

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 120**

51 Int. Cl.:

**G01W 1/10** (2006.01)

**G01W 1/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.09.2015 PCT/EP2015/071959**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.03.2016 WO16046309**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2015 E 15774549 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2019 EP 3198311**

54 Título: **Conjunto y procedimiento de detección para la identificación y el seguimiento de una nube en una zona de cielo observada**

30 Prioridad:

**26.09.2014 FR 1459124**

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

**27.11.2019**

73 Titular/es:

**REUNIWATT (100.0%)  
14 Rue de la Guadeloupe Moufia, ZAC  
Foucherolles  
97490 Saint Denis, FR**

72 Inventor/es:

**BERTIN, CLÉMENT;  
CROS, SYLVAIN;  
SCHMUTZ, NICOLAS;  
LIANDRAT, OLIVIER;  
SEBASTIEN, NICOLAS y  
LALIRE, SAMUEL**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 733 120 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

Conjunto y procedimiento de detección para la identificación y el seguimiento de una nube en una zona de cielo observada

### Antecedentes de la invención

5    Ámbito técnico

La presente invención concierne a un conjunto y un procedimiento de detección para la identificación, especialmente por la estimación de las propiedades físicas de las nubes, y el seguimiento de una o varias nubes en una zona del cielo puesta bajo observación desde el suelo.

10   La misma tiene por objeto igualmente un procedimiento que haga posible la determinación de las condiciones meteorológicas reales y realizar predicciones meteorológicas a corto plazo.

### Antecedentes tecnológicos

La evaluación de la nubosidad del cielo es realizada tradicionalmente por un observador humano desde el suelo. El contorno del horizonte que ve el observador bajo un cierto ángulo sólido delimita la bóveda celeste para la cual este observador va a evaluar la nubosidad por estimación.

15   A modo puramente ilustrativo, un cielo denominado cubierto, es decir completamente ocultado por las nubes, presenta una estimación de nubosidad igual a 8 octas. La unidad de medida de la nubosidad del cielo que es la octa corresponde por tanto a un octavo de la bóveda celeste.

Sin embargo, el carácter empírico de esta estimación es actualmente incompatible con las exigencias cada vez mayores de fiabilidad y de precisión requeridas en ciertos ámbitos de actividad.

20   A modo ilustrativo, en el ámbito aeronáutico, el piloto de una aeronave debe tener conocimiento preciso de las condiciones meteorológicas, y especialmente de la nubosidad del cielo, en las inmediaciones de un aeropuerto para posarse o despegar.

Asimismo, la producción de electricidad generada por una central fotovoltaica puede ser calificada de intermitente, porque la misma dependerá significativamente de las variaciones climáticas, en particular de la nubosidad del cielo.

25   En efecto, la sombra de una nube puede llegar a recubrir al menos parcialmente los paneles fotovoltaicos de esta central provocando de hecho una atenuación de la producción eléctrica.

Con el fin de mantener la estabilidad de la red eléctrica, el gestor de red debe entonces gobernar herramientas de soporte a la red a fin de compensar una eventual caída de la producción de electricidad de origen fotovoltaico.

30   A modo de ejemplo, estas herramientas de soporte pueden ser simples baterías que faciliten su energía a la red eléctrica en caso de disminución provisional momentánea de la producción eléctrica o turbinas de combustión térmica en caso de una disminución prevista larga de la producción eléctrica.

Ahora bien, el gobierno de estas herramientas de soporte no está actualmente optimizado, debido a la falta de herramienta fiable y precisa de la producción de electricidad de origen fotovoltaico.

35   Esta falta de datos genera costes directos (combustible consumido, envejecimiento de la instalación) e indirectos, tales como la generación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en caso de arranques innecesarios.

Sin embargo la energía fotovoltaica es una fuente de energía inagotable y relativamente limpia. Las centrales fotovoltaicas experimentan por tanto un auge significativo que aumentará todavía en los próximos años.

Estos últimos años se han propuesto soluciones técnicas con el objeto de identificar y seguir nubes en una región del cielo.

40   Se conocen así cámaras infrarrojas para registrar la señal infrarroja de nubes a fin de determinar ciertas características tales como la temperatura. De esta última, se deduce la altitud de la nube correspondiente.

Sin embargo, se constata que estas mediciones carecen de fiabilidad porque las mismas no tienen en cuenta la contribución de la atmósfera situada entre la cámara infrarroja y la o las nubes así medidas.

45   Ahora bien, la contribución de esta atmósfera puede considerarse significativa en ciertos intervalos de longitudes de onda de interés.

Existe por tato una necesidad apremiante de un conjunto y un procedimiento de detección que permitan sustraer la contribución de la atmósfera situada entre el detector y la o las nubes para identificar de manera precisa una o varias nubes en una zona del cielo observada desde el suelo y asegurar el seguimiento de cada una de las mismas.

**Objeto de la invención**

5 El objetivo de la presente invención es por tano proponer un procedimiento y un conjunto de detección para identificar y seguir desde el suelo una o varias nubes en una región de observación del cielo dada, que sean simples en su diseño y en sus modos operatorios, fiables y precisos.

10 Otro objeto de la presente invención es un conjunto de detección que funcione tanto de noche como de día, robusto y fácil de mantener, y por consiguiente, poco caro. Tal conjunto de detección permitiría así de manera ventajosa un funcionamiento automatizado en zonas alejadas.

Todavía un objeto de la presente invención es un procedimiento de previsión a corto plazo, por ejemplo a t+30 minutos, que permite determinar con una gran exactitud la futura atenuación de la luz solar sobre paneles fotovoltaicos, resultante de un efecto de sombra causado por una o varias nubes en progresión hacia una central fotovoltaica.

15 Tal procedimiento permitiría al gestor de la red de electricidad disponer de informaciones fiables sobre la previsión a corto plazo de la producción de electricidad fotovoltaica, y en consecuencia tener una gestión facilitada de las herramientas de soporte a la red.

**Breve descripción de la invención**

A tal efecto, la invención concierne a un procedimiento de detección para la identificación y el seguimiento de una o varias nubes gruesas en una zona del cielo observada desde el suelo.

20 Según la invención, se realizan entre otras las etapas siguientes:

a) recoger al menos una parte de los flujos infrarrojos térmicos emitidos en la citada zona del cielo observada y enviarlas hacia al menos un detector infrarrojo térmico que comprenda al menos un sensor sensible a los citados flujos en una banda de longitudes de onda determinada.

25 b) realizar al menos una medición de la temperatura y de la humedad relativa del aire reales a nivel del selo y deducir de las mimas la distribución vertical de la temperatura y del vapor de agua.

c) simular u obtener el conjunto de datos relativos a la señal infrarroja térmica emitida por un cielo de referencia para la citada distribución vertical de la temperatura y de vapor de agua así deducida.

30 d) sustraer del conjunto de datos medidos por el citado al menos un sensor, el conjunto de datos así simulados u obtenidos de manera que se determine la presencia o no de una o varias nubes en la citada zona de observación del cielo,

e) tratar el conjunto de los datos así obtenidos para calcular el espesor óptico y/o la altitud de cada nube en la citada zona de observación del cielo.

35 Se entiende por « en el suelo », la superficie del suelo, pudiendo presentar esta última una altitud positiva o negativa con respecto al nivel del mar, o una parte tal como la parte superior de una construcción o vivienda, por ejemplo un inmueble. El procedimiento de la presente invención no concierne por tanto a dispositivos de medición embarcados por ejemplo a bordo de una aeronave o de un satélite.

La evolución de la sombra de una nube en el suelo depende de su altitud, igual que su impacto sobre la radiación depende de su espesor óptico.

40 El presente procedimiento de detección permite de manera ventajosa mejorar la precisión de las previsiones por la determinación del espesor óptico y de la altitud de cada nube en la zona de cielo observada tras sustracción de las mediciones reales realizadas de la contribución de la atmósfera.

Dependiendo la radiación atmosférica de la columna de vapor de agua (PWV = Wp) y de la temperatura en el suelo (expresada en flujo ascendente, Ls), se puede escribir la función de correlación afin:

$$L_{\text{cielo}} = A \times L_s \times W_p + B \times W_p + C \times L_c + D$$

45 La columna de vapor de agua es medible por radiosondeo o estimable por la relación de Reitan:

$$\ln(W_p) = a \times T_{\text{dew}} + b$$

Se determina un conjunto de umbrales para segmentar las imágenes térmicas a partir de  $\Delta T_b$ , la diferencia de temperatura de brillo entre un cielo de referencia y cada nube. Estos umbrales son estimados a partir de las características técnicas del detector infrarrojo térmico.

5 Ventajosamente, el cielo de referencia es una zona de cielo clara. Preferentemente, conjuntos de datos relativos a la señal infrarroja térmica emitida por este cielo de referencia para distribuciones verticales de temperatura y de vapor de agua diferentes están almacenados en una unidad de almacenamiento. Se puede así acceder fácilmente a estos conjuntos de datos y cargar un conjunto de datos correspondiente a la distribución vertical de temperatura y de vapor de agua deducida en la etapa b).

10 Alternativamente, tales conjuntos de datos pueden ser simulados, o incluso calculados, por medios de tratamiento que comprendan una unidad de cálculo tal como un ordenador.

Por otra parte, el presente procedimiento permite a partir de mediciones reales realizadas a nivel del suelo deducir la distribución vertical de temperatura y de vapor de agua.

15 Estas mediciones de la temperatura en el suelo y de la humedad del aire a nivel del suelo permiten así de manera ventajosa reemplazar al conocimiento de la variación vertical de la temperatura y de vapor de agua obtenida típicamente por medios auxiliares y complejos de poner en práctica. A modo puramente ilustrativo, la distribución vertical es generalmente derivable de datos de satélites o incluso de datos obtenidos por balones sondas.

20 Esta deducción de la distribución vertical de la temperatura y del vapor de agua en un lugar dado a partir de mediciones reales realizadas a nivel del suelo presenta la fiabilidad requerida. La misma es realizada a partir de datos conocidos tales como perfiles atmosféricos previamente modelados obtenidos de datos de satélites y de balones sonda, promediados por estaciones y zonas climáticas; registrados en una unidad de almacenamiento y accesible a medios de tratamiento que comprendan una unidad de cálculo tal como un ordenador en el cual esté instalado un software apropiado de tratamiento de datos.

En diferentes modos de realización particulares de este procedimiento, teniendo cada uno sus ventajas particulares y susceptibles de numerosas combinaciones técnicas posibles:

25 - previamente a la etapa a), se ha calibrado el citado al menos un sensor del citado detector infrarrojo térmico poniendo en práctica una sola superficie de referencia a temperatura ambiente,

Puede tratarse de una cubierta negra colocada delante del detector infrarrojo térmico. La desviación se calcula con la temperatura del obturador medida por un termómetro.

30 - la etapa e) de tratamiento del conjunto de datos comprende una etapa de inversión del modelo de transferencia radiativa que permita determinar la distribución espacial horizontal del espesor óptico y de la altitud de la única capa de nubes o del conjunto de nubes en la citada zona de observación del cielo.

Preferentemente, para calcular el espesor óptico y la altitud de cada nube a las longitudes de onda de interés, se determina previamente el modelo de nube y se simula la radiación de cada nube en función del modelo de nube así determinado.

35 Las mediciones en el suelo facilitadas por el citado al menos un termómetro y el citado al menos un higrómetro permiten a los citados medios de tratamiento converger hacia una solución ideal por una etapa de tratamiento basada en un software que asegure la inversión de modelo de tratamiento radiativa.

40 En efecto, los perfiles verticales de temperatura y de vapor de agua deducidos de las mediciones en el suelo durante la etapa b) son elementos conocidos de la situación meteorológica. Los elementos desconocidos son la altitud y el espesor óptico de las nubes. La inversión del modelo consiste en buscar la solución ideal (par: altitud; espesor óptico) que minimice la diferencia entre la radiación infrarroja térmica simulada por el modelo de transferencia radiativa y la medida por el sensor. Para hacer esto, el software que asegure la inversión hace variar los valores del par (altitud; espesor óptico) al tiempo que mantiene constantes los valores de los perfiles verticales de temperatura/vapor de agua. Así, gracias a las mediciones de temperatura y de vapor de agua, los medios de tratamiento permiten converger hacia la solución ideal.

45 - se utiliza un sensor óptico que defina una zona de observación del cielo a partir del suelo de al menos 4,6 estereorradianes para determinar de la textura y del color de cada nube detectada por el citado sensor óptico, el tipo de nube correspondiente y deducir de los mismos un intervalo de altitudes de cada nube presente en la citada zona de observación del cielo.

50 Este sensor óptico hace posible un aprendizaje previo por el software de tratamiento de los conjuntos de datos, de las nubes susceptibles de ser detectadas en la zona de observación del cielo la cual está ligada al sitio de instalación del conjunto de detección. Se facilita así la etapa a) de tratamiento de datos.

Preferentemente, la zona de observación del cielo de al menos 4,6 estereorradianes es obtenida gracias a un sensor óptico que comprenda un objetivo hipergonar ("Fisheye")

5 Ventajosamente, este objetivo hipergonar tendrá una amplitud de campo al menos igual a 150°. A modo puramente ilustrativo, este objetivo podrá ser un objetivo hipergonar que tenga una cobertura de 180° en todas las direcciones, dando así una imagen delimitada circularmente.

La presente invención tiene por objeto todavía un conjunto de detección para la puesta en práctica del procedimiento de identificación y de seguimiento de una o varias nubes gruesas en una zona del cielo observada desde el suelo tal como se describió anteriormente, comprendiendo este conjunto:

10 - un espejo que tiene una superficie de espejo curva convexa o cónica, estando la superficie del citado espejo vuelta hacia al menos un detector infrarrojo térmico para recoger al menos una parte de los flujos infrarrojos térmicos emitidos en la citada zona del cielo observada y enviarlas hacia al menos un detector infrarrojo térmico,

- comprendiendo el citado al menos un detector infrarrojo térmico al menos un sensor sensible a los citados flujos en una banda de longitudes de onda determinada, emitiendo cada sensor señales de medición,

15 - medios de tratamiento de las señales emitidas por el citado o los citados sensores,

- al menos un termómetro y al menos un higrómetro para medir la temperatura y la humedad relativa del aire reales a nivel del suelo y conectados a los citados medios de tratamiento, y

- permitiendo los citados medios de tratamiento determinar a partir de estas mediciones la distribución vertical de temperatura y de vapor de agua para corregir a contribución de la atmosfera entre el citado conjunto y la o las nubes.

20 Este conjunto de detección que está destinado a ser colocado en el suelo, funciona ventajosamente tanto de día como de noche. La detección de noche hace posible el seguimiento de la evolución del techo de nubes antes del alba y prever así la evolución en el transcurso de las primeas horas del día.

La superficie de espejo curva convexa puede ser así una superficie de espejo formada de manera esférica, elíptica o parabólica convexa. Una superficie de espejo cónica permite ventajosamente mejorar la detección en los ángulos cenitales muy elevados, comprendidos, por ejemplo entre 60° y 90°.

25 Preferentemente, el citado al menos un termómetro y el citado al menos un higrómetro comprenden medios de comunicación inalámbrica para dirigir sus mediciones a los citados medios de tratamiento o a una unidad de almacenamiento que registre los citados datos, estando la citada unidad conectada a los citados medios de tratamiento.

30 En diferentes modos de realización particulares de este conjunto de detección, teniendo cada uno sus ventajas particulares y susceptibles de numerosas combinaciones técnicas posibles:

- el citado al menos un detector infrarrojo térmico comprende una pluralidad de elementos sensibles a la radiación infrarroja dispuestos según una matriz, siendo los citados elementos sensibles microbolómetros.

35 Tal detector infrarrojo térmico de calibración automática, por ejemplo con respecto a una superficie de referencia a temperatura ambiente, hace el presente conjunto económico y de puesta en práctica rápida porque no se requiere ninguna calibración previa con cuerpos negros.

Además, los elementos sensibles no necesitan sistema de enfriamiento, el conjunto es de una utilización muy simple y puede funcionar de manera totalmente autónoma.

- el conjunto comprende una rueda con filtros que comprende al menos dos filtros distintos.

40 Cada filtro permite filtrar de manera selectiva los flujos infrarrojos térmicos recibidos por el citado detector antes de que estos flujos sean recibidos por el citado al menos un sensor del citado detector infrarrojo térmico.

45 Preferentemente, este detector infrarrojo térmico comprende una unidad de almacenamiento que comprende datos relativos a los filtros, de uno o varios objetos de destino en el cielo, medidos por medio de cada filtro y datos que permiten identificar el filtro de la citada rueda que debe seleccionarse para la medición de un objeto de destino particular en el cielo. Estos últimos datos pueden ser dirigidos a un elemento de desplazamiento de la citada rueda de filtros de modo que los medios de tratamiento dirijan una señal de control a este elemento de desplazamiento, la citada rueda de filtros es desplazada por estos elementos de desplazamiento de modo que se sitúe un filtro adecuado para la medición del citado objeto de destino en la zona del cielo observada.

Asimismo, la unidad de almacenamiento puede comprender un conjunto de datos relativos a la regulación del detector infrarrojo térmico en función del filtro de la citada rueda seleccionada.

- al menos las citadas señales emitidas por el citado o los citados sensores son señales de comunicación inalámbrica, comprendiendo los citados medios de tratamiento medios de recepción para recibir las citadas señales de comunicación inalámbrica emitidas por el citado o los citados sensores.

5 Estas señales de comunicación inalámbrica pueden estar basadas en los protocolos siguientes: IEEE 802.11 b/g/n (Wi-Fi), IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.16 (WiMax), ZigBee IEEE 802.15.4 o también GSM o GPRS.

Naturalmente, los citados medios de tratamiento pueden comprender medios para emitir y recibir señales de comunicación inalámbrica.

- siendo D la distancia que separa el citado al menos un detector del citado espejo y A el ángulo de apertura del citado al menos un detector, el citado espejo presenta un radio R al menos igual a  $D \times \operatorname{tg}(A/2)$ .

10 Para una dimensión reducida dada, se mejora así significativamente la resolución del conjunto de detección.

- el citado conjunto comprende medios de comunicación en una red móvil de tipo GSM/GPRS/UMTS, una red alámbrica fija o también en una red de comunicación inalámbrica de tipo Wi-Fi para recoger datos, tales como datos meteorológicos del lugar de despliegue del citado conjunto, y/o enviar datos (tales como imágenes o mediciones), relacionadas con los resultados obtenidos por los citados medios de tratamiento.

15 Preferentemente, este conjunto comprende igualmente una unidad de almacenamiento para registrar en la misma los citados datos, estando conectada la citada unidad de almacenamiento a los citados medios de tratamiento de modo que estos últimos puedan acceder a estos datos y eventualmente almacenar en la misma otros datos.

20 Preferentemente, el citado conjunto comprende un fotómetro, un sistema de medición LIDAR o RADAR para obtener datos complementarios que serán utilizados en la determinación de las propiedades de la o las nubes presentes en la citada zona del cielo observada.

La presente invención concierne también a un procedimiento de previsión de la posición de una o varias nubes en el cielo.

25 Según la invención, a partir del conjunto de datos obtenidos en un instante t por el procedimiento de identificación y de seguimiento de una o varias nubes en una zona del cielo observada desde el suelo, tal como se describió anteriormente, se determina el desplazamiento y la evolución en un instante  $t + \Delta t$  de cada una de las nubes de la citada zona de observación.

30 A modo puramente ilustrativo, esta estimación del movimiento de las nubes es realizada a partir de imágenes de la zona de cielo obtenidas de manera consecutiva a partir del detector infrarrojo térmico y de un procedimiento de tratamiento de imágenes conocido con el nombre de « flujo óptico » para detectar el movimiento de una nube en esta zona.

La presente invención encuentra aplicaciones en diferentes ámbitos técnicos:

- vigilancia aeroportuaria: vigilancia automática del estado del cielo,

- determinación o predicción de las ventanas temporales favorables para la comunicación láser entre un satélite y un terminal de recepción de comunicaciones ópticas,

35 - recepción por terminal embarcado, por ejemplo a bordo de una aeronave, de señales que provienen del suelo,

- astronomía.

### Breve descripción de los dibujos

40 Otras ventajas, objetivos y características particulares de la presente invención se pondrán de manifiesto en la descripción que sigue hecha, con fines explicativos y en modo alguno limitativos, en relación con los dibujos anejos, en los cuales:

- la figura 1 representa esquemáticamente un conjunto de detección para la caracterización y el seguimiento de nubes en una zona del cielo observada desde el suelo según un modo de realización particular de la presente invención;

- la figura 2 muestra una imagen bruta obtenida con el conjunto de detección de la Fig. 1,

45 - la figura 3 muestra la señal infrarroja térmica emitida por un cielo claro para una distribución vertical de temperatura y de vapor de agua determinada a partir de mediciones reales realizadas con el termómetro y el higrómetro del conjunto de la Fig. 1;

- la figura 4 muestra, a partir de un gran número de mediciones de temperaturas de brillo, la determinación empírica de los gradientes de temperatura de brillo en función del ángulo cenital, para diferentes clases de temperatura de brillo;

- la Fig. 5 muestra las temperaturas de brillo equivalentes en el cenit para la imagen representada en la Fig. 2;
- la Fig. 6 muestra una imagen corregida de la zona del cielo observada desde el suelo obtenida a partir de la Figura 3.

**Descripción detallada de modo de realización de la invención**

5 En primer lugar, se señala que las figuras no están a escala.

La figura 1 muestra un conjunto de detección para la caracterización y el seguimiento de nubes en una zona del cielo, observada desde el suelo según un modo de realización particular de la presente invención.

El conjunto de detección comprende un espejo 10 que tiene una superficie de espejo 11 esférica curva.

10 La superficie del espejo 11 está orientada hacia una cámara 12 infrarroja térmica colocada en el eje óptico de este espejo a una distancia d de esta superficie de espejo 11 que asegura la compacidad del conjunto de detección.

Ventajosamente, siendo el ángulo de apertura de la cámara 12 infrarroja térmica igual aquí a 62° y siendo la distancia d que separa esta cámara 12 del espejo 10 de 0,3 m para conservar la compacidad de conjunto, el diámetro de espejo esférico es de 0,36 m.

15 La superficie de este espejo 11 asegura la recogida de al menos una parte de los flujos infrarrojos térmicos emitidos en la zona del cielo observada desde el suelo y reenvía los flujos recogidos hacia la cámara 12 infrarroja térmica.

Esta cámara 12 infrarroja térmica comprende sensores (no representados) sensibles a estos flujos infrarrojos térmicos en una banda de longitudes de onda determinada, emitiendo cada sensor señales de medición. De manera ventajosa, estos sensores son aquí microbolómetros dispuestos en forma de una matriz.

20 El espejo 10 esférico convexo está revestido de un revestimiento óptico reflectante en una banda de longitudes de onda adecuada para la medición infrarroja con la cámara 12 infrarroja térmica.

A modo de ejemplo, este revestimiento óptico es reflectante al menos en la banda de longitudes de onda a la cual son sensibles los sensores de la cámara, por ejemplo entre 7,5 micras y 14 micras, y todavía mejor entre 9 micras y 14 micras.

25 El conjunto comprende todavía medios 13 de tratamiento de las señales emitidas por los sensores. Estos medios 13 de tratamiento comprenden aquí un ordenador en el cual son ejecutados uno o varios programas de tratamiento de datos para tratar las señales recibidas de los sensores, almacenarlas y o enviarlas a distancia por un medio de comunicación.

30 El conjunto comprende también un termómetro 14 y un higrómetro 15 que están colocados en la proximidad inmediata del espejo 10 para medir la temperatura y la humedad relativa del aire reales a nivel del suelo. Estos dos instrumentos están conectados igualmente a los citados medios 13 de tratamiento, los cuales reciben las señales emitidas por estos instrumentos para almacenarlas y tratarlas.

Los medios 13 de tratamiento que permiten determinar a partir de estas mediciones reales realizadas a nivel del suelo, la distribución vertical de temperatura y de vapor de agua que servirá para la corrección de la contribución de la atmósfera entre el citado conjunto y la o las nubes.

35 Las Figuras 2 a 6 muestran un ejemplo de medición realizada con el conjunto de detección anteriormente descrito.

Aunque da buenos resultados, la corrección de la contribución atmosférica con un cielo de referencia tal como un cielo claro, puede ser mejorada todavía por una corrección adaptativa que permita encontrar la temperatura cenital adecuada en función de la situación (nube o cielo claro):

$$T = (T_h - a) \times (\theta/90)^b + a$$

40 Con  $T_h$  temperatura en el horizonte (K), b parámetro empírico del gradiente,  $\theta$  ángulo cenital (rad) y a la temperatura en el cenit (K).

La temperatura de brillo ha descrito el estado de la nube en términos de altitud y de espesor óptico en el cenit.

La temperatura mínima es la del cielo claro (sin nubes), la temperatura máxima es la de la nube más baja y opaca. Todas las temperaturas intermedias corresponden a pares altitud / espesor óptico.

45 Esta corrección permite conocer la temperatura de brillo equivalente para un ángulo cenital dado.

La figura 4 muestra, a partir de un gran número de mediciones de temperaturas de brillo (una medición representada por un punto), la determinación empírica de gradientes de temperatura de brillo (señal infrarroja térmica) en función

del ángulo cenital, para diferentes clases de temperatura de brillo. Este gradiente es visible en los casos de cielo claro como muestra la figura 3.

Para cada pixel de la imagen, se realizan las etapas siguientes:

- calcular un gradiente de referencia para cada temperatura de brillo cenital del vector a, y
- 5 - comparar el pixel con los gradientes de referencia (curvas en línea de puntos en la Figura 4, representando el eje de las x el ángulo cenital (rad), representando el eje de las ordenadas la temperatura (K)).

El pixel que será retenido para la corrección es la temperatura de brillo en el cenit del gradiente más próximo.

Una vez que el modelo coincida con la información comprendida en la imagen, se puede encontrar las temperaturas de brillo equivalentes en el cenit a para toda la imagen (véase a figura 5, representando el eje de las x el ángulo cenital (rad), representando el eje de las ordenadas la temperatura (K)).

La figura 6 muestra la imagen corregida después del tratamiento.

En variante, en lugar de obtener la luminancia en cielo claro sintetizando la distribución vertical de la temperatura y de la humedad y utilizando estos perfiles como entrada del modelo de transferencia radiativa, es posible, en el marco de la presente invención, simular todas las luminancias en cielo claro posibles a partir de un gran número de perfiles obtenidos por datos meteorológicas disponibles en archivo. En el marco de esta variante, se busca la correlación entre las luminancias simuladas y las temperaturas de punto de rocío, medidas y asociadas al mismo lugar y en el mismo instante. Se deduce de esto una relación empírica (cuadrática) entre temperatura de punto de rocío y luminancia en cielo claro.

Los medios de medición, puestos en práctica en el marco del procedimiento según la presente invención, miden la temperatura y la humedad en el suelo. Se deduce de las mismas la temperatura del punto de rocío a partir de la fórmula de Magnus-Tetens. A partir de la relación empírica, se obtiene la luminancia en cielo claro correspondiente a esta temperatura de punto de rocío.

Según la invención, la etapa e) de tratamiento del conjunto de los datos comprende una etapa de inversión del modelo de transferencia radiativa que permite determinar la distribución espacial horizontal del espesor óptico y de la altitud de la única capa de nubes o del conjunto de nubes gruesas en la citada zona de observación del cielo. Una nube se denomina « gruesa » si la temperatura de su base percibida por el instrumento es superior a un umbral definido previamente para un punto del cielo y un instante dados. Previamente, para un lugar dado, la luminancia de cualquier tipo de nube gruesa (realista para una estación y condiciones locales dadas) es modelada por un modelo de transferencia radiativa a partir de las propiedades físicas (al menos la altitud y el espesor geométrico) y microfísicas (al menos el diámetro de las partículas de agua o de hielo que constituyen la nube, la concentración en partículas y el espesor óptico de las nubes). Los valores de estas propiedades son elegidos de manera que sean realistas para una nube con respecto a la estación, en el lugar geográfico considerado y en las condiciones meteorológicas en el instante considerado. Esta modelación de luminancia es efectuada después para diferentes altitudes. La luminancia de la parte atmosférica clara (sin nubes) debajo de la nube es también modelada. En el marco del procedimiento según la presente invención, se postula una relación entre la luminancia percibida por el instrumento de medición, y las luminancias modeladas de una nube gruesa y de su capa atmosférica situada debajo:

$$L_{\text{instrumento}} = L_{\text{nube gruesa}} + L_{\text{cielo claro debajo de la nube}} = L_{\text{nubegruesa}} + X * L_{\text{cielo claro total}}$$

La construcción de "look-up table" (o ábaco o tabla de correspondencia) hace corresponder para un valor de luminancia en cielo claro dada: la altitud, la luminancia percibida por el instrumento de medición, x, la luminancia de la atmósfera debajo de la nube y la luminancia de la nube. Todas las "look-up tables" (o ábacos o tablas de correspondencia) necesarias son construidas previamente, al menos una por valor de luminancia en cielo claro realista.

Una vez efectuada la medición de luminancia percibida por el instrumento de medición, se toma de nuevo el valor de luminancia en cielo claro conocida para elegir la look-up table adecuada (o ábaco o tabla de correspondencia) y deducir de la misma la altitud de la nube.

En tiempo claro, el instrumento puesto en práctica en el marco del procedimiento según la presente invención puede percibir una estela de condensación seguida al paso de un avión (conocida con el nombre de « contrail » en terminología anglosajona). Si se percibe una « contrail », la consulta de datos públicos sobre el tráfico aéreo tales como las disponibles en [www.flightradar24.com](http://www.flightradar24.com) permite conocer más o menos 30 cm (1 pie) la altitud del avión que ha generado esta « contrail » y por tanto la altitud de la nube observada. La luminancia de esta nube artificial percibida por el instrumento de medición permite entonces deducir una asociación verificada entre luminancia y altitud de la nube. Esto permite establecer un punto de calibración para las altas altitudes (aproximadamente 12000 m). Esto aporta así una información suplementaria para las nubes observadas en el mismo campo de visión o bien en las horas que siguen o que preceden al paso de este avión, suponiendo que el estado de la atmósfera no haya modificado significativamente la luminancia en cielo claro.



**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de detección para la identificación y el seguimiento de una o varias nubes gruesas en una zona del cielo observada desde el suelo, en el cual se realizan las etapas siguientes:

- 5 a) recoger al menos una parte de los flujos infrarrojos térmicos emitidos en la citada zona del cielo observada y enviarlas hacia al menos un detector (12) infrarrojo térmico, comprendiendo el citado al menos un detector (12) infrarrojo térmico al menos un sensor sensible a los citados flujos en una banda de longitudes de onda determinada,
- b) realizar al menos una medición de la temperatura y de la humedad relativa del aire reales a nivel del suelo y deducir de las mismas la distribución vertical de la temperatura y del vapor de agua,
- 10 c) simular u obtener el conjunto de datos relativos a la señal infrarroja térmica emitida por un cielo de referencia para la citada distribución vertical de temperatura y de vapor de agua así deducida.
- d) sustraer del conjunto de datos medidos por el citado al menos un sensor, el conjunto de datos así simulados u obtenidos de manera que se determine la presencia o no de una o varias nubes en la citada zona de observación del cielo,
- 15 e) tratar el conjunto de los datos así obtenidos para calcular el espesor óptico y la altitud de cada nube en la citada zona de observación del cielo,

estando caracterizado el citado procedimiento por que la etapa a) de tratamiento del conjunto de los datos comprende una etapa de determinación de la altitud de una nube postulando una relación entre la luminancia percibida por el instrumento de medición, y las luminancias modeladas de una nube gruesa y de su capa atmosférica situada por debajo, que está definida como:

20

$$L_{\text{instrumento}} = L_{\text{nube gruesa}} + L_{\text{cielo claro debajo de la nube}} = L_{\text{nube gruesa}} + X * L_{\text{cielo claro total}}$$

haciendo corresponder la construcción de una tabla de correspondencia para un valor de luminancia en cielo claro dada: la altitud, la luminancia percibida por el instrumento de medición, el valor x, la luminancia de la atmósfera debajo de la nube y la luminancia de la nube, y por que una vez efectuada la medición de luminancia percibida por el instrumento de medición, se toma de nuevo el valor de la luminancia en cielo claro conocida para elegir la tabla de correspondencia adecuada y deducir de la misma la altitud de la nube.

25

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que previamente a la etapa a), se ha calibrado el citado al menos un sensor del citado detector (12) infrarrojo térmico poniendo en práctica una sola superficie de referencia a temperatura ambiente.

30

3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que la etapa e) de tratamiento del conjunto de los datos comprende una etapa de inversión del modelo de transferencia radiativa que permite determinar la distribución espacial horizontal del espesor óptico y de la altitud de la única capa de nubes o del conjunto de nubes en la citada zona de observación del cielo

35

4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que para calcular el espesor óptico y la altitud de cada nube a las longitudes de onda de interés, se determina previamente el modelo de nube y se simula la radiación de cada nube en función del modelo de nube así determinado.

40

5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que se utiliza un sensor óptico que define una zona de observación del cielo a partir del suelo de al menos 4,6 estereorradianes para determinar a partir de la textura y del color de cada nube detectada por el citado sensor óptico, el tipo de nube correspondiente para deducir del mismo un intervalo de altitudes de cada nube presente en la citada zona de observación del cielo.

45

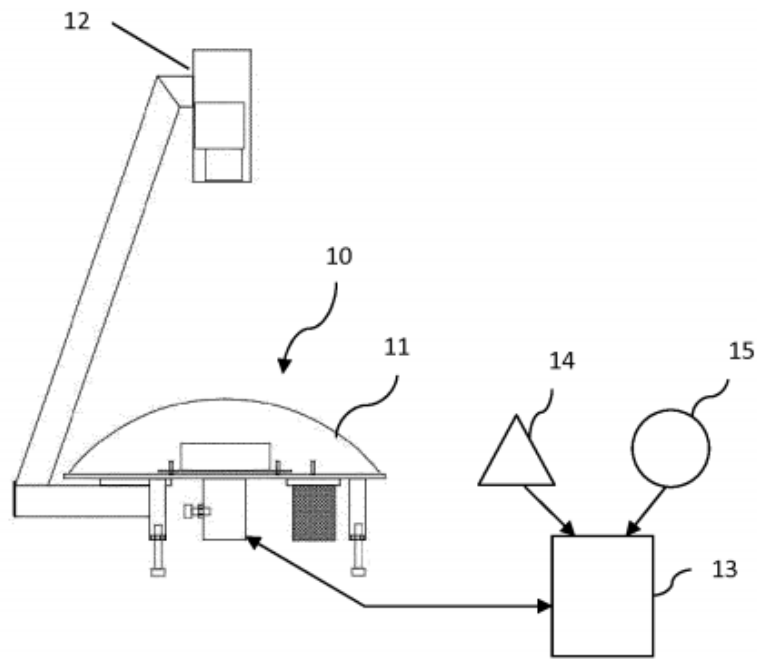
6. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la etapa e) de tratamiento del conjunto de los datos comprende una etapa de establecimiento de un punto de calibración analizando una estela de condensación tras el paso de un avión.

50

7. Conjunto de detección para la puesta en práctica del procedimiento de identificación y de seguimiento de una o varias nubes gruesas en una zona del cielo observada desde el suelo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, comprendiendo el citado conjunto:

- un espejo (11) que tiene una superficie de espejo (11) curva convexa o cónica, estando la superficie del citado espejo (11) vuelta hacia al menos un detector (12) infrarrojo térmico para recoger al menos una parte de los flujos infrarrojos térmicos emitidos en la citada zona del cielo observada y enviarles hacia al menos un detector (12) infrarrojo térmico,

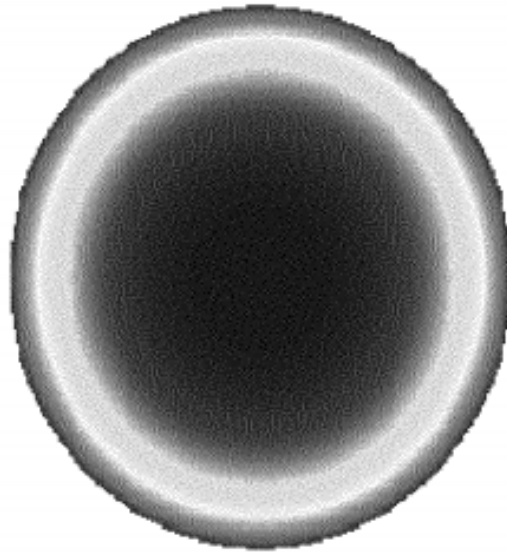
- comprendiendo el citado al menos un detector (12) infrarrojo térmico al menos un sensor sensible a los citados flujos en una banda de longitudes de onda determinada, emitiendo cada sensor señales de medición,
  - medios de tratamiento (13) de las señales emitidas por el citado o los citados sensores,
- 5
- al menos un termómetro (14) y al menos un higrómetro (15) para medir la temperatura y la humedad relativa del aire reales a nivel del suelo y conectados a los citados medios de tratamiento, y
  - permitiendo los citados medios de tratamiento (13) determinar a partir de estas mediciones la distribución vertical de temperatura y de vapor de agua para corregir la contribución de la atmosfera entre el citado conjunto y la o las nubes.
- 10
8. Conjunto según la reivindicación 7, caracterizado por que el citado al menos un detector (12) infrarrojo térmico comprende una pluralidad de elementos sensibles a la radiación infrarroja dispuestos según una matriz, siendo los citados elementos sensibles microbolómetros.
- 15
9. Conjunto según las reivindicaciones 7 u 8, caracterizado por que al menos las citadas señales emitidas por el citado o los citados sensores son señales de comunicación inalámbrica, comprendiendo los citados medios de tratamiento (13) medios de recepción para recibir las citadas señales de comunicación inalámbrica emitidas por el o los citados sensores.
- 20
10. Conjunto según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado por que siendo D la distancia que separa el citado al menos un detector (12) del citado espejo (11) y siendo A el ángulo de apertura del citado al menos un detector (12), el citado espejo (11) presenta un radio R al menos igual a  $D \times \operatorname{tg}(A/2)$ .
- 25
11. Conjunto según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizado por que el citado conjunto comprende medios de comunicación en una red móvil de tipo GSM/GPRS/UMTS, una red alámbrica fija o incluso en una red de comunicación inalámbrica de tipo Wi-Fi para recoger datos, tales como datos meteorológicos del lugar de despliegue del citado conjunto, y/o enviar datos ligados a los resultados obtenidos por los citados medios de tratamiento.
12. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que se determina a partir del conjunto de datos así obtenido en un instante t el desplazamiento y la evolución en un instante  $t + \Delta t$  de cada una de las nubes gruesas de la citada zona de observación.



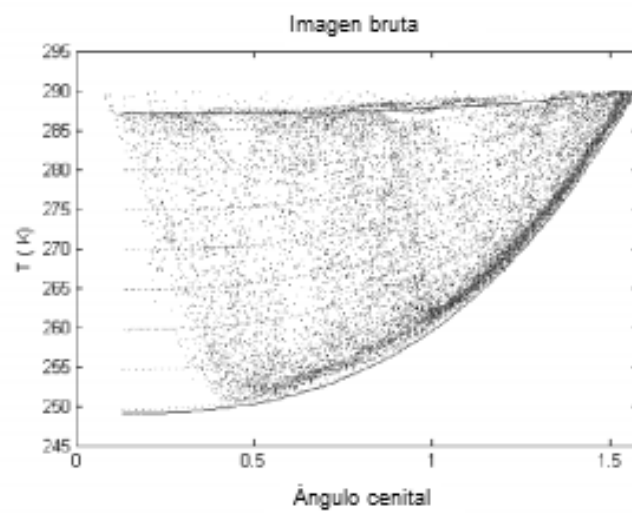
**Figura 1**



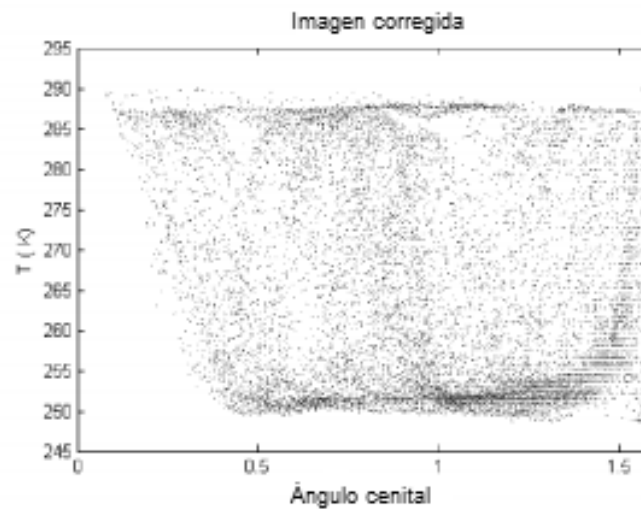
**Figura 2**



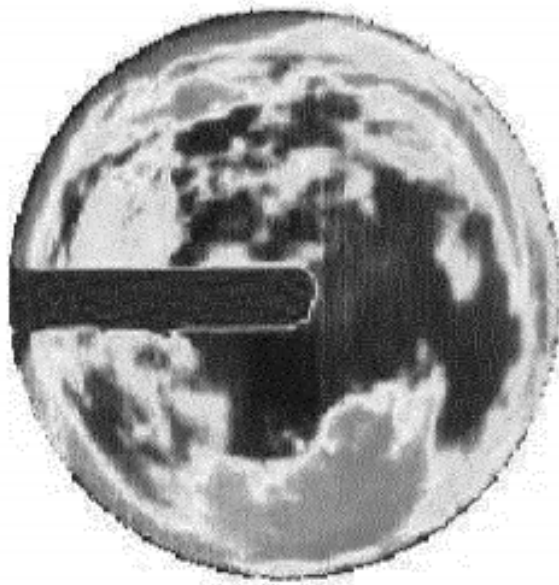
**Figura 3**



**Figura 4**



**Figura 5**



**Figura 6**