

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 724 991**

21 Número de solicitud: 201830255

51 Int. Cl.:

**G01W 1/18** (2006.01)

**H01J 3/00** (2006.01)

**G01K 11/00** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**14.03.2018**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**18.09.2019**

71 Solicitantes:

**UNIVERSITAT DE VALÈNCIA (50.0%)**

**Av. Blasco Ibañez, 13**

**46010 VALÈNCIA (Valencia) ES y**

**FUNDACIÓN DE LA COMUNITAT VALENCIANA**

**CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES DEL**

**MEDITERRÁNEO (50.0%)**

72 Inventor/es:

**NICLOS CORTS, Raquel y**

**VALIENTE PARDO, José Antonio**

74 Agente/Representante:

**TORNER LASALLE, Elisabet**

54 Título: **MÉTODO Y SISTEMA DE OBTENCIÓN Y ANÁLISIS AUTOMÁTICO DE DATOS DE CAMPO Y DE VALIDACIÓN Y/O CALIBRACIÓN DE PRODUCTOS SATELITALES MEDIANTE DICHOS DATOS DE CAMPO**

57 Resumen:

Método y dispositivo de medición automática en campo para la calibración de radiómetros a bordo de satélites y/o validación de productos satelitales.

El método propuesto incluye adquirir datos satelitales y datos de campo simultáneos y relativos a una misma región mediante un radiómetro satelital y un radiómetro de campo móvil entre distintas posiciones angulares cenitales y azimutales; realizando el posicionado angular cenital del radiómetro de campo (10) con órdenes de control corregidas con datos de posición angular cenital obtenidos mediante un sensor de posición angular cenital (11); calcular y comparar la temperatura de la superficie terrestre y la cantidad de vapor de agua precipitable contenida en la atmósfera, detectando errores en las medidas obtenidas por el radiómetro satelital y recalculando sus ecuaciones de calibración; y calcular incertidumbres en los productos satelitales mediante un método de validación.

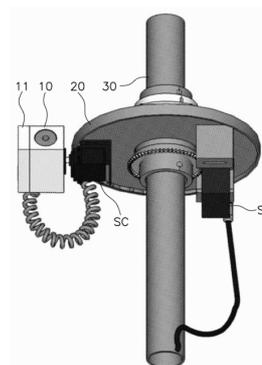


Fig. 1

## DESCRIPCIÓN

### MÉTODO Y SISTEMA DE OBTENCIÓN Y ANÁLISIS AUTOMÁTICO DE DATOS DE CAMPO Y DE VALIDACIÓN Y/O CALIBRACIÓN DE PRODUCTOS SATELITALES MEDIANTE DICHOS DATOS DE CAMPO

#### 5 Campo de la técnica

La presente invención concierne a un método y un sistema de obtención y análisis automático de datos de campo y de validación y/o calibración de productos satelitales mediante dichos datos de campo, siendo los datos de campo parámetros atmosféricos, que incluyen la temperatura superficial, obtenidos a partir de cálculos realizados sobre unas mediciones radiométricas de campo obtenidas en una región de la superficie terrestre mediante una estación de medición automática que incluye un radiómetro de campo con bandas en el infrarrojo térmico, y siendo los productos satelitales parámetros atmosféricos, que incluyen la temperatura superficial terrestre, obtenidos a partir de cálculos realizados sobre unas mediciones radiométricas satelitales, obtenidas mediante un radiómetro satelital con bandas en el infrarrojo térmico, de esa misma región de la superficie terrestre.

Es decir que en base a mediciones de datos de campo tomados en una región de la superficie terrestre se puede calibrar un radiómetro satelital integrado en un satélite que tome datos satelitales de esa misma región de la superficie terrestre, y/o se pueden validar productos satelitales obtenidos por medio de algoritmos que hacen uso de estos datos satelitales estableciendo para ello el valor de la incertidumbre de dichos productos satelitales.

#### Estado de la técnica

Para la toma de mediciones radiométricas se suelen utilizar goniómetros, pero éstos son instrumentos voluminosos y de tedioso manejo, con lo que no pueden usarse para la adquisición autónoma y continuada en campo.

Se conoce un goniómetro que permite medidas de una muestra bajo diferentes ángulos de observación, sin embargo su manejo es igualmente manual y muy aparatoso, por lo que no puede considerarse como autónomo y no puede ser emplazado de forma permanente en campo al requerir supervisión constante.

Un goniómetro similar se conoce a través de la publicación en Sandmeier & Itten (2009, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 37), que también cuenta con unas dimensiones de 4m x 2m, lo que lo dificulta su instalación en ciertas ubicaciones remotas, siendo además un aparato sin capacidad autónoma.

También existen seguidores solares que permiten un seguimiento cenital de la irradiancia solar directa, aunque estos disponen del eje del motor orientado con un ángulo igual a la latitud en la que se instala y miden bajo ciertos ángulos cenitales celestes en ese plano. Estos sistemas no permiten un barrido completo de los hemisferios celeste y terrestre y no  
5 contemplan la instalación de un radiómetro térmico en ellos.

Diferentes empresas los comercializan, pero no disponen de sistemas similares al que se propone en esta patente para la medida mediante radiometría térmica angular.

Se conoce la publicación Remote Sens. 2015, 7, 15269-15294 "An Autonomous System to Take Angular Thermal-Infrared Measurements for Validating Satellite Products" de los  
10 autores Raquel Niclòs, José A. Valiente, Maria J. Barberà and César Coll.

En este documento se describe una estación de medición automática y móvil capaz de tomar mediciones radiométricas en cualquier posición angular cenital y azimutal mediante un solo radiómetro.

Sin embargo la solución descrita en este documento ofrece datos radiométricos angulares  
15 con un margen de error debido a que la posición angular cenital del radiómetro de campo no es suficientemente precisa (tal y como se indica en la página 5). Las incertidumbres en el posicionamiento angular de dicha solución conllevan, por ejemplo, incertidumbres en el cálculo de la cantidad de vapor de agua precipitable, obtenidas a partir de las lecturas de dicho radiómetro de campo, de hasta 0,5 cm.

20 La presente invención representa una mejora de la solución descrita en ese documento, por ejemplo mejorando el posicionamiento angular, lo que conlleva poder alcanzar incertidumbres en la cantidad de vapor de agua precipitable de 0,1 cm debido a dicho posicionamiento.

Se conocen también otras publicaciones que proponen métodos de cálculo y sistemas para  
25 la obtención de la cantidad de vapor de agua precipitable (TPW de sus siglas en inglés, total precipitable water, equivalente al total column water vapor, TCWV) a utilizar en una calibración o validación de datos satelitales, pero todas ellas adolecen de varias deficiencias, como que requieren adicionalmente de una placa difusora reflectante bañada en oro y por lo tanto de alto coste, que no permiten una lectura continua de dicho parámetro  
30 atmosférico porque son técnicas de medida manuales, que no permiten la obtención de dicho parámetro atmosférico mediante medidas angulares de un único radiómetro de medida en la región espectral del infrarrojo térmico (TIR) porque miden la irradiancia directa solar en el infrarrojo cercano o porque utilizan múltiples radiómetros que pueden

proporcionar distintas mediciones, que no permiten la obtención de dicho parámetro atmosférico durante la noche porque miden en el espectro solar, o que no permiten deducir la ausencia total de nubes en el hemisferio celeste a partir de las lecturas del radiómetro TIR de campo porque únicamente realizan medidas en la dirección de iluminación solar. Un  
5 listado de antecedentes que conllevan todas estas deficiencias aquí reseñadas serían las siguientes publicaciones más representativas:

TÍTULO: "Estimation of atmospheric water vapour content from direct measurements of radiance in the thermal infrared region". REF. REVISTA/LIBRO: "Remote Sensing Letters. Volume 3, 2012 - Issue 1. Pages 31-38". AUTORES/AS: Vicente García-Santos, Joan Miquel  
10 Galve, Enric Valor, Vicente Caselles & César Coll.

TÍTULO: "Columnar water vapour retrivals from multifilter rotating shadow and radiometer data". REF. REVISTA/LIBRO: "Journal of Geophysical Research, 114 (2009)". AUTORES/AS: Alexandrov, M.D., Schmid, B., Turner, D.D., Cairns, B., Oinas, V., Lacis, A.A., Gutman, S,I., Wstwater E.R., Smirnov, A., Eilers, J.

15 TÍTULO: "Water vapor column abundance retrievals during FIFE". REF. REVISTA/LIBRO: "Journal of Geophysical Research" Atmospheres, 1992, 97 (D17), 18759-18768. AUTORES/AS: Carol J. Bruegge, James E. Conel, Robert O. Green, Jack S. Margolis, Ronald G. Holm, Geoff Toon.

TÍTULO: "Precipitable water estimation from high-resolution split window radiance  
20 measurements", REF. REVISTA/LIBRO: J. Appl. Meteor., 29, 851-865. AUTORES/AS: Jedlovec G. J. (1990).

#### Breve descripción de la invención

La presente invención concierne, de acuerdo con un primer aspecto de la misma, a un  
25 método de obtención y análisis automático de datos de campo y de validación y/o calibración de productos satelitales mediante dichos datos de campo.

Los datos de campo son aquellos datos relativos a parámetros atmosféricos obtenidos directa o indirectamente mediante una estación de medición automática emplazada en una región de la superficie terrestre que incluye un radiómetro de campo con bandas en el  
30 infrarrojo térmico que obtiene medidas radiométricas de campo.

Los productos satelitales son datos relativos a parámetros atmosféricos derivados de medidas radiométricas satelitales obtenidas por satélites dotados de radiómetros satelitales con bandas en el infrarrojo térmico.

La validación de dichos productos satelitales consiste en comprobar la precisión de esos productos satelitales mediante su comparación con datos de campo, siendo los productos satelitales y los datos de campo comparados obtenidos en relación a una misma región terrestre, permitiendo establecer márgenes de error de los productos satelitales analizados.

- 5 La calibración de dichos productos satelitales consiste en producir ecuaciones de calibración aplicables a los datos satelitales para la corrección de los errores sistemáticos y/o aleatorios en las medidas obtenidas por el radiómetro satelital, siendo dichas ecuaciones producidas en base al análisis de validación de los productos satelitales.

Se entenderá que un radiómetro es un sensor basado en la obtención de datos en bandas espectrales en el infrarrojo térmico (TIR según sus siglas en inglés). Dichos radiómetros típicamente tienen un campo de visión o cono de visión que delimita la región de donde capturan la información.

El tratamiento mediante algoritmos tanto de los datos de campo como de los productos satelitales permite obtener parámetros atmosféricos de la región de la superficie terrestre analizada.

El método propuesto consta de las siguientes etapas, en sí son conocidas:

- a) obtención de medidas radiométricas satelitales relativas a una región de la superficie terrestre, mediante al menos un satélite dotado de un radiómetro satelital con bandas en el infrarrojo térmico;
- 20 b) adquisición de medidas radiométricas de campo simultáneas a las medidas radiométricas satelitales y relativos a esa misma región de la superficie terrestre mediante al menos una estación de medición automática emplazada en dicha región de la superficie terrestre, dicha estación incluyendo un radiómetro de campo con bandas en el infrarrojo térmico que obtiene medidas radiométricas independientes en
- 25 diferentes posiciones angulares azimutales en 360° a la redonda, y en diferentes posiciones angulares cenitales en planos verticales;
- c) cálculo, mediante al menos un dispositivo de cálculo, de unos parámetros atmosféricos que incluyen la temperatura superficial terrestre, calculados a partir de las medidas radiométricas satelitales obtenidas de la etapa a) produciendo productos
- 30 satelitales, y calculados a partir de las medidas radiométricas de campo obtenidas de la etapa b) produciendo datos de campo;
- d) comparación entre la temperatura superficial terrestre calculada a partir de las mediciones radiométricas satelitales y la temperatura superficial terrestre calculada a

partir de las mediciones radiométricas de campo obtenidas en la etapa c), validando los cálculos de obtención de los productos satelitales y/o detectando discrepancias entre los productos satelitales y los datos de campo;

- 5 e) calcular, mediante el dispositivo de cálculo que es al menos uno, ecuaciones de calibración aplicables a los productos satelitales en términos de radiancia en el techo de la atmósfera para la corrección de los errores sistemáticos y/o aleatorios en las medidas radiométricas satelitales y/o márgenes de error de los productos satelitales;

La citada estación de medición automática permanecerá fijada en un punto durante la toma de mediciones, e incluirá un radiómetro de campo que se utilizará para obtener múltiples  
10 medidas radiométricas utilizables para el cálculo de los datos de campo, cada medida radiométrica correspondiente a una posición azimutal concreta y a una posición cenital concreta de dicho radiómetro de campo. Por lo tanto cada medida radiométrica obtenida corresponderá a una región del hemisferio celeste o terrestre visible desde la posición de la estación de medición automática, y preferiblemente en conjunto proporcionarán datos de  
15 campo de todo el hemisferio celeste y terrestre visible desde dicha posición.

A fin de asegurar que todas las mediciones de campo de la estación de medición se realizan en idénticas circunstancias, la estación de medición dispone de un único radiómetro de campo que se desplaza logrando diferentes posiciones angulares azimutales y cenitales para tomar cada uno de los múltiples datos de campo. Si se utilizaran múltiples radiómetros  
20 de campo existiría el riesgo de que éstos tuvieran respuestas no perfectamente comparables como consecuencia de las incertidumbres inherentes asociadas a sus distintas curvas de calibración.

También es recomendable emplazar la estación de medición automática en una región de la superficie terrestre térmicamente homogénea, es decir que alrededor de esa estación el  
25 terreno tenga unas condiciones lo más regulares posibles, por ejemplos monocultivos o paisajes naturales homogéneos.

Para la comparación es también necesario que las medidas radiométricas satelitales y las medidas radiométricas de campo se obtengan de forma simultánea, es decir ambas dentro de un margen temporal durante el cual las condiciones térmicas no varían, por ejemplo  
30 dentro de una franja temporal de diez minutos.

Para lograr dicho desplazamiento del radiómetro de campo se propone que el radiómetro de campo esté unido de forma articulada a un soporte rotativo que a su vez está unido de forma articulada a un soporte fijo, estando el soporte rotativo y el radiómetro de campo accionados

mediante un servomotor cenital y un servomotor azimutal controlados por un dispositivo de control configurado para accionar dichos servomotores cenital y azimutal para posicionar el soporte rotativo y el radiómetro de campo en dichas diferentes posiciones angulares cenitales y en diferentes posiciones angulares azimutales, para la obtención de datos de campo.

El servomotor cenital provocará un giro vertical del radiómetro de campo, modificando su posición angular cenital, mientras que el servomotor azimutal producirá una rotación del radiómetro en un plano horizontal, modificando su posición angular azimutal.

Típicamente el soporte rotativo estará unido al soporte fijo mediante un árbol de eje vertical, permitiendo su giro alrededor de un plano horizontal accionado por el servomotor azimutal. A su vez el radiómetro de campo estará unido al soporte rotativo mediante un árbol de eje horizontal, permitiendo su giro alrededor de un plano vertical accionado por el servomotor cenital, aunque una construcción inversa es también plausible.

Dicha estación automática permitirá obtener datos de campo de todo el hemisferio celeste y también terrestre a partir de los cuales se puede calcular la temperatura superficial terrestre en la región de la superficie terrestre donde se emplaza, así como otros parámetros atmosféricos.

El presente método propone además, de un modo no conocido, las siguientes etapas:

- detectar datos de posición angular cenital del radiómetro de campo mediante un sensor de posición angular cenital en cada una de las posiciones angulares cenitales de la etapa b);
- realizar el posicionado angular cenital del radiómetro de campo en cada una de las posiciones angulares cenitales de la etapa b) mediante un accionamiento preciso del servomotor cenital con órdenes de control emitidas por el dispositivo de control corregidas con los datos del posicionado angular cenital obtenidas del sensor de posición angular cenital;
- calcular, mediante dicho al menos un dispositivo de cálculo, la cantidad de vapor de agua precipitable contenida en la atmósfera en dicha región de la superficie terrestre a partir del análisis de la variación de las diferentes medidas radiométricas de campo obtenidas por el radiómetro de campo en diferentes posiciones angulares cenitales y posiciones angulares azimutales dentro del hemisferio celeste en ausencia de nubes;
- introducir dicha cantidad de vapor de agua precipitable calculada en el cálculo de la temperatura de la superficie terrestre en la etapa c).

La detección de la posición angular cenital del radiómetro de campo permite que el dispositivo de control rectifique las órdenes de control del servomotor cenital para asegurar un posicionado mucho más preciso del radiómetro de campo, mejorando las posibles desviaciones. La precisión de la posición angular cenital del radiómetro de campo es esencial para garantizar la posterior utilización de los datos de campo obtenidos en el proceso de detección nubosa y cálculo de vapor de agua precipitable.

Se ha comprobado que en promedio, la corrección de la posición angular cenital propuesta, permite reducir el error en el posicionamiento angular cenital del radiómetro de campo desde los aproximadamente  $0.6^\circ$  en promedio, y con diferencias máximas de hasta  $2^\circ$ , como se venía obteniendo durante el estado previo y observándose además ciertas derivas diurnas, hasta un error de aproximadamente los  $0.3^\circ$  de forma más constante, como se obtiene con la aplicación de la presente invención. Esta mejora en el posicionado cenital permite alcanzar incertidumbres en el cálculo de la cantidad de vapor de agua precipitable, TPW, de hasta  $\pm 0,1$  cm.

La automatización de la estación de medición permite una obtención continuada de datos de campo, y además la mejora de la precisión angular cenital de las medidas radiométricas de campo obtenidas permite que dichas medidas radiométricas de campo puedan ser utilizadas para el cálculo preciso de la cantidad de vapor de agua precipitable contenida en la atmósfera en condiciones de ausencia de nubosidad tanto en el periodo diurno como durante el periodo nocturno, en vez de disponer solamente de medidas puntuales obtenidas actualmente con otras metodologías.

El método que se propone para el cálculo de la cantidad de vapor de agua precipitable a partir de las medidas radiométricas de campo obtenidas con el radiómetro de campo es efectivo en condiciones de cielos sin nubes, y se basa en las siguientes expresiones:

$$L_i^{\downarrow atm}(\theta, \phi) = L_i^{\downarrow atm}(\theta) \approx L_i^{\downarrow atm}(0^\circ) \cos^{-x_i}(\theta)$$

$$L_i^{\downarrow atm, hem} = \frac{2}{2 - x_i} L_i^{\downarrow atm}(0^\circ)$$

La primera ecuación relaciona la radiancia atmosférica descendente  $L_i^{\downarrow atm}(\theta, \phi)$  en el infrarrojo térmico para una dirección específica del hemisferio celeste con la radiancia en el zénit,  $L_i^{\downarrow atm}(0^\circ)$ ; mientras que la segunda ecuación relaciona la irradiancia hemisférica (integración de la  $L_i^{\downarrow atm}(\theta, \phi)$  en el hemisferio celeste) dividida por  $\pi$ ,  $L_i^{\downarrow atm, hem}$ , con la radiancia  $L_i^{\downarrow atm}(0^\circ)$ .

Estas expresiones son únicamente válidas en el caso de atmósferas planoparalelas, que se dan en cielos descubiertos de nubes.

Un ajuste sobre la primera ecuación utilizando los datos de campo obtenidos por el radiómetro de campo, es decir entre el  $\ln(L_i^{\downarrow atm}(\theta))$  y  $\ln(\cos(\theta))$  para cada escaneo completo de la estación de medición, permitiría obtener el parámetro  $x_i$ , dependiente de la banda 5 espectral de medida y de las condiciones atmosféricas.

Dicho parámetro  $x_i$  es dependiente de la banda espectral de medida y de las condiciones atmosféricas, principalmente de la cantidad de vapor de agua precipitable, ya que el vapor de agua es el máximo absorbente atmosférico en el infrarrojo térmico.

10 Para la estimación de la cantidad de vapor de agua precipitable, se ha establecido una regresión cuadrática entre la cantidad de vapor de agua precipitable y el término  $\frac{2}{2-x_i}$  utilizando las variables atmosféricas  $L_i^{\downarrow atm}(0^\circ)$  y  $L_i^{\downarrow atm, hem}$  simuladas con un modelo de transferencia radiativa a través de la atmósfera y una amplia base de datos de perfiles atmosféricos representativa a nivel mundial, de forma que la regresión obtenida tenga 15 validez global y, así, pueda utilizarse para cualquier emplazamiento de ubicación del dispositivo angular. Esta regresión nos dará el siguiente método para la estimación de la cantidad de vapor de agua precipitable (TPW según sus siglas en inglés):

$$TPW \text{ (cm)} = c_2 \left( \frac{2}{2-x_i} \right)^2 + c_1 \frac{2}{2-x_i} + c_0$$

20 Donde los términos  $c$  son los coeficientes numéricos obtenidos mediante la citada regresión cuadrática.

Así, obteniendo  $x_i$ , y por tanto el término  $\frac{2}{2-x_i}$ , a partir de los datos de campo en posiciones angulares distintas medidas por el radiómetro de campo en el hemisferio celeste se determina la cantidad de vapor de agua precipitable con la expresión anterior.

25 El dispositivo de cálculo también permite detectar la ausencia de nubes en el hemisferio celeste mediante el cálculo de un valor relativo a la presencia de nubes, y su evaluación inferior a un umbral preestablecido, a partir del análisis de la variación de las diferentes mediciones radiométricas de campo obtenidas por el radiómetro de campo en diferentes

posiciones angulares cenitales y posiciones angulares azimutales dentro del hemisferio celeste.

En el caso de presencia parcial de nubes en el hemisferio celeste, la regresión lineal entre  $\ln(L_i^{\downarrow atm}(\theta))$  y  $\ln(\cos(\theta))$  permite obtener un coeficiente de correlación  $r^2$  inferior al

5 correspondiente al caso de ausencia de nubes.

Este método de detección de nubes usa este coeficiente de correlación  $r^2$  sobre el que establecer un valor límite para el caso de cielos despejados. El valor límite en  $r^2$  establecido para cielos despejados en la técnica de detección de nubes propuesta sería de 0,9, por debajo de este valor no sería posible calcular la cantidad de vapor de agua precipitable, y durante estos períodos no se calcularía hasta que no se restablecieran las condiciones de cielo sin nubosidad.

Así pues el tratamiento de los datos de campo, que realiza al menos un dispositivo de cálculo, permiten calcular la temperatura superficial terrestre, la cantidad de vapor de agua precipitable cuando no hay nubes, e incluso opcionalmente también permite detectar automáticamente dicha presencia de nubes, todos ellos parámetros atmosféricos relativos a la región de la superficie terrestre donde se emplaza la estación de medición automática. Asimismo, a partir de los datos de temperatura superficial terrestre obtenidos de las mediciones radiométricas de campo, junto con la cantidad de vapor de agua precipitable estimada, se podrá obtener una estimación de la radiancia en el techo de la atmósfera medible con el radiómetro satelital sobre la región de la superficie terrestre.

El dispositivo de cálculo comparará los datos de campo calculados a partir de las medidas radiométricas de campo con los productos satelitales calculados a partir de las medidas radiométricas satelitales. De las diferencias detectadas entre dichos valores se podrán deducir errores sistemáticos y/o aleatorios en las mediciones obtenidas por el radiómetro satelital, tanto en términos de radiancia en el techo de la atmósfera, en el método de calibración, como en términos de temperatura de la superficie terrestre, en el método de validación. Se podrán calcular ecuaciones de calibración aplicables a los productos satelitales que permitan corregir dichos errores sistemáticos y/o aleatorios, mejorando así la precisión de los productos satelitales. Dichas diferencias detectadas también permiten detectar los márgenes de error existentes en los productos satelitales, consiguiendo así una validación o certificación de la exactitud de dichos productos satelitales.

Según una realización de la invención la separación angular entre las diferentes posiciones angulares cenitales y/o entre las diferentes posiciones angulares azimutales en las que se

realizan las mediciones de campo del radiómetro de campo puede ser seleccionada inicialmente por el usuario, de modo que se cubra adecuadamente tanto el hemisferio terrestre como el celeste, pudiendo ser uniforme.

5 Opcionalmente se propone que la separación angular entre las diferentes posiciones angulares cenitales y/o entre las diferentes posiciones angulares azimutales en las que se realizan las lecturas del radiómetro sea igual o menor a la amplitud del cono de visión del radiómetro, por ejemplo estando comprendida entre los 15° y los 22,5°.

10 En un ejemplo preferido el número total de posiciones angulares cenitales será de doce con separación angular seleccionables, mientras que el número de posiciones azimutales será de diez con separaciones angulares equidistantes.

Se propone que la adquisición de los datos de campo en todas las posiciones angulares cenitales y azimutales se realice, conjuntamente, en menos de 15 minutos.

15 Preferiblemente entre lecturas del radiómetro de campo en distintas posiciones angulares cenitales y/o azimutales consecutivas pasan al menos 2 segundos, y preferiblemente 4 segundos, dando tiempo al radiómetro de campo a estabilizarse tras su desplazamiento.

Igualmente se contempla que el posicionado angular cenital y azimutal preciso del radiómetro se realice mediante las etapas de:

- accionar el servomotor cenital controlado por el dispositivo de control para posicionar el radiómetro de campo en una posición angular cenital preestablecida;
- 20 • detectar datos de posición angular cenital del radiómetro de campo mediante un sensor de posición angular configurado para detectar una posición angular cenital del radiómetro de campo respecto a la vertical;
- comunicar la posición angular cenital detectada al dispositivo de control,
- detectar, por parte de dicho dispositivo de control y mediante el análisis de la 25 posición angular cenital detectada, desviaciones angulares del radiómetro de campo respecto a la posición angular cenital preestablecida;
- accionar el servomotor cenital controlado por el dispositivo de control para realizar una corrección sobre posición angular cenital del radiómetro de campo corrigiendo mediante las desviaciones detectadas.

30 Cuando se detecta una desviación se puede corregir inmediatamente la posición del radiómetro de campo antes de la toma de la siguiente medida radiométrica de campo, o puede corregirse la posición tras la toma de la siguiente medida radiométrica de campo al

realizar el siguiente desplazamiento del radiómetro de campo, incluyendo la corrección en ese desplazamiento.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, ésta concierne a un sistema de obtención y análisis automático de datos de campo y de validación y/o calibración de  
5 productos satelitales mediante dichos datos de campo.

El sistema propuesto incluye:

- al menos una estación de medición automática emplazada en una región de la superficie terrestre que incluye un radiómetro de campo con bandas en el infrarrojo térmico que obtiene medidas radiométricas de campo independientes en diferentes  
10 posiciones angulares azimutales en 360° a la redonda, y en diferentes posiciones angulares cenitales en planos verticales, para la obtención de datos de campo;
- al menos un dispositivo de cálculo configurado para calcular unos parámetros atmosféricos que incluyen la temperatura superficial terrestre a partir de las medidas radiométricas de campo, produciendo datos de campo, y para comparar esos datos  
15 de campo con productos satelitales que incluyen la temperatura superficial terrestre calculados a partir de medidas radiométricas satelitales, para la validación y/o calibración de los productos satelitales;

en donde la estación de medición automática incluye el radiómetro de campo unido de forma articulada a un soporte rotativo que a su vez está unido de forma articulada a un soporte fijo,  
20 estando el soporte rotativo y el radiómetro de campo accionados mediante un servomotor cenital y un servomotor azimutal controlados por un dispositivo de control configurado para accionar dichos servomotores cenital y azimutal para posicionar el soporte rotativo y el radiómetro de campo en dichas diferentes posiciones angulares cenitales y en diferentes posiciones angulares azimutales, para la obtención de datos de campo.

25 Las apreciaciones realizadas en relación a los dispositivos y elementos descritos en el método son igualmente aplicables al presente sistema.

El sistema propone además que la estación de medición automática de obtención de datos de campo incluya un sensor de posición angular cenital configurado para detectar una posición angular cenital del radiómetro de campo y para comunicar la posición angular  
30 cenital detectada al dispositivo de control. El dispositivo de control estará configurado para la corrección precisa de dicha posición angular cenital del radiómetro de campo en respuesta a la posición angular cenital detectada por el dispositivo de control mediante el accionamiento preciso de al menos el servomotor cenital.

Preferiblemente el sensor de posición angular cenital será un acelerómetro de dos ejes unido al radiómetro de campo para la detección de su posición respecto a la vertical definida por la gravedad.

Otras características de la invención aparecerán en la siguiente descripción detallada de un ejemplo de realización.

#### Breve descripción de las figuras

Las anteriores y otras ventajas y características se comprenderán más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada de un ejemplo de realización con referencia a los dibujos adjuntos, que deben tomarse a título ilustrativo y no limitativo, en los que:

la Fig. 1 muestra una vista perspectiva desde debajo de la estación de medición automática;

la Fig. 2 muestra una vista perspectiva desde arriba de la misma estación de medición automática mostrada en la Fig. 1, en la que se han incluido unas flechas indicativas de los movimientos de rotación que pueden realizar las diferentes partes de la misma;

la Fig. 3 muestra una gráfica en la que se muestra en el eje de las ordenadas la desviación de la posición angular cenital del radiómetro de campo en grados respecto a la posición teórica en la que debía posicionarse, y en el eje de abscisas diferentes fechas de medición, correspondiente a una estación de medición automática en la que no se realiza una corrección de la posición angular cenital del radiómetro de campo en función de las lecturas del sensor de posición angular cenital;

la Fig. 4 muestra el mismo gráfico pero correspondiente a una estación de medición automática en la que si se realiza una corrección de la posición angular cenital del radiómetro de campo en función de las lecturas del sensor de posición angular cenital.

#### Descripción detallada de un ejemplo de realización

Las figuras adjuntas muestran ejemplos de realización con carácter ilustrativo no limitativo de la presente invención que concierne a un método y sistema de obtención y análisis automático de datos de campo y de validación y/o calibración de productos satelitales mediante dichos datos de campo.

Un satélite (no mostrado) dotado de un radiómetro satelital con medida en bandas en el infrarrojo térmico, en la región espectral entre 8 y 14  $\mu\text{m}$ , con observación sobre una región térmicamente homogénea de la superficie terrestre obtiene mediciones radiométricas

satelitales a partir de las cuales se obtienen, mediante cálculo, productos satelitales. El sistema incluye además una estación de medición automática emplazada en dicha región de la superficie terrestre que incluye un radiómetro de campo 10 con medida en bandas en el infrarrojo térmico, en la región espectral entre 8 y 14  $\mu\text{m}$ , que obtiene medidas radiométricas  
5 independientes en diferentes posiciones angulares azimutales en  $360^\circ$  a la redonda, y en diferentes posiciones angulares cenitales en planos verticales, para la obtención de datos de campo.

Dicha estación de medición automática puede rotar automáticamente para obtener un conjunto de ángulos de visión cenital y acimutal para los que el radiómetro de campo 10  
10 toma medidas.

La ventaja de esta configuración es la realización de escaneos completos de los hemisferios terrestre y celeste mediante mediciones de barrido en ángulos predefinidos. Además, el uso de un solo radiómetro de campo 10 con una única calibración evita posibles problemas de inter-calibración.

15 De acuerdo con un ejemplo de realización mostrado en la Fig. 1, la estación de medición automática propuesta tiene un soporte rotativo 20 en forma de disco que gira alrededor de un soporte fijo 30 en forma de cilindro hueco, que actúa a la vez como árbol de eje vertical del sistema, al que está unido mediante un rodamiento de bolas. Esta configuración permite que el soporte rotativo 20 gire alrededor del soporte fijo 30 para alcanzar cualquier posición  
20 angular acimutal deseada. Un servomotor acimutal SA fijado debajo del soporte rotativo 20 y una rueda dentada concéntrica al cilindro hueco y fijada al mismo son las partes mecánicas que se encargan de conducir el sistema a las posiciones angulares acimutales seleccionadas. También se contempla una construcción inversa en la que la rueda dentada esté fijada al soporte rotativo 20 y el servomotor azimutal está fijado al cilindro hueco.

25 El cilindro hueco permite la inserción de un mástil de 40mm de diámetro de cualquier altura deseada para la toma de medidas. Muchas torres convencionales de estaciones meteorológicas terminan en un mástil para acomodar diferentes sensores. El sistema se puede integrar en tales torres a cualquier nivel deseado, y no necesariamente el más alto.

Un servomotor cenital SC se fija a la cara inferior del soporte rotativo 20 quedando su árbol  
30 en posición horizontal y radial respecto al árbol de eje azimutal definido por el cilindro hueco del soporte fijo 30, constituyendo así un árbol de eje cenital.

Un radiómetro de campo 10 con detección de bandas en el infrarrojo térmico está unido a dicho árbol de eje cenital del servomotor cenital SC, siendo el campo de visión del mismo perpendicular a dicho árbol de eje cenital.

5 Mediante esta disposición el accionamiento del servomotor azimutal SA modifica la posición angular azimutal del radiómetro de campo 10, y el accionamiento del servomotor cenital SC modifica su posición angular cenital, consiguiendo así en conjunto alcanzar cualquier posición angular azimutal y cenital, permitiendo que el radiómetro de campo 10 capte información de cualquier región del hemisferio terrestre o celeste.

10 El radiómetro de campo 10 está preferiblemente encerrado dentro de un cabezal de forma rectangular construido en poliamida, que está aislado externamente con una película de espuma recubierta con una lámina de aluminio. El cabezal está fijado al árbol de eje cenital del servomotor cenital SC y actúa como escudo radiante para evitar posibles calentamientos del radiómetro de campo 10 con el sol.

15 Dicho cabezal contiene también el sensor de posición angular cenital 11 que proporciona un conocimiento preciso del ángulo cenital del radiómetro de campo 10. Dicho sensor de posición angular cenital 11 puede ser por ejemplo un acelerómetro 2D o de dos ejes.

Dicho sensor de posición angular cenital 11 permite comprobar que la posición angular cenital del radiómetro de campo 10 realmente lograda se corresponde con la posición angular cenital prevista. La precisión de esta posición es importante para lograr que los  
20 parámetros atmosféricos calculados a partir de los datos de campo sean también precisos.

A partir de las lecturas del sensor de posición angular cenital 11 se puede corregir el posicionado angular central del radiómetro de campo 10, mediante la aplicación del algoritmo de corrección descrito anteriormente.

25 Una comparativa experimental entre el error de posicionado cometido antes de la introducción de la mejora y después de la misma, diferencia del posicionamiento que se ordena y el que realmente se consigue, se muestra en las Fig. 3 y 4. En ellas puede verse como el error en la posición angular cenital del radiómetro de campo 10 supera frecuentemente los  $0,4^\circ$  y cómo puede alcanzar los  $2^\circ$ , y como la introducción del sensor de posición angular cenital 11 y la corrección de la posición angular cenital realizada gracias a  
30 las mediciones de dicho sensor permiten reducir el error de la posición angular cenital por debajo de los  $0,4^\circ$  en la práctica totalidad de las mediciones realizadas.

Se propone también la inclusión de un sensor de posición angular azimutal que proporcione un conocimiento preciso del ángulo azimutal del radiómetro de campo. Dicho sensor de posición angular azimutal puede ser por ejemplo un imán adjunto a la cara inferior del soporte rotativo en combinación con tres interruptores de láminas equidistantes fijados al cilindro hueco.

El accionamiento de los servomotores azimutales y cenitales para posicionar el radiómetro de campo en las diferentes posiciones angulares azimutales y cenitales es controlado por un dispositivo de control o procesador con registro de datos.

Preferiblemente entre el dispositivo de control y los servomotores cenital SC y azimutal SA se intercala un servo-controlador serie a modo de interfaz o traductor de órdenes para así lograr un posicionado preciso y movimientos suaves de los servomotores azimutal y cenital.

El radiómetro de campo puede ser situado en cualquier posición angular azimutal y cenital, sin embargo para acelerar las lecturas se pueden limitar el número de posiciones angulares azimutales y cenitales y aun así obtener datos de todo el hemisferio terrestre y/o celeste, en función de la abertura del campo de visión del radiómetro de campo. A mayor abertura del campo de visión, menos lecturas serán necesarias para cubrir todo el hemisferio en detrimento sin embargo de la resolución angular de todo el conjunto de medidas realizadas.

En el presente caso el sistema está configurado operativamente para obtener lecturas del radiómetro de campo en diez distintas posiciones angulares azimutales, correspondientes a  $18^\circ$ ,  $54^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $126^\circ$ ,  $162^\circ$ ,  $198^\circ$ ,  $234^\circ$ ,  $270^\circ$ ,  $306^\circ$  y  $342^\circ$  desde el norte, y en doce posiciones angulares cenitales con espaciado seleccionado, correspondientes a  $0^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $54^\circ$ ,  $72^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $112^\circ$ ,  $122^\circ$ ,  $142^\circ$ ,  $152^\circ$ ,  $158^\circ$  y  $180^\circ$  donde  $0^\circ$  es la dirección vertical cenit y  $180^\circ$  es la dirección vertical nadir. Para esta configuración, un barrido completo de ambos hemisferios, cielo y tierra, se ajusta bien a un período de 15 minutos.

El sistema toma las doce mediciones consecutivas en las diferentes posiciones angulares cenitales y en la misma posición angular azimutal, se desplaza a la siguiente posición angular azimutal a través de una rotación horizontal del soporte rotativo, y comienza a tomar las siguientes doce mediciones en las distintas posiciones angulares cenitales seleccionadas.

El período de tiempo que transcurre entre una sola medición y la siguiente se fija en cuatro segundos. Durante el primer segundo, el dispositivo de control ordena al servomotor cenital SC su accionamiento para producir el cambio de posición angular cenital del radiómetro de campo 10. Al cabo de los dos segundos siguientes el dispositivo de control procede a  
 5 comparar la posición preestablecida a la que se debía posicionar el radiómetro de campo 10 tras el accionamiento del servomotor cenital SC con los datos procedentes de los sensores de posición angular cenital 11. Las diferencias existentes serán tenidas en cuenta en el siguiente posicionado para la misma posición vertical y el mismo sentido de giro, consiguiéndose así una corrección progresiva y un posicionado más preciso del radiómetro  
 10 de campo 10. Estos dos segundos también permiten que el radiómetro de campo 10 se establezca tras su desplazamiento. Por último durante el cuarto segundo se realiza la medición por parte del radiómetro de campo 10.

El radiómetro de campo utilizado es un radiómetro térmico entre 8-13  $\mu\text{m}$  que tiene una precisión de  $\pm 0,2\text{K}$  en temperaturas comprendidas entre los 278K y los 303K, y que debe  
 15 tener un cono de visión máximo de  $36^\circ$ .

Preferiblemente la región de la superficie terrestre donde se emplaza la estación de medición automática será una región plana y térmicamente homogénea, por ejemplo una zona de monocultivo, una zona desértica o semi-desértica, una zona de humedal, una zona pantanosa, un lago, una salina, o similar que proporcione similares propiedades emisivas, y  
 20 con una temperatura lo más uniforme posible en un área de al menos  $3 \times 3 \text{ km}^2$ .

Los datos de campo obtenidos del radiómetro de campo 10 son procesados mediante un dispositivo de cálculo que recibe los datos de campo del radiómetro de campo 10 y también los datos satelitales obtenidos por el radiómetro satelital.

La radiancia medida en una dirección angular azimutal  $\theta$  y cenital  $\phi$  por un radiómetro de  
 25 campo 10 en la banda  $i$  que observa una superficie desde el nivel del terreno ( $L_i(\theta, \phi)$ ) puede expresarse de la siguiente forma:

$$L_i(\theta, \phi) = \varepsilon_i(\theta, \phi)B_i(T) + (1 - \varepsilon_i(\theta, \phi))L_i^{\downarrow}{}_{atm,hem}$$

En esta ecuación el parámetro  $\varepsilon_i(\theta, \phi)$  es la emisividad superficial direccional,  $B_i(T)$  es la media de la función de Planck en la banda  $i$ ,  $T$  es la temperatura superficial media, y  
 30  $L_i^{\downarrow}{}_{atm,hem}$  es la radiancia atmosférica descendiente.

El parámetro  $L_i^{\downarrow atm, hem}$  puede obtenerse a través de la integración del valor de la radiancia atmosférica procedente de una determinada dirección angular  $L_i^{\downarrow atm}(\theta, \phi)$ .

En caso de homogeneidad horizontal de la atmósfera, es decir en condiciones de total ausencia de nubes, o de uniforme cubierta de nubes, la radiancia atmosférica procedente de una determinada dirección angular  $L_i^{\downarrow atm}(\theta, \phi)$  sigue las siguientes expresiones:

$$L_i^{\downarrow atm}(\theta, \phi) = L_i^{\downarrow atm}(\theta) \approx L_i^{\downarrow atm}(0^\circ) \cos^{-x_i}(\theta)$$

$$L_i^{\downarrow atm, hem} = \frac{2}{2-x_i} L_i^{\downarrow atm}(0^\circ)$$

La condición de total ausencia de nubes es necesaria para obtener la temperatura superficial terrestre (LST por sus siglas en inglés) a partir de los datos satelitales obtenidos por el radiómetro satelital, por lo tanto para validar dichos datos satelitales habrá que obtener la temperatura superficial terrestre en condiciones de ausencia de nubosidad desde el radiómetro de campo.

Un ajuste sobre la primera ecuación utilizando los datos de campo obtenidos por el radiómetro de campo, es decir entre  $\ln(L_i^{\downarrow atm}(\theta))$  y  $\ln(\cos(\theta))$  para cada escaneo completo de la estación de medición, permitiría obtener el parámetro  $X_i$ , dependiente de la banda espectral de medida y de las condiciones atmosféricas.

Como el parámetro  $X_i$ , y por tanto el término  $\frac{2}{2-x_i}$  en la segunda ecuación mostrada, se obtienen a partir de los datos de campo en posiciones angulares distintas medidos por el radiómetro de campo, podrá estimarse la cantidad de vapor de agua precipitable TPW, como parámetro atmosférico, a partir de la siguiente ecuación:

$$TPW \text{ (cm)} = c_2 \left( \frac{2}{2-x_i} \right)^2 + c_1 \frac{2}{2-x_i} + c_0$$

Para obtener dicha ecuación, se ha establecido una regresión cuadrática entre la cantidad de vapor de agua precipitable y el término  $\frac{2}{2-x_i}$  utilizando las variables atmosféricas  $L_i^{\downarrow atm}(0^\circ)$  y  $L_i^{\downarrow atm, hem}$  simuladas con un modelo de transferencia radiativa a través de la atmósfera y una amplia base de datos de perfiles atmosféricos representativa a nivel mundial, de forma

que la regresión obtenida tenga validez global, es decir, que pueda utilizarse para cualquier emplazamiento de ubicación del dispositivo angular. Los términos c de la ecuación son los coeficientes numéricos obtenidos con la regresión. La regresión establecida también podría ser lineal en vez de cuadrática.

- 5 En el caso de que la región de la superficie terrestre tenga una cubierta superficial termohomogénea e isotrópica (como por ejemplo superficies de agua o ciertos monocultivos, como arrozales), en las que la temperatura superficial terrestre no depende de ángulos de observación, la evaluación de los valores de emisividad relativos al nadir (opuesto al zénit), evita el conocimiento de la propia temperatura superficial terrestre tomando dos mediciones  
 10 de radiancia, una en el nadir, es decir  $(0, \phi)$ , y otra en una configuración angular definida  $(\theta, \phi)$ , utilizando la siguiente expresión descrita en detalle en la siguiente publicación:

“Angular variation of land surface spectral emissivity in the thermal infrared: Laboratory investigations on bare soils. Int. J. Remote Sens. 1991, 12, 2299–2310.”

$$\varepsilon_{ri}(\theta, \phi) = \frac{\varepsilon_i(\theta, \phi)}{\varepsilon_{ri}(0, \phi)} = \frac{L_i(\theta, \phi) - L_i^{\downarrow atm, hem}}{L_i(0, \phi) - L_i^{\downarrow atm, hem}}$$

- 15 Como el sistema propuesto mide las radiancias en un conjunto de ángulos de observación acimutal y cenital, las emisividades relativas al nadir pueden determinarse con la anterior ecuación para analizar la anisotropía de las emisividades para las superficies homogéneas observadas por el sistema.

El tratamiento de los datos de campo mediante la aplicación de los cálculos arriba descritos  
 20 se realiza automáticamente por parte de al menos un dispositivo de cálculo, y permite la obtención de parámetros que podrán ser utilizados para validar o corregir los datos satelitales obtenidos por el radiómetro satelital.

Dichos datos satelitales incluyen típicamente las radiancias en el techo de la atmósfera (TOA por sus siglas en inglés) para bandas espectrales desde el infrarrojo de onda media hasta el  
 25 infrarrojo térmico (por ejemplo, a 3.7, 10.85, y 12.0  $\mu\text{m}$ ) y en el caso de sensores con visión dual, tanto para el nadir como para una vista oblicua (alrededor de un ángulo cenital de 55°).

Las radiancias en el techo de la atmósfera TOA en las bandas espectrales a 11 y 12  $\mu\text{m}$  ( $L_{i, TOA}(\theta, \phi)$ ), o bien las temperaturas de brillo equivalentes en dichas bandas, y en las vistas

nadir y oblicua, se utilizan para obtener la temperatura superficial terrestre mediante algoritmos o técnicas de absorción diferencial en la atmósfera, de tipo “split-window” o “dual-angle”, que permiten corregir el efecto atmosférico a la vez que se corrige el efecto de la emisividad superficial. Estas técnicas usualmente requieren de estimaciones previas de la

5 emisividad superficial para la dirección de visión por parte del satélite,  $\epsilon_s(\theta, \phi)$ , y del vapor de agua precipitable contenido en la atmósfera, TPW; parámetros que se obtienen a partir de los datos de campo medidos por el sistema. Así, la validación de la temperatura superficial terrestre obtenida de los datos de satélite (utilizando estos datos de campo de emisividad y TPW requeridos en las correcciones de los datos de satélite) frente a la temperatura

10 superficial terrestre obtenida con los datos de campo no requiere de datos complementarios y permite estimar el grado de desviación de dichos productos satelitales validando su grado de incertidumbre. Dado que el dispositivo de medida en campo permite la obtención de datos angulares, la validación de los productos de satélite se puede refinar utilizando datos de campo medidos con ángulos de observación similares a los ángulos de visión por parte

15 del satélite.

## REIVINDICACIONES

1. Método de obtención y análisis automático de datos de campo y de validación y/o calibración de productos satelitales mediante dichos datos de campo que consta de las siguientes etapas:

- 5 a) obtención de medidas radiométricas satelitales relativas a una región de la superficie terrestre, mediante al menos un satélite dotado de un radiómetro satelital con bandas en el infrarrojo térmico;
- 10 b) adquisición de medidas radiométricas de campo simultáneas a las medidas radiométricas satelitales y relativos a esa misma región de la superficie terrestre mediante al menos una estación de medición automática emplazada en dicha región de la superficie terrestre, dicha estación de medición incluyendo un radiómetro de campo (10) con bandas en el infrarrojo térmico que obtiene medidas radiométricas independientes en diferentes posiciones angulares azimutales en 360° a la redonda, y en diferentes posiciones angulares cenitales en planos verticales;
- 15 c) cálculo, mediante al menos un dispositivo de cálculo de unos parámetros atmosféricos que incluyen la temperatura superficial terrestre, calculados a partir de las medidas radiométricas satelitales obtenidas de la etapa a) produciendo productos satelitales, y calculados a partir de las medidas radiométricas de campo obtenidas de la etapa b) produciendo datos de campo;
- 20 d) comparación entre la temperatura superficial terrestre calculada a partir de las mediciones radiométricas satelitales y la temperatura superficial terrestre calculada a partir de las mediciones radiométricas de campo obtenidas en la etapa c), validando los cálculos de obtención de los productos satelitales y/o detectando discrepancias entre los productos satelitales y los datos de campo;
- 25 e) calcular, mediante dicho al menos un dispositivo de cálculo, ecuaciones de calibración aplicables a los productos satelitales en términos de radiancia en el techo de la atmósfera para la corrección de los errores sistemáticos y/o aleatorios en las medidas radiométricas satelitales y/o márgenes de error de los productos satelitales;

30 en donde la estación de medición automática incluye el radiómetro de campo (10) unido de forma articulada a un soporte rotativo (20) que a su vez está unido de forma articulada a un soporte fijo (30), estando el soporte rotativo (20) y el radiómetro de campo (10) accionados mediante un servomotor cenital (SC) y un servomotor azimutal (SA) controlados por un dispositivo de control configurado para accionar dichos servomotores cenital (SC) y azimutal

(SA) para posicionar el soporte rotativo (20) y el radiómetro de campo (10) en dichas diferentes posiciones angulares cenitales y en diferentes posiciones angulares azimutales, para la obtención de datos de campo;

**caracterizado porque** el método incluye además las siguientes etapas:

5 detectar datos de posición angular cenital del radiómetro de campo (10) mediante un sensor de posición angular cenital (11) en cada una de las posiciones angulares cenitales de la etapa b);

realizar el posicionado angular cenital del radiómetro de campo (10) en cada una de las posiciones angulares cenitales de la etapa b) mediante un accionamiento preciso del  
10 servomotor cenital (SC) con órdenes de control emitidas por el dispositivo de control corregidas con los datos del posicionado angular cenital previo obtenidas del sensor de posición angular cenital (11);

calcular, mediante dicho al menos un dispositivo de cálculo, la cantidad de vapor de agua precipitable contenida en la atmósfera en dicha región de la superficie terrestre a partir del  
15 análisis de la variación de las diferentes lecturas obtenidas por el radiómetro de campo (10) en diferentes posiciones angulares cenitales y posiciones angulares azimutales dentro del hemisferio celeste en condiciones de ausencia de nubes; y

utilizar dicha cantidad de vapor de agua precipitable calculada en el cálculo de las temperaturas superficiales terrestres en la etapa c).

20

2. Método según reivindicación 1 en donde el dispositivo de cálculo detecta la ausencia de nubes en el hemisferio celeste mediante el cálculo de un valor relativo a la presencia de nubes en la atmósfera en dicha región de la superficie terrestre inferior a un umbral preestablecido a partir del análisis de la variación angular de las diferentes lecturas  
25 obtenidas por el radiómetro de campo (10) en diferentes posiciones angulares cenitales y posiciones angulares azimutales dentro del hemisferio celeste.

3. Método según reivindicación 1 o 2 en donde el método se aplica tanto de día como de noche.

4. Método según reivindicación 1, 2 o 3 en donde la separación angular entre cada una de  
30 las diferentes posiciones angulares cenitales y/o entre cada una de las diferentes posiciones angulares azimutales en las que se realizan las lecturas del radiómetro de campo (10) es una separación angular uniforme.

5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la separación angular entre las diferentes posiciones angulares cenitales y/o entre las diferentes posiciones angulares azimutales en las que se realizan las lecturas del radiómetro de campo (10) es igual o menor a la amplitud del cono de visión del radiómetro de campo (10).
- 5 6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el número total de posiciones angulares cenitales es de doce con separación angular seleccionable mientras que el número de posiciones azimutales es de diez con separación angular equidistante.
7. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la adquisición  
10 de los datos de campo en todas las posiciones angulares cenitales y azimutales se realiza en menos de 15 minutos.
8. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde entre lecturas del radiómetro de campo (10) en distintas posiciones angulares cenitales y/o azimutales consecutivas pasan al menos 3 segundos.
- 15 9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la temperatura superficial terrestre, la ausencia de nubes y la cantidad de vapor de agua precipitable en la atmósfera son calculados por el dispositivo de cálculo mediante la aplicación de algoritmos a los datos obtenidos por el radiómetro de campo (10).
10. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el  
20 posicionado angular cenital y azimutal preciso del radiómetro de campo (10) se realiza mediante las etapas de:
- accionar el servomotor cenital (SC) controlado por el dispositivo de control para posicionar el radiómetro de campo (10) en una posición angular cenital preestablecida;
  - 25 • detectar datos de posición angular cenital del radiómetro de campo (10) mediante un sensor de posición angular cenital (11) configurado para detectar una posición angular cenital del radiómetro de campo (10);
  - comunicar la posición angular cenital detectada al dispositivo de control,
  - detectar, por parte de dicho dispositivo de control y mediante el análisis de la  
30 posición angular cenital detectada, desviaciones angulares del radiómetro de campo (10) respecto a la posición angular cenital preestablecida;

- accionar el servomotor cenital (SC) controlado por el dispositivo de control para realizar una corrección sobre la próxima posición angular cenital del radiómetro de campo (10) corrigiendo mediante las desviaciones detectadas.

5 11. Sistema de obtención y análisis automático de datos de campo y de validación y/o calibración de productos satelitales mediante dichos datos de campo que incluye:

- al menos una estación de medición automática, emplazada en una región de la superficie terrestre, que incluye un radiómetro de campo (10) con bandas en el infrarrojo térmico que obtiene medidas radiométricas de campo independientes en  
10 diferentes posiciones angulares azimutales en 360° a la redonda, y en diferentes posiciones angulares cenitales en planos verticales, para la obtención de datos de campo;
- al menos un dispositivo de cálculo configurado para calcular unos parámetros atmosféricos que incluyen la temperatura superficial terrestre a partir de las medidas  
15 radiométricas de campo, produciendo datos de campo, y para comparar esos datos de campo con productos satelitales que incluyen la temperatura superficial terrestre calculados a partir de medidas radiométricas satelitales, para la validación y/o calibración de los productos satelitales;

en donde la estación de medición automática incluye el radiómetro de campo (10) unido de  
20 forma articulada a un soporte rotativo (20) que a su vez está unido de forma articulada a un soporte fijo (30), estando el soporte rotativo (20) y el radiómetro de campo (10) accionados mediante un servomotor cenital (SC) y un servomotor azimutal (SA) controlados por un dispositivo de control configurado para accionar dichos servomotores cenital (SC) y azimutal (SA) para posicionar el soporte rotativo (20) y el radiómetro de campo (10) en dichas  
25 diferentes posiciones angulares cenitales y en diferentes posiciones angulares azimutales, para la obtención de datos de campo;

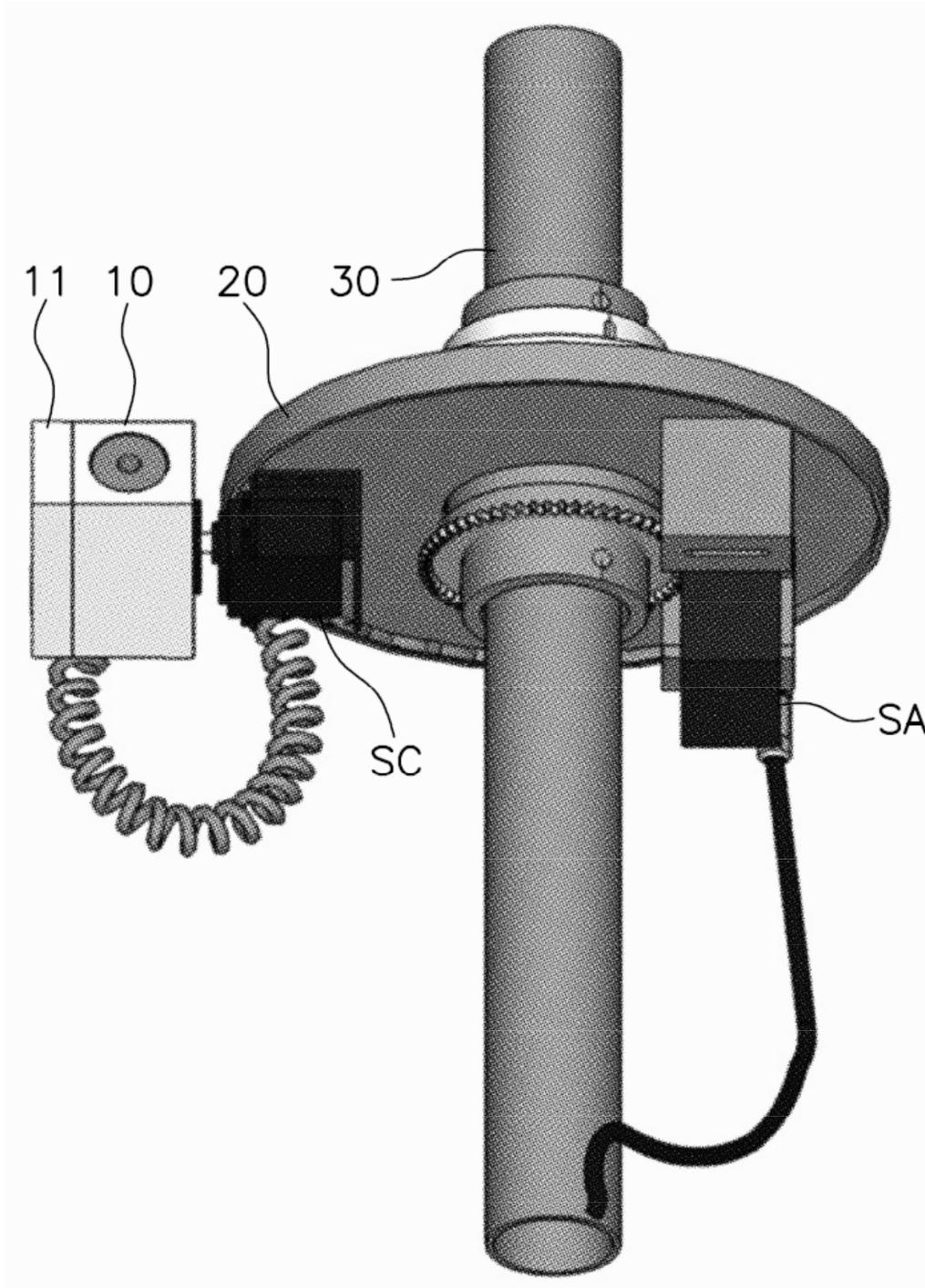
**caracterizado porque** la estación de medición automática incluye

un sensor de posición angular cenital (11) configurado para detectar una posición angular cenital del radiómetro de campo (10) y para comunicar la posición angular cenital detectada  
30 al dispositivo de control;

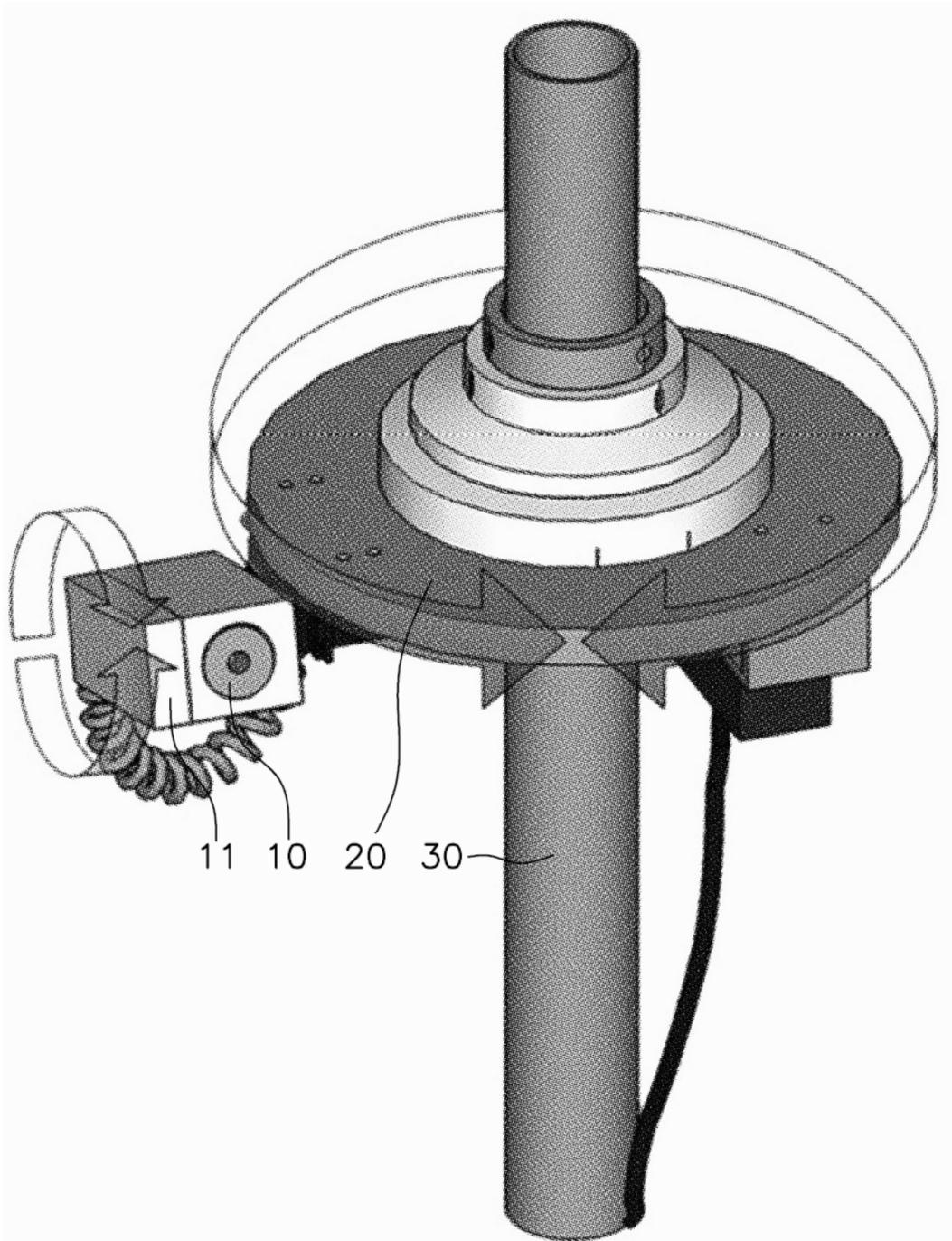
y en donde el dispositivo de control está configurado para la corrección precisa de dicha posición angular cenital del radiómetro de campo (10) en respuesta a la posición angular

cenital detectada por el sensor de posición angular cenital (11) mediante el accionamiento preciso de al menos el servomotor cenital (SC).

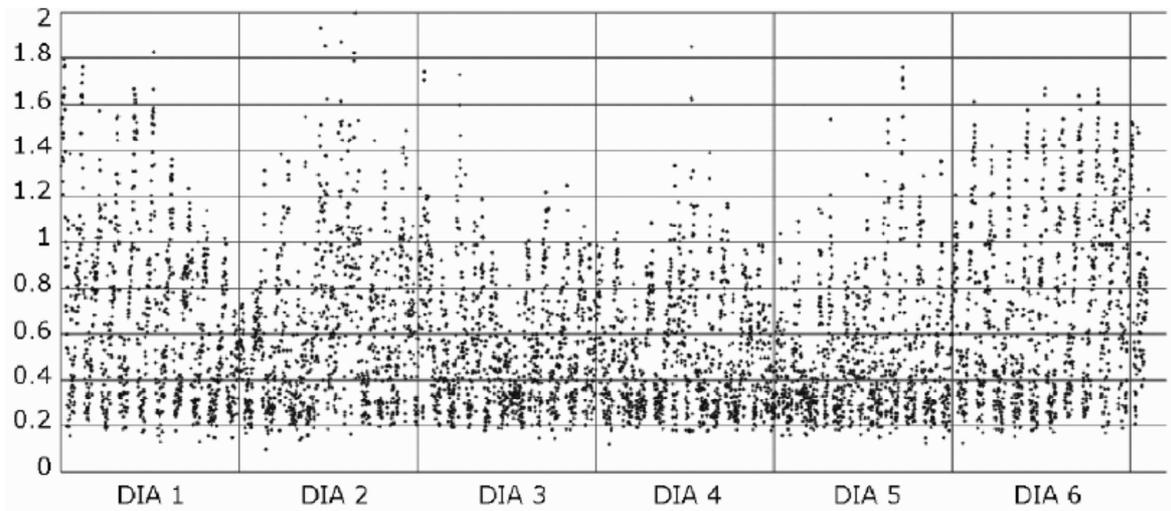
12. Sistema según reivindicación 11 en donde el sensor de posición angular cenital (11) es un acelerómetro de dos ejes unido al radiómetro de campo para la detección de su posición  
5 respecto a la vertical definida por la gravedad.



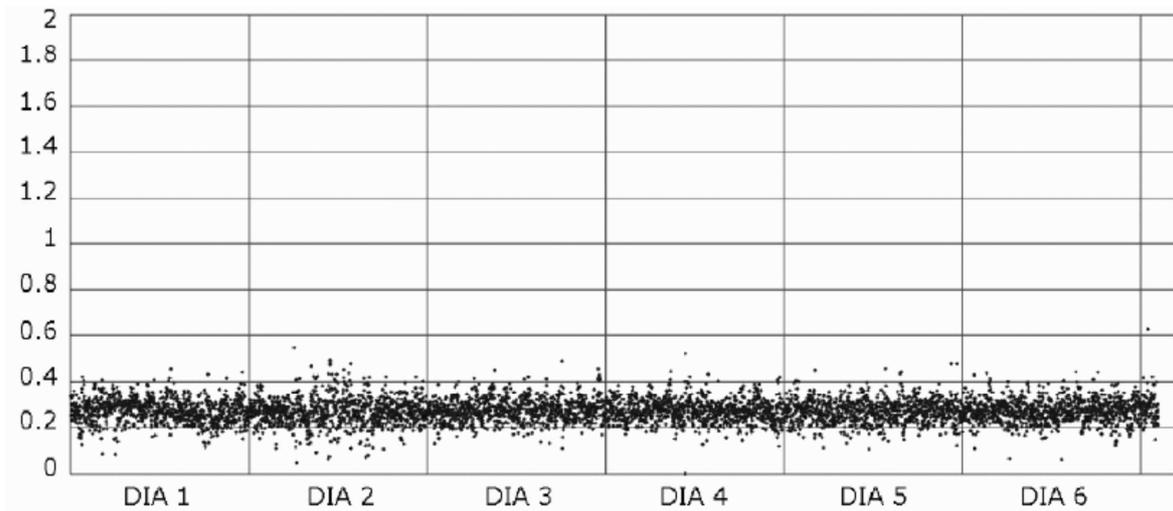
**Fig. 1**



**Fig.2**



***Fig.3***



***Fig.4***



- ②<sup>1</sup> N.º solicitud: 201830255  
②<sup>2</sup> Fecha de presentación de la solicitud: 14.03.2018  
③<sup>2</sup> Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤<sup>1</sup> Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ <sup>6</sup> Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 2004079870 A1 (SALMON NEIL A) 29/04/2004, descripción. [129]-[132]; figs. 3A, 3B	11-12
A	US 5354987 A (MACPHERSON CRAIG A) 11/10/1994, todo el documento	1-12
A	WO 9827644 A1 (RAYTHEON E SYSTEMS INC) 25/06/1998, todo el documento	1-12

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe  
15.11.2018

Examinador  
G. Madariaga Domínguez

Página  
1/2

## CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**G01W1/18** (2006.01)

**H01J3/00** (2006.01)

**G01K11/00** (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01K, G01W, H01J

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

WPI, EPODOC