. La zona de temperatura  $Z_{31}$  tiene una temperatura de aproximadamente  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . La pérdida de potencia estimada del módulo  $M_3$  es igual a la pérdida estimada de potencia relativa en la zona caliente  $Z_{32}$  y está determinada por la siguiente relación:

$$\begin{aligned}\Delta P_3 &= \Delta P_{31} + \Delta P_{32} = 0 + U_{pv} \cdot A_c \cdot (T_{32} - T_{ref}) \cdot S_{32} \\ &= 28,07 \times \frac{1,314}{54} \times (70,6 - 30) \times 1 = 27,73W\end{aligned}$$

La pérdida de potencia estimada es, por lo tanto, igual a 27,73 W, es decir, un índice de disminución del 16,9%. La pérdida de potencia real del módulo M<sub>3</sub> medida con la ayuda de un trazador I-V es igual a 32 W, es decir, un índice de disminución del 19,39%.

- 5 La zona caliente Z<sub>42</sub> del módulo M<sub>4</sub> tiene una temperatura T<sub>42</sub> igual a 44,3 °C y una superficie igual a 1 celda. La zona de temperatura Z<sub>41</sub> tiene una temperatura de aproximadamente 30 °C. La pérdida estimada de potencia del módulo M<sub>4</sub> es igual a la pérdida estimada de potencia relativa en la zona caliente Z<sub>42</sub> y está determinada por la siguiente relación:

$$\begin{aligned}\Delta P_4 &= \Delta P_{41} + \Delta P_{42} = 0 + U_{pv} \cdot A_c \cdot (T_{42} - T_{ref}) \cdot S_{42} \\ &= 28,07 \times \frac{1,314}{54} \times (44,3 - 30) \times 1 = 9,76W\end{aligned}$$

- 10 La pérdida estimada de potencia es, por lo tanto, igual a 9,76 W, es decir, un índice de disminución del 6,1%. La pérdida real de potencia del módulo M<sub>4</sub> determinada a partir de mediciones realizadas con la ayuda de un trazador I-V es igual a 11 W, es decir, un índice de disminución del 6,88%.

Téngase en cuenta que los ejemplos de las figuras 4 y 5 proporcionan los resultados de la estimación de la pérdida de potencia menos precisos que los de la figura 3 porque las hipótesis hechas inicialmente relativas a los valores de U<sub>pv</sub> y de T<sub>ref</sub> son menos precisas.

15

Se va a describir ahora, con referencia a la figura 2, la computadora 3 del sistema 1 de estimación, según una forma de realización particular de la invención.

La computadora 3 comprende:

- un módulo 30 para dividir o descomponer una imagen térmica;
- 20 – un módulo 31 para determinar las superficies respectivas de las zonas de temperatura;
- un módulo 32 para obtener la temperatura de referencia de un módulo de referencia;
- un módulo 33 para detectar al menos una zona caliente, entre las N zonas de temperatura originadas a partir de la división;
- un módulo 34 de cálculo.

- 25 El módulo 30 de división está adaptado para dividir o descomponer la imagen térmica I<sub>m<sub>i</sub></sub> de un módulo fotovoltaico M<sub>i</sub> en N zonas distintas de temperatura Z<sub>ij</sub> (con N≥1) y para determinar la temperatura específica de cada zona Z<sub>ij</sub>. Está destinado a implementar la etapa E2.

- 30 El módulo 31 está adaptado para calcular las proporciones respectivas Q<sub>ij</sub> de cada zona de temperatura mediante el procesamiento de imagen de la imagen térmica I<sub>m<sub>i</sub></sub> del módulo fotovoltaico M<sub>i</sub> y las superficies s<sub>ij</sub> respectivas correspondientes (aquí expresadas en número de celdas). Este módulo 31 está destinado a implementar la etapa E3.

- 35 El módulo 32 está adaptado aquí para determinar la temperatura de referencia de un módulo fotovoltaico de referencia (no defectuoso) en funcionamiento, aquí a partir de la imagen térmica de este módulo. En una variante, la temperatura de referencia podría ser medida por una sonda térmica. En este caso, la temperatura es registrada en una memoria y obtenida por el módulo 32 mediante lectura en la memoria.

El módulo 33 de detección está adaptado para detectar entre las N zonas de temperatura Z<sub>ij</sub> determinadas si al menos una de estas zonas tiene una temperatura superior a la temperatura T<sub>ref</sub> de referencia con una diferencia de temperatura superior a un valor mínimo ΔT<sub>min</sub> (aquí 2 °C).

- 40 El módulo 34 de cálculo está destinado a calcular una estimación de la pérdida de potencia o de producción energética del módulo, con la ayuda de las ecuaciones (2) y (6). Está adaptado para implementar la etapa E7 descrita anteriormente.

La computadora también comprende una interfaz 35 de unión con el dispositivo de adquisición de imágenes térmicas y los sensores 4 y 5, así como elementos de interfaz 36 de usuario (pantalla, teclado, interfaz gráfica, etc.).

## ES 2 794 552 T3

La computadora también comprende un módulo 37 de control central, al que están conectados los módulos funcionales 30 a 34 y destinado a controlar el funcionamiento de estos módulos 30 a 34.

En todo este documento, por el término "superficie", se entiende a veces "área".

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para estimar una pérdida de producción energética de un módulo fotovoltaico defectuoso ( $M_i$ ) que pertenece a una central fotovoltaica, que comprende las etapas de:

- adquisición (E1) de una imagen térmica ( $Im_i$ ) del módulo fotovoltaico defectuoso ( $M_i$ ) en funcionamiento;
- 5     • división (E2) de la imagen térmica adquirida en diferentes zonas ( $Z_{ij}$ ) de temperatura y determinación de las temperaturas respectivas ( $T_{ij}$ ) relativas a las diferentes zonas a partir de la imagen térmica ( $Im_i$ );
- obtención (E5) de una temperatura de referencia ( $T_{ref}$ ) de un módulo fotovoltaico de referencia;
- detección (E6), entre dichas zonas de temperatura, de al menos una zona caliente cuya temperatura es superior a la temperatura de referencia con una diferencia de temperatura superior o igual a un valor
- 10    • cálculo (E7) de una estimación de la pérdida de producción energética del módulo a partir de la diferencia de temperatura entre la temperatura de la zona caliente y la temperatura de referencia, de la superficie de la zona caliente y de un coeficiente de intercambio térmico del módulo.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que se calcula (E7) una estimación de la pérdida de producción de energía  $\Delta P_{ij}$  relativa a la zona caliente  $Z_{ij}$  del módulo fotovoltaico defectuoso  $M_i$  mediante la siguiente relación:

$$\Delta P_{ij} = U_{pv} \cdot S_{ij} \cdot (T_{ij} - T_{ref})$$

donde:

- $U_{pv}$  representa un coeficiente de intercambio térmico del módulo  $M_i$ ;
- 20    –  $S_{ij}$  representa la superficie de la zona caliente  $Z_{ij}$ ;
- $T_{ij}$  representa la temperatura de la zona caliente  $Z_{ij}$ ;
- $T_{ref}$  representa dicha temperatura de referencia.

3. Procedimiento según la reivindicación anterior, caracterizado por que, en el caso de que el módulo fotovoltaico defectuoso comprenda varias zonas de temperatura caliente, se acumulan las pérdidas estimadas de producción energética relativas a las diferentes zonas calientes.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dicho módulo fotovoltaico defectuoso que pertenece a una central fotovoltaica que incluye una pluralidad de módulos fotovoltaicos, la temperatura de referencia es relativa a un módulo no defectuoso en funcionamiento de la central.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que cada una de las zonas de temperatura ( $Z_{ij}$ ) de la imagen térmica adquirida ( $Im_i$ ) está caracterizada por una temperatura específica que es uniforme o casi uniforme en toda la zona, presentando dos zonas de temperatura adyacentes entre ellas una diferencia de temperatura superior a un umbral predefinido.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende una etapa (E3, E4) de determinación de la superficie de la zona caliente, a partir de la imagen térmica de dicho módulo.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende una etapa previa (E0) de determinación del coeficiente de intercambio térmico ( $U_{pv}$ ) del módulo fotovoltaico defectuoso ( $M_1$ ) que comprende las siguientes etapas secundarias, implementadas en un módulo fotovoltaico de referencia ( $M_2$ ) en funcionamiento:

- medición (E01) de la potencia del flujo luminoso que irradia el módulo de referencia;
- 40    • medición (E02) de la potencia energética entregada a la salida del módulo fotovoltaico de referencia irradiado;
- medición (E03) de la temperatura ambiente;
- medición (E04) de la temperatura del módulo fotovoltaico de referencia;
- determinación (E05) del coeficiente de intercambio térmico del módulo fotovoltaico de referencia mediante
- 45    la siguiente relación:

$$U_{pv} = \frac{G \cdot A - P}{A \cdot (T - T_{\alpha})}$$

donde:

- $U_{pv}$  representa el coeficiente de intercambio térmico del módulo fotovoltaico de referencia;
  - $G$  representa la potencia del flujo luminoso que irradia el módulo fotovoltaico de referencia;
  - 5 –  $A$  representa la superficie del módulo fotovoltaico de referencia;
  - $P$  representa la potencia energética entregada por el módulo fotovoltaico de referencia;
  - $T$  representa la temperatura del módulo fotovoltaico de referencia;
  - $T_{\alpha}$  representa la temperatura ambiente.
- 10 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que, durante la adquisición de la imagen térmica del módulo fotovoltaico defectuoso, la central fotovoltaica está en funcionamiento.
9. Sistema para estimar una pérdida de producción energética de un módulo fotovoltaico defectuoso ( $M_i$ ) que pertenece a una central fotovoltaica, comprendiendo el sistema (1) los medios (2, 3, 4, 5) para implementar el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8.

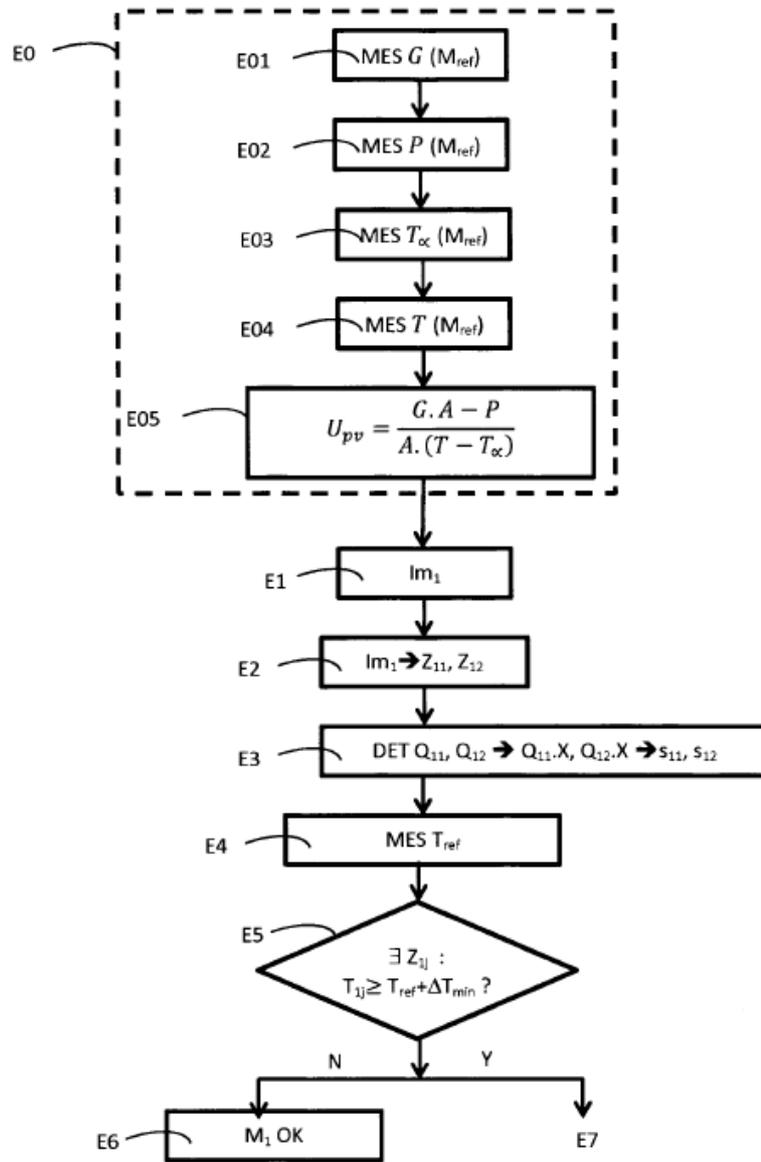


FIG 1A

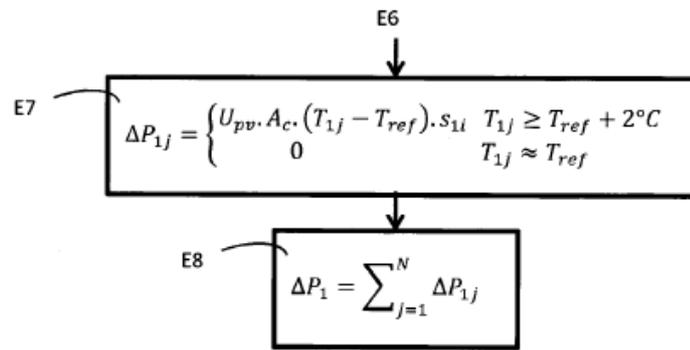
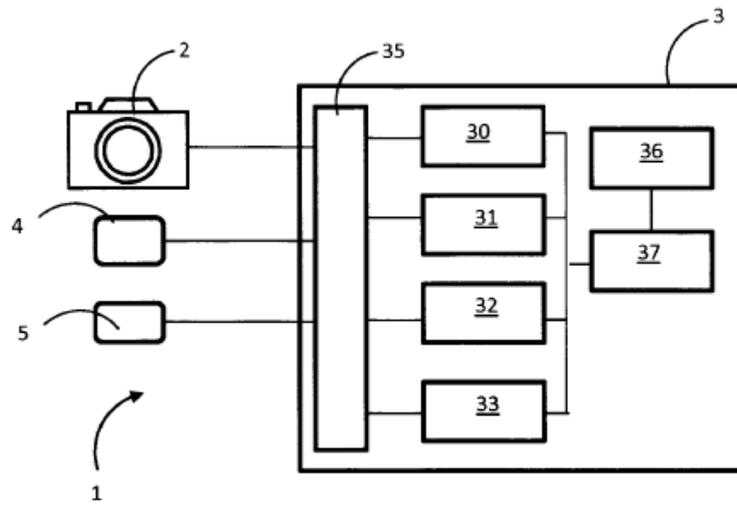
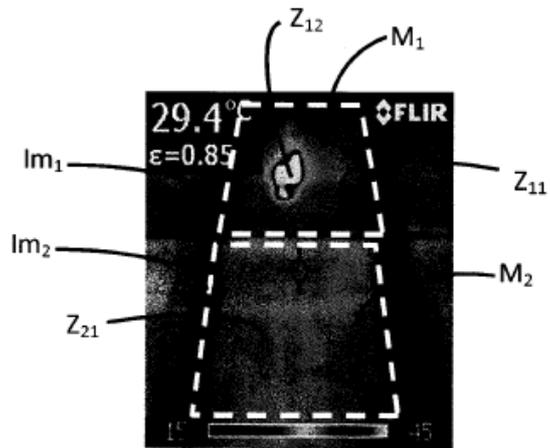


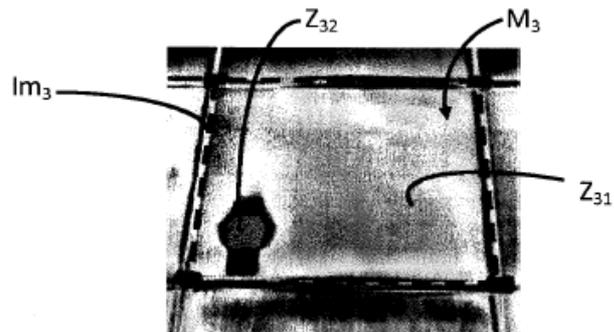
FIG 1B



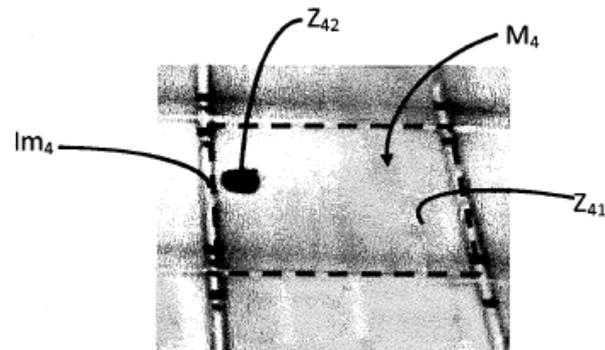
**FIG 2**



**FIG 3**



**FIG 4**



**FIG 5**