

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 939 586**

51 Int. Cl.:

G01J 1/10

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.05.2013 PCT/FR2013/051040**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.11.2013 WO13171414**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.05.2013 E 13727278 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.12.2022 EP 2850402**

54 Título: **Estimación de la deriva de un sensor de radiación solar**

30 Prioridad:

14.05.2012 FR 1254377

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

25.04.2023

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LESPINATS, SYLVAIN y
LE PIVERT, XAVIER**

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES, S.L.P.

ES 2 939 586 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

Estimación de la deriva de un sensor de radiación solar

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere, en general, a sensores para evaluar la radiación solar, tales como piranómetros o celdas de referencia, y, de manera más particular, a la estimación de la deriva y la calibración de un sensor de este tipo.

10

Exposición de la técnica anterior

Los sensores de evaluación de la radiación solar se utilizan cada vez más con el desarrollo de instalaciones solares, bien para la producción de calor o electricidad. Estos sensores sirven, en particular, para medir la radiación (vatios/m²) en los lugares de instalación de las instalaciones de producción de energía solar. Estas medidas se utilizan, entre otras cosas, para estimar el recurso solar o monitorizar el correcto funcionamiento y la producción de energía de las centrales solares.

15

Esencialmente, se conocen dos categorías de sensores de radiación: sensores que consisten en células fotovoltaicas de referencia y piranómetros, que son sensores específicos dedicados a medir la radiación del cielo (radiación solar). Un piranómetro es un sensor de flujo térmico que mide la radiación recibida.

20

Todos estos dispositivos de medición de radiación proporcionan información (por ejemplo, una corriente, una tensión o una palabra digital) representativa de la radiación que reciben.

25

Un problema recurrente con la utilización de sensores de radiación solar es que las mediciones derivan con el tiempo. Esta deriva requiere una recalibración o calibración regular.

30

Hoy en día, para ser recalibrados, los sensores generalmente se desmontan y luego se envían a fábrica o a un taller para someterlos a una radiación de referencia y corregir los coeficientes de un algoritmo aplicado en las mediciones y proporcionando la radiación real a partir de una medición en bruto.

35

La norma ISO 9847 describe dispositivos de calibración de sensores solares cuando vuelven al taller o en comparación con otros sensores traídos especialmente sobre el terreno por un servicio de mantenimiento. Estos dispositivos no están adaptados para una calibración o corrección de deriva, sobre el terreno, continua a lo largo del tiempo y automática.

40

Los documentos US 7.166.825, US 7.576.346 y US 2009/0012731 describen sistemas para recalibrar sensores de radiación montados en vehículos espaciales. Los sistemas descritos permiten calibrar el sensor comparando la medición efectuada sobre el objeto en cuestión (un cuerpo astral dado) con una medición efectuada sobre un objeto de referencia para el que se conoce la radiación con precisión (el sol, por ejemplo, cuyo nivel de radiación se conoce siempre que nos encontremos fuera de la atmósfera terrestre).

45

Tales sistemas no son aplicables a sensores en tierra, porque la radiación solar ya no se puede utilizar como referencia debido a la variabilidad de la transmisión de la radiación por parte de la atmósfera según las condiciones meteorológicas.

50

La complejidad de recalibrar un sensor de radiación hace que muchos instrumentos no se recalibren con la suficiente frecuencia (en la práctica, unas pocas veces al año como máximo), lo que afecta negativamente a la precisión de las mediciones y a la estimación de las capacidades de producción de las centrales solares. Es más, la proliferación y ubicación de centrales solares (por ejemplo, en casas particulares) hace que tales recalibraciones sean más complejas. Por último, las consideraciones de coste pueden significar que esta operación se descuide en algunos casos.

55

El documento EP-A-2211300 describe un procedimiento de previsión de la producción eléctrica de un dispositivo fotovoltaico y propone el diagnóstico de una instalación fotovoltaica comparando una producción real con una producción estimada. Se trata de una medición de la producción eléctrica real de los módulos fotovoltaicos.

60

El artículo "Monitoring and remote failure detection of grid-connected PV systems based on satellite observations", de A. Drews *et al.*, Science Direct, Solar Energy 81 (2007), págs. 548-564, describe un sistema de detección de fallas en paneles fotovoltaicos, basado en observaciones satelitales y que tiene como objetivo evitar la utilización de celdas de referencia o de un piranómetro.

65

Sumario

De este modo, un modo de realización de la presente invención tiene como objetivo proponer una técnica de

estimación de la deriva de un sensor de radiación que supera todos o parte de los inconvenientes de las técnicas conocidas.

5 Otro objetivo de un modo de realización de la presente invención consiste en proporcionar una técnica de calibración adaptada para el funcionamiento sobre el terreno.

Otro objetivo de un modo de realización de la presente invención consiste en proponer una técnica de estimación de la deriva y de calibración sin intervención externa.

10 Otro objetivo de un modo de realización de la presente invención consiste en poder aumentar la frecuencia de las calibraciones de un sensor de radiación.

15 Otro objetivo de un modo de realización de la presente invención consiste en proponer una solución que no requiera modificación estructural alguna del sensor de radiación.

La invención se define tal y como se reivindica en la reivindicación 1 y las reivindicaciones dependientes de la misma.

20 Breve descripción de los dibujos

Estos objetivos, características y ventajas, así como otros, se expondrán en detalle en la siguiente descripción de modos de realización particulares efectuada a título no limitativo en relación con las figuras adjuntas, entre las cuales:

25 la figura 1 ilustra, de manera muy esquemática, un ejemplo de un sistema de estimación de la capacidad de producción de energía solar a la escala de un territorio;
las figuras 2A y 2B son ejemplos arbitrarios de patrones de radiación solar recibida por un sensor de radiación;
la figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra las etapas de un modo de realización del procedimiento de calibración de un sensor de radiación; y
30 las figuras 4A y 4B ilustran el funcionamiento del modo de realización de la figura 3.

Descripción detallada

35 Los mismos elementos se han designado con las mismas referencias en las diferentes figuras. Por razones de claridad, sólo se han detallado las etapas y elementos útiles para la comprensión de los modos de realización descritos. En particular, no se ha detallado el uso de las mediciones del sensor de radiación para estimar las capacidades de producción de energía de una central, siendo compatibles los modos de realización descritos con el uso habitual de mediciones proporcionadas por un sensor de radiación solar. Es más, tampoco se ha detallado la realización práctica de un sensor de radiación y la conversión de la señal de medición, siendo los modos de realización descritos, también en este caso, compatibles con los sensores de radiación habituales equipados con unos medios de cálculo.

40 A continuación, se presentan diversos ejemplos de implementación y realización. Independientemente del nombre dado a estos ejemplos (modos de realización, ejemplo, variante, etc.) y de los calificativos empleados (por ejemplo, preferentemente, etc.), sólo aquellas partes de la descripción incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones forman parte de la presente invención, los demás ejemplos sólo son útiles para resaltar aspectos específicos de la invención con respecto a lo que no forma parte de la misma.

La figura 1 ilustra un ejemplo de instalación de uso de energía solar de forma centralizada con el fin de gestionar la distribución de energía.

50 Múltiples centrales solares 12, cada una compuesta por uno o más conjuntos de paneles fotovoltaicos (paneles solares) 122 y un sistema de gestión y conversión de energía 124 (incluyendo en concreto un inversor) están distribuidas sobre un territorio F. El sistema 124 está generalmente asociado con un sensor de radiación 2 (por ejemplo, de tipo piranómetro). Este sensor mide la radiación en la atmósfera terrestre.

55 La energía proporcionada por cada central 12 puede, por ejemplo, inyectarse en la red de distribución eléctrica del territorio F y, paralelamente, las distintas centrales 12 envían datos (enlaces 126) a un sistema informático 3 que centraliza la gestión energética. Este sistema 3 generalmente comprende una sala de control y uso de la red, equipada con uno o más ordenadores 32, una o más pantallas 34 y una o más bases de datos 36 que reciben información de diferentes centrales.

60 El sistema 3 permite que uno o más operadores gestionen la distribución de energía a partir de la información, conocida de antemano o recopilada de las diversas centrales, que visualiza(n) en las pantallas. Esta información incluye, entre otras cosas, la ubicación geográfica de las centrales (mapa 341), información sobre la producción y demanda 342 y, por ejemplo, información sobre la radiación 343 recibida por una o más centrales, lo que permite una comparación con respecto a una producción prevista.

65

La representación de la figura 1 es un ejemplo ilustrativo de una posible aplicación de los modos de realización que se van a describir. Esta ilustración está, por supuesto, simplificada, al no referirse los modos de realización descritos al uso de las mediciones obtenidas por los sensores de radiación solar para predecir una capacidad de producción de energía o para gestionar la distribución. El uso de las capacidades de producción recurre a técnicas habituales, con gran frecuencia independientes de la naturaleza de la fuente de energía.

Sin embargo, una peculiaridad de la producción de energía solar es la necesidad de prever, concretamente a partir de las condiciones meteorológicas, la capacidad de producción de las centrales solares con respecto a las otras fuentes de energía. Otra peculiaridad es la diseminación de centrales de baja capacidad de producción (menos de 10 kW) en el conjunto de un territorio.

Estas peculiaridades conllevan que la fiabilidad de las mediciones de radiación realizadas a nivel de las propias centrales sea particularmente importante.

Por otro lado, la diseminación y el gran número de centrales solares dificultan el envío de piranómetros u otros sensores al taller para su recalibración.

Se podría pensar en utilizar dispositivos de calibración portátiles y organizar visitas de control a las distintas centrales de forma periódica. No obstante, esto aumenta considerablemente el coste de calibración y, en consecuencia, el coste de producción de energía. Es más, no es factible visitar con frecuencia las centrales de poca capacidad, lo que retrasa otro tanto la toma en cuenta de posibles derivas.

En el marco de la monitorización de un grupo de centrales de producción de energía solar, podría ser necesario hacer previsiones de producción para un futuro próximo. En ese caso, la mayoría de los sistemas se basan en mediciones sobre el terreno para alimentar los procedimientos de inteligencia artificial. Por supuesto, se tienen en cuenta las mediciones de radiación solar. Por consiguiente, la presencia de mediciones aberrantes debido a una mala calibración de los sensores perjudica considerablemente al rendimiento de las previsiones. Por tanto, existe una necesidad real de un sistema de estimación y corrección de la deriva de los sensores, tanto más si el sistema funciona de forma homogénea en el conjunto de las centrales. Por supuesto, otras aplicaciones son factibles, como por ejemplo, la monitorización de la "relación" de rendimiento ("performance ratio") de las centrales fotovoltaicas, la previsión meteorológica, etc.

La calibración de un sensor de radiación, inicialmente o en funcionamiento, consiste en determinar los coeficientes de una función afín aplicada en los valores medidos. Esta función corrige las mediciones y proporciona un valor de radiación. Al denotar G_{MED} a la medición realizada y G_{COR} a la medición corregida, en un instante t dado, la medición corregida se obtiene aplicando una relación del tipo:

$$G_{COR}(t) = \alpha \cdot (G_{MED}(t) - \beta), \quad (1)$$

donde α y β son coeficientes de la función afín determinada para la calibración del sensor.

En la práctica, la deriva del coeficiente β es insignificante y en el presente documento solo interesa la deriva en el transcurso del tiempo del coeficiente α .

Ya se ha propuesto, por ejemplo, en el artículo "An evaluation method of PV systems" de T. Oozeki, T. Izawa, K. Otani y K. Kurokawa (Solar Energy Materials & Solar Cells 75 (2003) 687-695), un método de evaluación del rendimiento de varios módulos fotovoltaicos interconectados. Este método evalúa las potencias producidas a diario por la central en el transcurso de un mes. A continuación, se busca el coeficiente mínimo por el que habría que multiplicar la denominada radiación con tiempo despejado, es decir, en ausencia de nubes, para englobar las mediciones realizadas por el sensor. Tal adaptación no se realiza en tiempo real y requiere mediciones durante varios días. Esto permite definir una especie de "potencia de pico efectiva" de la central, pero esto no implica una estimación de la radiación recibida.

Las figuras 2A y 2B ilustran dos ejemplos de patrones de radiación (Watio/m^2) obtenidos en el transcurso del tiempo (h) a lo largo de un día por un sensor solar. Son estas mediciones de radiación las que deben usarse para luego estimar las capacidades de producción de energía de una central solar. En el transcurso de un día normal, es decir, sin variaciones de radiación distintas a las vinculadas con la trayectoria del sol, por consiguiente, con la hora del día, la curva sigue aproximadamente una curva de campana. En la práctica, siempre hay perturbaciones (nubes, objetos, suciedad (excrementos de aves), etc.) formando temporalmente una pantalla entre el sensor y el cielo. La figura 2A ilustra el caso en el que aparecen perturbaciones menores. La figura 2B ilustra el caso en el que, durante unas cuantas horas, el sensor está parcialmente sombreado, pero lo suficiente como para hacer que caiga significativamente la radiación recibida.

El procedimiento de calibración que se propone a continuación se basa en una estimación de la deriva del sensor usando períodos durante los cuales el sensor se encuentra en una condición de cielo despejado (ausencia de nubes).

Luego se usa un modelo de radiación que proporciona una curva teórica de la radiación, en condiciones de cielo despejado, para la zona en la que están situados el sensor y la central solar. Esta curva teórica puede considerar otros parámetros como la fecha, la inclinación y la orientación del sensor.

- 5 Se adapta el valor del coeficiente de corrección α (que también representa una estimación de la deriva) que se va a aplicar a las mediciones, para el día en curso, en función de un uso de las mediciones de uno o, preferentemente, varios días anteriores.

10 La figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra las etapas de un modo de realización del procedimiento de calibración de un sensor de radiación solar.

Las figuras 4A y 4B son cronogramas que ilustran el funcionamiento de este procedimiento.

15 El procedimiento se implementa mediante un circuito de procesamiento digital de tipo microprocesador, programado para implementar las diferentes etapas que se van a describir. Se utilizan circuitos de procesamiento digital y memorias que suelen equipar, ya sea el propio sensor de radiación 2, ya sea un dispositivo eventual (124, figura 1) de gestión que recibe la información del sensor de radiación 2 o, de manera más general, cualquier dispositivo informático susceptible de comunicarse con el sensor.

20 Se almacena un modelo diario 51 de radiación con tiempo despejado de la zona en la que está colocado el sensor (bloque 41, MODELO) en el dispositivo de procesamiento. Este almacenamiento se realiza, por ejemplo, al instalar la central de energía solar y el sensor. Como variante, el modelo se calcula sobre la marcha, lo que permite tener en cuenta con mayor facilidad otros parámetros además de la ubicación (fecha, inclinación, orientación, etc.).

25 Se conocen modelos teóricos que permiten estimar la radiación con tiempo despejado en una región dada en función de la fecha, la hora, la longitud, la latitud, la orientación del panel o del sensor, la inclinación, el albedo, etc. Se supone que el modelo del bloque 41 tiene en cuenta todos o parte de estos parámetros y, preferentemente, todos.

30 Estos modelos se describen, por ejemplo, en el artículo "On the clear sky model of ESRA - European Solar Radiation Atlas - with respect to the Heliosat method" de C. Rigollier, O. Bauer y L. Wald, publicado en la revista Solar Energy Vol. 68, N.º 1, páginas 33-48, en el 2000.

35 Estos modelos proporcionan, en función de la fecha del año, una curva de campana 51 (figura 4A) que indica la radiación en Watio/m^2 en función de la hora (h) del día. Por la noche, la radiación es casi nula.

40 Para estimar la deriva y determinar el coeficiente α que hay que aplicar en las mediciones con el fin, de que, en caso de tiempo despejado, la radiación medida se corresponda con la radiación del modelo, se busca determinar, en el transcurso de un día de mediciones reales realizadas por el sensor, periodos en los que éste se encontraba en una situación de tiempo despejado.

45 Para ello, al establecerse el modelo según un ciclo diario, se memoriza el patrón de radiación medida por el sensor en el transcurso de un día (patrón 53, figura 4A). En la práctica, para optimizar la subordinación de la calibración del sensor, se memorizan las mediciones del día anterior al instante de calibración (bloque 42, DÍA-1). Se puede considerar que a medianoche (24 h), se dispone del ciclo diario completo del día transcurrido. El siguiente procesamiento se aplica a los datos de ese día transcurrido.

50 A continuación, el patrón real 53 obtenido se compara (bloque 43) con respecto al modelo de tiempo despejado 51. El objetivo de esta comparación es determinar una o más ventanas o rangos temporales 54 durante el cual o los cuales se puede considerar que el patrón real 53 se corresponde a una exposición con tiempo despejado.

55 En la práctica, la comparación se realiza sobre valores numéricos, en la medida en que el sensor generalmente proporciona valores discretos en el transcurso del tiempo (proporciona un valor para cada medición). Preferentemente, la comparación se realiza sobre todas las mediciones tomadas por el sensor, lo que mejora la fiabilidad del resultado o, como variante, para ahorrar recursos de cálculo o consumir menos, solamente sobre una medición de un número predefinido de mediciones (por ejemplo, una de cada dos mediciones, una de cada cuatro mediciones, etc.). También es posible prever varias mediciones consecutivas agregadas (por su media, su mediana, etc.). La elección del número de mediciones que se toman en cuenta depende, entre otras cosas, de la frecuencia de medición del sensor. Si este toma una gran cantidad de mediciones (por ejemplo, cada segundo o varias por segundo), es posible no tener en cuenta todas las mediciones sin perder demasiada información. Si, por el contrario, la frecuencia de las mediciones es menor (por ejemplo, cada minuto), es preferible tener en cuenta todas las mediciones para la calibración.

65 Para cada medición (muestra), se busca determinar si esto se corresponde o no a un instante con tiempo despejado (es decir, a un momento en que el sol no está oculto). Para ello, se puede, por ejemplo, estimar que los momentos en los que la curva de las mediciones aplicada a la curva teórica de tiempo despejado es relativamente lisa (con un umbral de variación sobre la desviación estándar de las variaciones en una ventana deslizante) y que los valores medidos son bastante altos (y esto, en un intervalo de tiempo suficiente en torno al momento considerado).

Los inventores han constatado que la diferencia entre la radiación real en un periodo de tiempo despejado con respecto a un modelo de esta radiación proporciona directamente un valor al menos aproximado del coeficiente α de la corrección que hay que aplicar en el sensor para su calibración.

5 De hecho, considerando los periodos de tiempo despejado, es decir, durante los cuales el sensor debería dar valores correspondientes a los del modelo, la fórmula correctora (1) anterior debería dar el valor del modelo a partir del valor medido. Despreciando el coeficiente β que, en la práctica, es próximo a 0, por consiguiente, tanto más insignificante cuanto mayor es la radiación (caso con tiempo despejado), se puede ver que la corrección que hay que aplicar es la relación entre el valor dado por el modelo sobre el valor medido.

10 De este modo, se evalúa (bloque 44, $d = G_{\text{MED}}/G_{\text{TEMP}}$) la relación del valor instantáneo medido G_{MED} sobre el valor instantáneo G_{TEMP} dado por el modelo. Esta cantidad positiva d es tanto menor cuanto más nublado está el cielo y es teóricamente igual a la unidad si el sensor está perfectamente calibrado y el cielo está despejado. La figura 4B ilustra el patrón 55 obtenido durante la ventana temporal 54. Este patrón da una indicación de la falla del coeficiente α (de hecho, de su inversa).

15 Como variante, se puede evaluar la relación inversa $1/d$, es decir, la relación $G_{\text{TEMP}}/G_{\text{MED}}$ que da directamente el valor del coeficiente α . Sea cual sea la relación utilizada, esta relación representa una estimación de la deriva del sensor.

20 Con el fin de evitar que se tengan en cuenta periodos no significativos (por ejemplo, por la noche o cuando la radiación es en principio próxima a 0) o fuertes variaciones (amanecer y atardecer), la determinación de la ventana temporal con tiempo despejado (bloque 45, VENTANA) se realiza dentro de un denominado período 56 de día. Se elige este período de día, a modo de ejemplo y de manera arbitraria, como correspondiente a un período en el que la radiación según el modelo con tiempo despejado es superior a un valor dado, normalmente, 50 vatios/m². De hecho, generalmente se considera que los periodos en los que la radiación está comprendida entre 0 y 50 vatios/m² corresponden al amanecer y al anochecer. Este umbral absoluto de 50 vatios/m² está por, supuesto, adaptado según el lugar. A modo de variante, la selección del periodo de día se puede realizar a partir de un calendario y de la indicación de la hora.

25 En el caso de que se tengan en consideración varias ventanas temporales, se realiza, por ejemplo, la media de los valores obtenidos en los diferentes periodos.

30 Preferentemente, la calibración se realiza durante la segunda parte de la noche, es decir, entre la medianoche y el amanecer del día siguiente. La sencillez de la determinación permite realizar una calibración diaria. Si no hay una ventana temporal aceptable disponible para un día dado, la calibración se pospone para el día siguiente.

35 La fiabilidad de la corrección de la calibración del sensor depende, entre otras cosas, de la determinación de los momentos de tiempo despejado. Cuanto más eficaz sea la detección de los momentos de tiempo despejado (es decir, más falsos positivos y falsos negativos se descartarán), mejor será la determinación del coeficiente α .

40 Para detectar periodos de tiempo despejado, es posible buscar las ventanas temporales para las cuales la relación d (entre las mediciones y el modelo teórico) muestra variaciones relativamente pequeñas y un nivel suficiente. Por ejemplo, si la relación d , en la ventana temporal alrededor de un instante dado (por ejemplo, 1 hora antes y 1 hora después del instante elegido), presenta una desviación estándar inferior a un valor umbral y pertenece a un intervalo considerado razonable, el instante elegido podrá considerarse como un instante en el que el cielo está despejado. El rango de más o menos una hora es un ejemplo que se puede modificar.

45 Los inventores han constatado que la elección de la anchura de la ventana temporal puede modificarse teniendo en cuenta (entre otras cosas) el muestreo de los datos considerados. Cuanto más corto sea el intervalo de tiempo entre dos mediciones, más se puede reducir el tamaño de la ventana. Si no hay una ventana temporal aceptable disponible para un día dado, la calibración se pospone para el día siguiente.

50 Los cálculos en las ventanas temporales que permiten la detección de instantes de tiempo despejado se realizan de forma iterativa sobre cada una de las muestras. Tal determinación iterativa está particularmente adaptada para sistemas de procesamiento digital controlados por software.

55 Según un modo de realización simplificado, se considera que la estimación del coeficiente α para el día considerado, que representa el valor de corrección que hay que aplicar en la función afín del sensor, corresponde a la inversa del valor mediano de los coeficientes d presentes en la(s) ventana(s) temporales (bloque 46, $\alpha = 1/d$). La adaptación del sensor (bloque 47, ADAPTACIÓN SENSOR) se realiza a partir del coeficiente α obtenido.

60 En la práctica, la estimación del coeficiente α varía de un día a otro, ya sea como consecuencia de una deriva en el funcionamiento del sensor, siendo esta deriva progresiva, debido a una cantidad pequeña de instantes de tiempo despejado durante el día, o tras imprecisiones en la detección de periodos de tiempo despejado (por ejemplo, periodos de tiempo gris y nublado, pero estables a lo largo de un día).

De este modo, preferentemente, se realiza una ponderación de varias determinaciones del coeficiente α en función de uno o varios factores.

5 Preferentemente, la importancia dada a los diversos factores es en sí misma ponderada. A modo de ejemplo, los inventores consideran que la antigüedad del día es el factor más importante, encontrándose la fiabilidad del día en segundo lugar y siendo el nivel absoluto del día el menos importante.

10 Se podrían considerar otras ponderaciones para hacer que la determinación sea aún más fiable. Por ejemplo, se podría tener en cuenta la desviación del día en curso con respecto a la media de los días anteriores.

Tomando el ejemplo de la antigüedad del día, de la fiabilidad del día y del nivel absoluto del día, se podría, por ejemplo, utilizar los siguientes factores.

15 Un factor tiene en cuenta una media ponderada de los coeficientes de los días anteriores asignando un peso tanto más bajo al coeficiente de un día dado cuanto más antiguo sea este día con respecto al día en curso.

20 Otro factor tiene en cuenta la fiabilidad estimada del día considerado. Esta fiabilidad corresponde al número de relaciones d tomadas en consideración el día considerado, lo que equivale a clasificar los días, o los coeficientes α , en función del número de períodos de tiempo despejado en los que se basa el valor. Cuanto mayor sea ese número, mayor será el peso otorgado al coeficiente α considerado.

25 Otro factor más es el nivel de radiación obtenido. Esto equivale a enfatizar los días en los que los valores calculados para la relación d son los más altos.

30 La determinación del peso que se debe asignar a los coeficientes α de los distintos días teniendo en cuenta las variantes anteriores, equivale a calcular el producto de los factores para cada día. Los pesos se obtienen normalizando los resultados con el fin de que la suma de los pesos sea igual a 1. En la práctica, es posible optar por considerar solamente un número determinado de días correspondientes a los más recientes.

En la práctica, las etapas anteriores se realizan procesando sucesivamente las muestras del día considerado. Este procesamiento se puede expresar de la siguiente manera.

35 Se denota i , al instante en el que se sitúa el rango de la muestra durante el día, y j al día ($j=0$ para el día en curso, es decir, el día al principio del cual se calcula la evaluación a partir de las mediciones realizadas, $j=1$ para el día en el que se realizan las mediciones, es decir, el día anterior al día en curso, $j=2$ para el día anterior, etc.).

40 Se designa con una x , a un rango horario temporal (en número de muestras) en torno a la muestra en curso que define un intervalo (rango temporal) durante el cual la medición debe ser más o menos estable para que se considere una ausencia de perturbaciones (por nubes u otras causas). Se fija un umbral z de la relación $d(i)$ por debajo del cual debe permanecer la desviación estándar de la relación calculada en el rango horario para que se considere que la radiación ha permanecido "estable".

45 Se fija un umbral z de determinación de mediciones que son demasiado sombrías o aberrantes. Por ejemplo, si $d(i)$ es inferior a $1-z$, se considera que el cielo está "sombrio" en el instante i , si $d(i)$ es superior a $1+z$, se considera que el cielo está "anormalmente despejado" en el instante i (medición aberrante). Después de un largo período de deriva, un sensor puede enviar valores fuera del intervalo $[1-z, 1+z]$. Sin embargo, es posible protegerse contra una eliminación inapropiada de estos valores normalizando los valores G_{MED} a partir de la estimación del coeficiente α del día anterior. En ese caso, una vez efectuada la verificación, se realizará la operación inversa para no perturbar el resto del cálculo.

50 Se toma en cuenta una relación $d(i)$ para el cálculo de la mediana (tomada en cuenta en el patrón 55) si:

- el rango horario de $i-x$ a $i+x$ está comprendido en el "día", es decir, ya sea que la medida G_{MED} es superior a un umbral (por ejemplo, de 50 vatios/m²) a lo largo de todo este rango, ya sea que el rango excluye la noche, el amanecer y el atardecer, o ambos;
- la desviación estándar de las relaciones $d(i)$ en el rango de $i-x$ a $i+x$ es inferior al umbral y (por ejemplo, el umbral de desviación estándar se elige entre 0,03 y 0,1, normalmente, del orden de 0,06); y
- el valor de la relación $d(i)$ está comprendido $1-z$ y $1+z$ (por ejemplo, el umbral z está comprendido entre 0,2 y 0,6, preferentemente, del orden de 0,4).

60 El coeficiente α_0 se obtiene a partir de la siguiente relación:

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{j=1}^N (p_j \cdot \alpha_j)}{\sum_{j=1}^N p_j}, \quad (2)$$

5 donde N representa el número de días pasados que se tienen en cuenta (preferentemente, entre 10 y 30) y p_j representa el peso que se otorga al día de rango j. Se trata, por consiguiente, de una media ponderada de los coeficientes α_j .

En un modo de realización simplificado, sólo se tiene en cuenta la antigüedad del día. Por ejemplo, se asignan pesos p_j correspondientes al rango del día ($p_j = j$).

10 En un modo de realización preferido donde se tienen en cuenta los tres factores mencionados anteriormente, el peso p_j se obtiene, combinando los pesos p_j^t , p_j^d y p_j^e , respectivamente, otorgados a la antigüedad del coeficiente α_j , al número de datos en los que se basa el coeficiente α_j y al valor del coeficiente α_j a partir de la siguiente relación:

$$p_j = \frac{p_j^t \cdot p_j^d \cdot p_j^e}{\sum_{j=1}^N (p_j^t \cdot p_j^d \cdot p_j^e)}, \quad \text{siendo:} \quad (3)$$

15

$$p_j^t = \exp\left(-10 \cdot \frac{n_j^t}{N}\right); \quad (4)$$

$$p_j^d = \exp\left(-7 \cdot \frac{n_j^d}{N}\right); \quad \text{y} \quad (5)$$

20

$$p_j^e = \exp\left(-4 \cdot \frac{n_j^e}{N}\right), \quad (6)$$

donde:

25 n_j^t denota el número de la estimación α_j ordenada de la más reciente a la más antigua (por ejemplo, 1 para α_1 , 2 para α_2 , hasta N para α_N);

n_j^d denota el número de la estimación α_j ordenada según el número de d(i) tomados en cuenta para su cálculo (1 para el valor de α_j basado en el mayor número de instantes i considerados como "tiempo despejado" en el día j, N para el valor de α_j basado en el número más pequeño de instantes); y

30 n_j^e denota el número de la estimación α_j ordenada según el nivel del valor α_j (1 para el más grande, N para el más bajo).

Los números 10, 7 y 4 en las fórmulas (4) a (6) son ejemplos de factores de importancia dados a los pesos p_j^t , p_j^d y p_j^e . Cuanto mayor sea el número de factor del exponencial, mayor es el peso en la media de la fórmula (3).

35 La suma de los pesos p_j se normaliza a 1 (obteniéndose la media mediante la fórmula (3)). Por consiguiente, la fórmula (2) se convierte en:

$$\alpha_0 = \sum_{j=1}^N (p_j \cdot \alpha_j). \quad (2')$$

5 Una ventaja de los modos de realización que se han descrito es que, en adelante, es particularmente sencillo calibrar un sensor en tiempo real en función de las derivas que este sufre. Esto aumenta considerablemente la fiabilidad de las mediciones de radiación solar.

10 Otra ventaja de los modos de realización descritos es que su implementación no requiere ninguna modificación estructural de los sensores de radiación solar existentes, la estimación de la deriva, y luego el calibrado se realizan a partir de una interpretación de los valores medidos y memorizados. Cabe destacar que la estimación de la deriva del sensor o la determinación del valor correctivo a , se puede realizar incluso a distancia del sensor, en el dispositivo 124 de gestión del panel solar, incluso en un servidor remoto.

15 Se han descrito diversos modos de realización. El experto en la técnica apreciará diversas variantes y modificaciones. En particular, todo lo que se ha expuesto en relación con una medición directa de la radiación puede realizarse a partir de magnitudes representativas de esta radiación. Por ejemplo, podría tratarse de la corriente que circula por el elemento de medición del sensor o de cualquier otra magnitud representativa de la radiación instantánea. Es más, la implementación práctica de los modos de realización descritos está al alcance de las personas normalmente versadas en la materia a partir de indicaciones funcionales aportadas anteriormente utilizando herramientas informáticas y de programación.

20

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de estimación de la deriva de un sensor de radiación solar (2), en donde dicho sensor es un piranómetro o una celda de referencia asociada a paneles fotovoltaicos y, en donde:
- 5 se tiene en cuenta la radiación medida (GMES) por este sensor en sus condiciones de utilización y un modelo de radiación (51) usando unas relaciones instantáneas (d, a) entre unos valores de radiación medidos (GMES) y unos valores (GTEMP) dados por el modelo (51), o entre unos valores (GTEMP) dados por el modelo (51) y unos valores de radiación medidos (GMES);
- 10 el modelo (51) proporciona una estimación de la radiación prevista en caso de tiempo despejado y tiene en cuenta la ubicación geográfica del sensor, estando este situado en la atmósfera terrestre; la radiación medida (GMES) se compara (43) con la radiación prevista (GTEMP), proporcionada por el modelo (51), durante unos períodos correspondientes a un tiempo despejado; y se calcula una estimación de la deriva del sensor teniendo en cuenta las estimaciones anteriores de la deriva.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde la estimación de la deriva del sensor se calcula a diario.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en donde se tiene en cuenta una relación instantánea (d) si el instante está comprendido en un rango temporal (54) en el transcurso del cual la variación de las relaciones es inferior a un umbral.
- 20 4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde se tiene en cuenta una relación (d) si su valor está comprendido entre dos umbrales.
- 25 5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde se tiene en cuenta una relación (d) si esta corresponde a un periodo de día.
6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde la estimación de la deriva se obtiene a partir de una media ponderada de estimaciones calculadas durante días anteriores.
- 30 7. Procedimiento según la reivindicación 6, en donde la ponderación tiene en cuenta la antigüedad de los días tomados en cuenta.
8. Procedimiento según la reivindicación 6 o 7, en donde la ponderación tiene en cuenta un coeficiente de fiabilidad asignado a la estimación del día considerado.
- 35 9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en donde la ponderación tiene en cuenta el valor de la estimación.
- 40 10. Procedimiento de calibración de un sensor de radiación solar, en donde un coeficiente de corrección (a) que hay que aplicar en las mediciones se obtiene a partir de una estimación de la deriva del sensor de conformidad con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

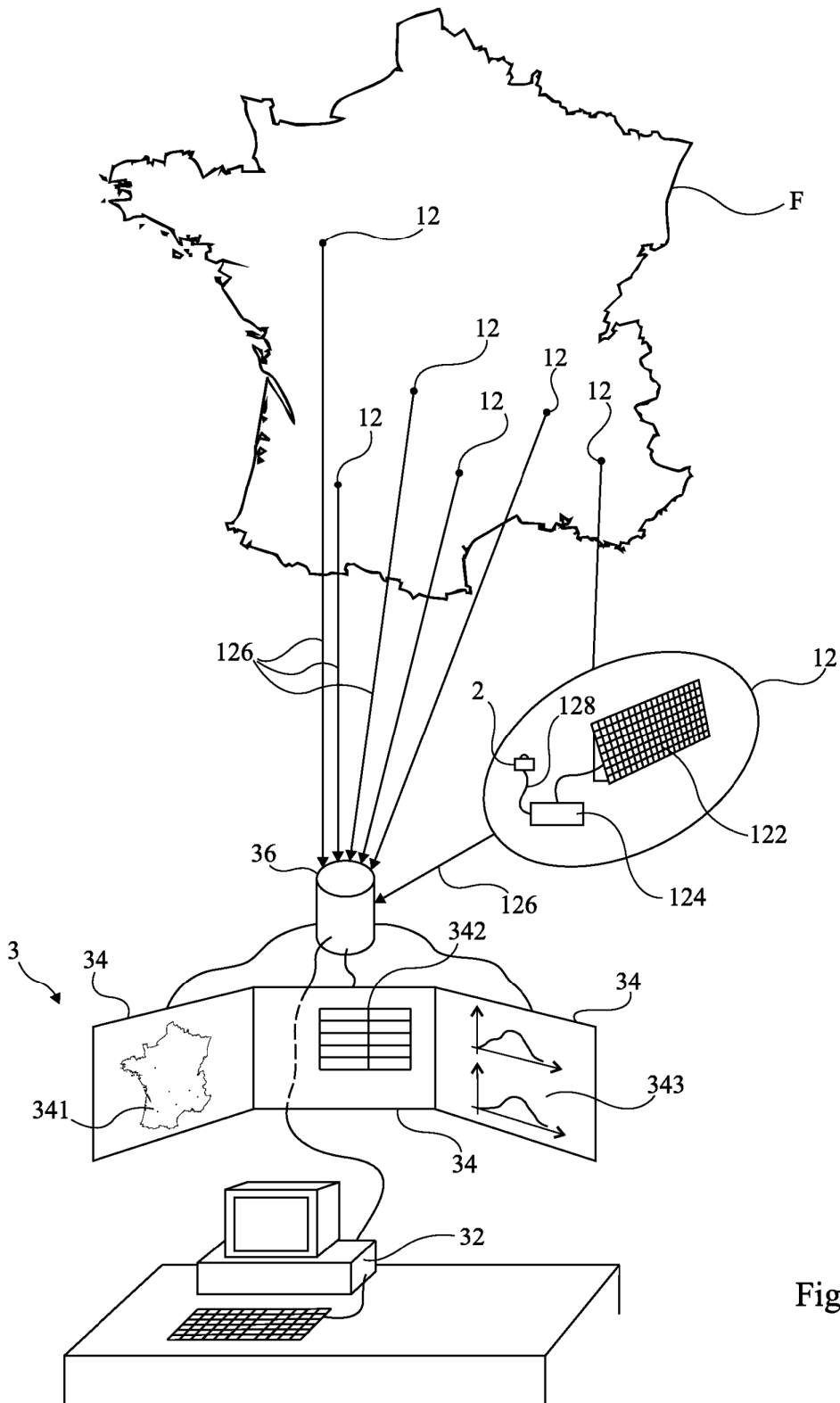


Fig 1

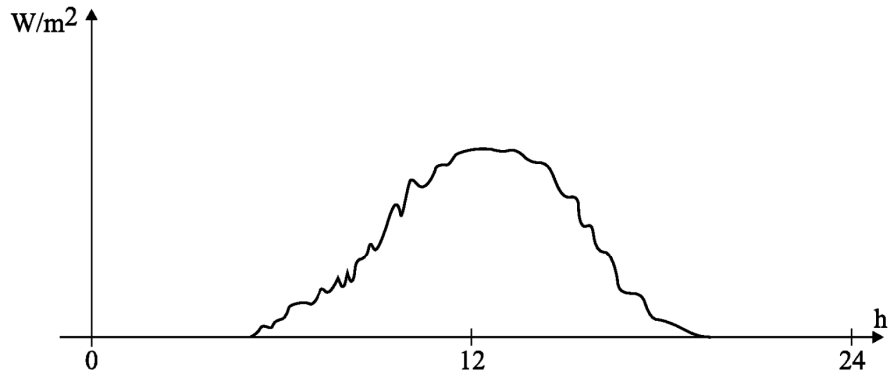


Fig 2A



Fig 2B

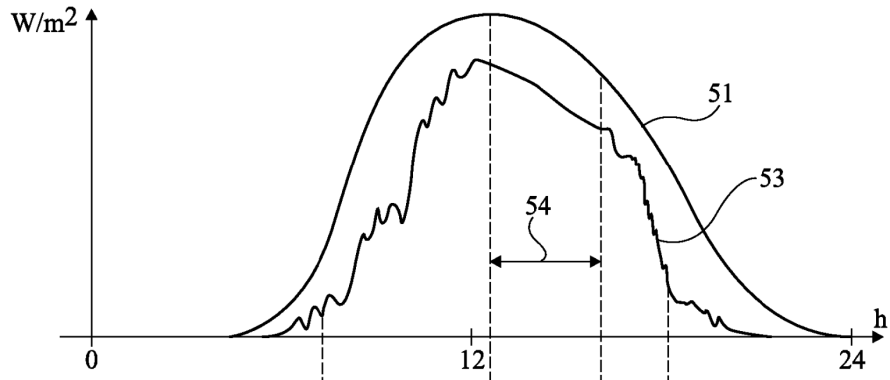


Fig 4A

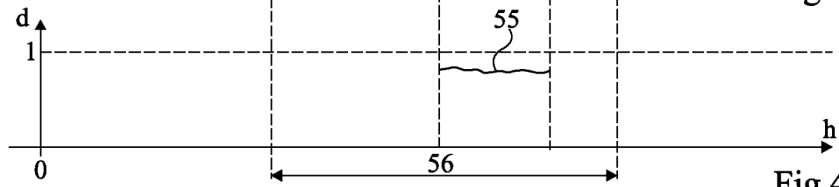


Fig 4B

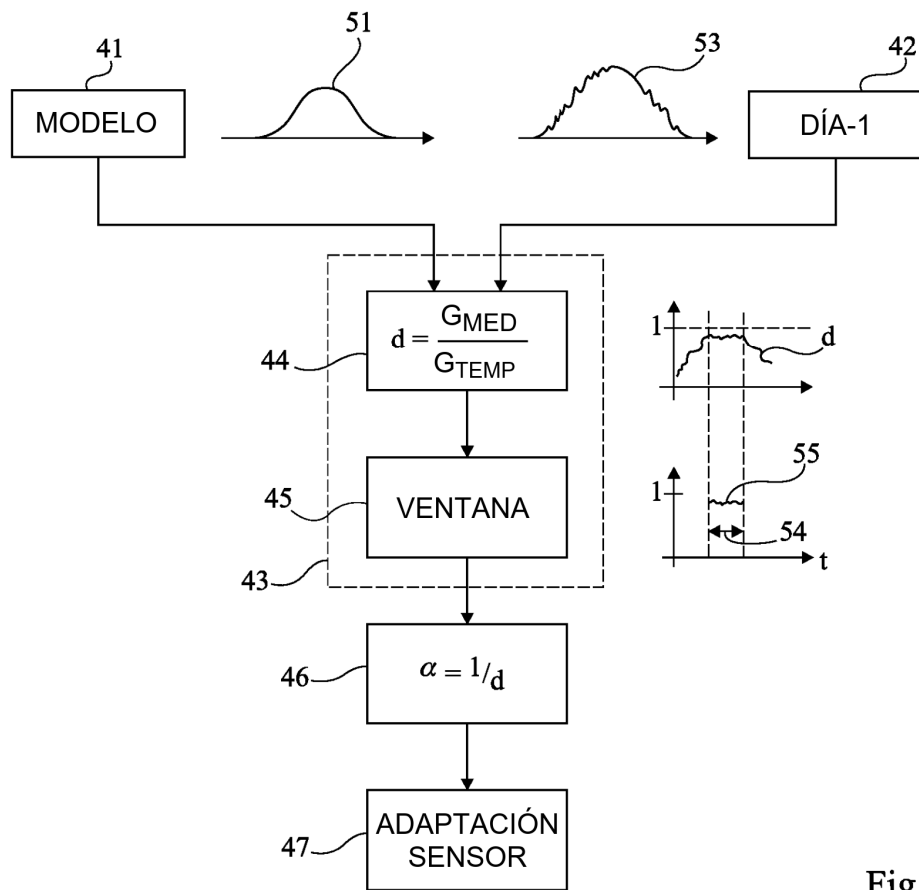


Fig 3