



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



① Número de publicación: **2 342 242**

② Número de solicitud: 200700396

⑤ Int. Cl.:

G01P 5/08 (2006.01)

G01N 25/18 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

② Fecha de presentación: **14.02.2007**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **02.07.2010**

④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
02.07.2010

⑦ Solicitante/s:
Universidad Politécnica de Cartagena
Edificio "La Milagrosa"
Plaza Cronista Isidoro Valverde, s/n
30202 Cartagena, Murcia, ES

⑦ Inventor/es: **Baille, Alain;**
González Real, María Milagros;
Martín Górriz, Bernardo;
Molina Martínez, José Miguel y
Illán Gómez, Fernando

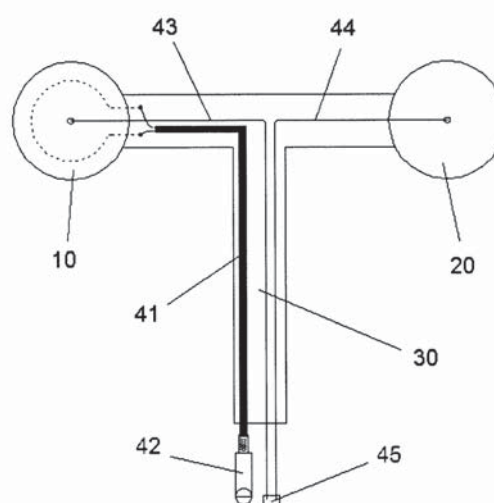
⑦ Agente: **Temño Cenicerros, Ignacio**

⑤ Título: **Dispositivo y procedimiento para medir la velocidad del aire.**

⑤ Resumen:

Dispositivo y procedimiento para medir la velocidad del aire.

Dispositivo para medir la velocidad del aire que comprende dos discos metálicos (10, 20) que se utilizan para medir la conductancia de capa límite del aire en su superficie, de manera que en funcionamiento se aporta controladamente calor a uno de los discos mientras que el otro se deja interaccionar libremente con el entorno, y un soporte manual (30) provisto de un mango y dos brazos, en forma de "T", de manera que los discos se disponen sobre dichos brazos. El dispositivo funciona de acuerdo con un procedimiento que comprende una etapa de cálculo de la conductancia de capa límite del aire en la superficie de los discos, a partir del balance de energía de los mismos y de la diferencia de temperatura entre ellos, y una etapa de determinación empírica de la velocidad del aire en función de la conductancia de capa límite en la superficie de los discos.



ES 2 342 242 A1

DESCRIPCIÓN

Dispositivo y procedimiento para medir la velocidad del aire.

5 La presente invención se refiere a un dispositivo para medir la velocidad del aire que comprende dos placas metálicas que se utilizan para medir la conductancia de capa límite del aire en su superficie, de manera que en funcionamiento se aporta controladamente calor a una de las placas mientras que la otra placa se deja interaccionar libremente con el entorno. La invención también se refiere a un procedimiento para medir la velocidad del aire, cuando esta velocidad es muy baja.

10 La medida de la conductancia de capa límite se emplea para determinar la velocidad del aire.

Estado de la técnica anterior

15 Los intercambios de energía en la superficie de un organismo (planta, animal, ser humano) rigen el nivel al que se establece su temperatura. El balance energético en la superficie implica varios flujos de energía, que se descomponen en flujos de tipo radiante (radiación solar y de longitud de onda larga), convectivo (convección de calor sensible y de calor latente), conductivo y metabólico (p.e. fotosíntesis de una hoja).

20 La temperatura de superficie del organismo es la resultante del balance de energía, y se trata de una variable clave en lo que se refiere al funcionamiento y a la respuesta fisiológica del mismo (termorregulación). Es conocido que la fotosíntesis y la transpiración de una hoja vegetal, o la transpiración del ser humano o de un animal, dependen en gran parte de su temperatura superficial.

25 La velocidad del aire (V) tiene una influencia determinante en el nivel en el que se establecen los flujos de convección y, por tanto, en la temperatura de superficie del cuerpo considerado. En espacios cerrados o poco ventilados la velocidad del aire es muy baja (en el intervalo $0,05$ a $0,50$ m s^{-1}), y su medida es muy difícil, lo que impide tener un control óptimo de los intercambios de energía en espacios como invernaderos o granjas. Sin embargo, conocer esta velocidad permite precisar el balance de energía del cuerpo, así como su estado de estrés fisiológico, en un ambiente determinado.

30 Son conocidos sistemas para medir la velocidad del aire que se basan en medir un gradiente de temperatura sobre una superficie caliente, pero estos métodos no son lo suficientemente precisos para medir velocidades muy bajas.

35 También son conocidos medidores térmicos de flujo provistos de una varilla que incorpora un sensor de temperatura y un calentador, de manera que la varilla se sumerge en una corriente de fluido y un circuito detecta la respuesta del sensor a la temperatura como función del caudal del fluido, pero la medida que proporcionan tiene más interés cualitativo que exactitud cuantitativa.

40 Por otra parte, en 1990 Leuning y Foster (*Agricultural and Forest Meteorology*, 51, pg. 63-86) describieron, en el campo de la investigación agronómica, la utilización de un par de réplicas metálicas de hojas vegetales, una de ellas calentada artificialmente, para obtener una solución del balance de energía para la conductancia de capa límite del aire en la superficie de las hojas. La conductancia de capa límite (g) se define como la inversa de la resistencia a la transferencia de calor en la capa límite.

45 Los regímenes de convección se clasifican clásicamente en los de convección (i) natural ($V \approx 0$ m s^{-1}) (ii) mixta (combinación de convección libre y forzada, $V < 0.2$ m s^{-1}) y (iii) forzada ($V > 0.2$ m s^{-1}). La intensidad de los flujos de convección sensible en los diferentes regímenes se caracteriza generalmente por fórmulas que involucran números adimensionales como los de Nusselt, Reynolds y Grashoff. Existen ecuaciones empíricas que relacionan estos números, para diferentes formas de cuerpos (placa plana, cilindro, esfera, etc). Estas ecuaciones indican que la intensidad de los intercambios de calor depende del valor de la conductancia de capa límite y del gradiente de temperatura.

55 La conductancia de capa límite se considera generalmente como una función:

- en régimen de convección natural, del gradiente de temperatura.
- en régimen de convección mixta, de la velocidad del aire y del gradiente de temperatura.
- en régimen de convección forzada, de la velocidad del aire.

60 En 1995, Brenner y Jarvis (*Agricultural and Forest Meteorology*, 72, pg. 261-275), describieron un procedimiento para la estimación de la conductancia de capa límite de hojas de mijo en el campo a base de medir la diferencia de temperatura entre una réplica metálica de una hoja de mijo que es calentada con una corriente eléctrica y una réplica idéntica pero sin calentar. Las réplicas consistían en un par de tiras de latón montadas en un bastidor metálico, y sobre una de ellas se había adherido un cable a modo de resistencia calefactora. Varios termopares, sujetos a la parte inferior

de las tiras, medían la diferencia de temperatura entre ellas. El propósito de la investigación de Brenner y Jarvis era obtener un sistema fiable para medir las conductancias de capa límite de las hojas de los cultivos en los campos.

5 Descripción de la invención

Un objetivo de la presente invención es el de proporcionar un sistema para determinar en tiempo real la velocidad del aire en espacios cerrados, en los que dicha velocidad es muy baja, que sea de fácil manejo y no requiera una instalación complicada.

10

Conocer la velocidad del aire en tiempo real, a modo por ejemplo de señal en continuo, permite efectuar un control en tiempo real de, por ejemplo, la tasa de renovación del aire en un espacio cerrado, como puede ser un invernadero.

15

Según un aspecto de la invención, un dispositivo sensor de la conductancia de capa límite comprende un soporte manual provisto de un mango y dos brazos, de manera que las placas se disponen sobre dichos brazos, una placa en cada brazo, y en funcionamiento se sitúa el soporte en un ambiente donde se desee medir la velocidad del aire.

20

Al ser portátil y de pequeño tamaño, el sensor de la invención se puede colocar, por ejemplo, entre las filas de cultivo de un invernadero, cuyo espacio es reducido. Además, como el calentamiento de la placa que se calienta es rápido y homogéneo, se puede medir continuamente la diferencia de temperatura entre las dos placas.

Preferiblemente, las dos placas son sustancialmente de la misma forma, material y tamaño, lo cual hace más fiable la comparación de sus temperaturas.

25

En una realización, el soporte tiene forma de "T", lo cual facilita simultáneamente el manejo manual del sensor y la correcta colocación de las placas en el ambiente en el que se desea medir la velocidad del aire.

30

Preferiblemente las placas se disponen en el plano de la "T", y en el procedimiento de medida se colocan en posición horizontal, ya que así se minimiza la influencia de la placa caliente sobre la placa fría.

35

Ventajosamente las placas tienen forma de disco. Esta forma favorece la uniformidad y la homogeneidad en el calentamiento del disco, y además presenta un perímetro mínimo para una área determinada, lo que reduce los efectos de borde.

40

Como se ha mencionado, uno de los discos recibe calor en forma de energía eléctrica; dicho disco incorpora un termopar y una resistencia eléctrica, estando el termopar alojado en una ranura radial del disco y la resistencia alojada en una ranura circular del disco, de manera que la conexión con el exterior del termopar y de la resistencia se produce en la misma zona del disco.

45

El otro disco, al que no se aporta calor, incorpora únicamente un termopar alojado en una ranura radial.

Ventajosamente, cada disco se tapa con otro disco igual pero homogéneo, sin ranuras, de manera que la unión de los discos se produce por adhesión. El disco adicional sirve de apoyo y refuerzo del disco principal.

50

La resistencia eléctrica del disco que se calienta se conecta a una fuente de energía eléctrica, y los termopares se conectan a un circuito de control.

55

En una realización el material de las placas es aluminio, cuya combinación de propiedades térmicas (por ejemplo conductividad), mecánicas (rigidez y resistencia) y económicas (precio y disponibilidad) es particularmente atractiva.

Según otro aspecto de la invención, en un procedimiento para medir la velocidad del aire se utiliza un dispositivo para medir la velocidad del aire del tipo descrito en párrafos anteriores de este apartado.

60

En una realización, dicho procedimiento comprende una etapa de aporte de calor, en forma de una cantidad conocida de energía eléctrica, a una primera placa metálica, mientras que una segunda placa metálica, situada en la vecindad de la primera placa, sólo recibe la energía que intercambia libremente con su entorno. Toda la placa es calentada uniforme y simultáneamente, no por sectores sucesivos.

65

En el procedimiento se calcula la conductancia de capa límite del aire en la superficie de las placas, a partir del balance de energía de las dos placas y de la diferencia de temperatura entre ellas, y se puede determinar empíricamente la velocidad del aire en función de la conductancia de capa límite en la superficie de las placas.

Ventajosamente, el procedimiento comprende una etapa de exportación de la medida de la conductancia de capa límite en forma de señal analógica. Dicha señal analógica admite ser integrada y procesada en sistemas de regulación del clima y del ambiente, por medio de algoritmos de control basados, por ejemplo, en índices de estrés o de confort.

En definitiva, el dispositivo y el procedimiento de la invención proporcionan una medida en continuo de la conductancia de capa límite del aire, y permiten una medida simultánea de la conductancia de capa límite y de la velocidad

ES 2 342 242 A1

del aire en espacios cerrados. El dispositivo, además, ofrece una buena resistencia en condiciones de uso extremas, como por ejemplo en el interior de invernaderos.

5 Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirá, a título de ejemplo no limitativo, una realización de la invención, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- 10 la figura 1 representa una realización del dispositivo de la invención; y
la figura 2 representa los dos discos del sensor de conductancia.

15 Descripción de realizaciones preferidas

20 Un dispositivo de acuerdo con la invención incluye un sensor de conductancia de capa límite y de velocidad del aire que comprende dos discos de aluminio: un primer disco 10 calentado por una resistencia eléctrica y un segundo disco 20 a temperatura ambiente. Cada uno de los discos se coloca en los extremos de un soporte 30 de material plástico en forma de "T".

Las dimensiones de los discos y el soporte no son determinantes, pero dado que se trata de un dispositivo manual, unos intervalos adecuados son los siguientes:

- 25 • diámetro de los discos: 25-40 mm
• distancia entre los centros de los discos: 100-150 mm
• altura del soporte: 100-150 mm.

30 El disco que se calienta artificialmente incorpora un termopar y una resistencia. Este disco está provisto de una ranura radial 11 para alojar el termopar, y una ranura circular 12 con salida al exterior por la zona del termopar para alojar la resistencia. Una vez colocado el termopar en su ranura y la resistencia en la suya, se tapa el conjunto con un disco liso del mismo material y diámetro.

40 El disco al que no se aporta calor expresamente incorpora un termopar. Este disco es similar al disco calentado y también está provisto de una ranura 21 radial que sirve para alojar el termopar. Una vez colocado el termopar en la ranura se cierra el conjunto con un disco liso del mismo material y diámetro.

45 Cada uno de los discos anteriores se coloca en los extremos opuestos de una "T" de material plástico que sirve como soporte 30 de ambos discos y que además permite coger el sensor cómodamente y sin dañarlo. Los discos se disponen en el plano de la "T". Es importante que los discos se extiendan en el mismo plano, aunque no sea el de la "T", porque los discos están inmersos en un fluido, y la diferencia de temperatura entre ellos depende del movimiento del fluido (aire) a su alrededor; entonces, con los discos en el mismo plano, y preferiblemente horizontal, se minimiza la influencia del disco caliente sobre el disco frío.

50 La corriente de salida de los termopares es conducida por unos hilos 43 y 44 hacia el extremo inferior del soporte 30, desde donde se pueden conectar a un circuito de control a través, por ejemplo, de un conector 45. También sale por el extremo inferior del soporte 30 un cable 41 de alimentación a la resistencia del primer disco 10, terminando dicho cable 41 en un conector 42 para conectar a una fuente de alimentación.

55 El principio de funcionamiento del sensor de conductancia se basa en la determinación de los valores de conductancia de capa límite en las superficie de los dos discos de aluminio, uno de los cuales es sometido a la aplicación de una cierta cantidad conocida de energía eléctrica mientras que el otro sólo recibe la energía que intercambia con su entorno, según se ha explicado.

La conductancia aerodinámica de la capa límite (g) se define como:

60

$$g = \frac{h_c}{\rho c_p} (m/s)$$

65 donde h_c ($W m^{-2} K^{-1}$) es el coeficiente de transmisión de calor por convección, ρ ($kg m^{-3}$) es la densidad del aire y c_p ($J kg^{-1} K^{-1}$) es el calor específico del aire.

ES 2 342 242 A1

La expresión general aproximada para obtener el valor de la conductancia de capa límite a través de los dos discos de aluminio, uno de los cuales se calienta mediante la aplicación de una potencia eléctrica P_e (Wm^{-2}) mientras que el otro se mantiene sin ninguna alteración, es:

$$g = \frac{1}{\rho c_p} \left[\frac{P_e}{T_h - T_u} - \frac{\varepsilon \sigma (T_h^4 - T_u^4)}{T_h - T_u} \right]$$

donde T_h y T_u (K) es la temperatura de los discos, ε es la emisividad del material y σ es la constante de Stefan-Boltzman.

Una simplificación que habitualmente se realiza es suponer que la temperatura del disco sin calentar es igual a la temperatura del aire ($T_u = T_a$), lo que permite determinar g con sólo conocer la temperatura del aire y la diferencia de temperaturas entre los dos discos:

$$g = \frac{1}{\rho c_p} \left[\frac{P_e}{T_h - T_u} - 4\varepsilon \sigma T_u^3 \right]$$

Calculada la conductancia de este modo, se realiza un curva de calibración, $V = f(g)$, para cada sensor. Esto permite utilizar el sensor como anemómetro a baja velocidad (a partir de $0,01 \text{ m s}^{-1}$) con una precisión suficiente para aplicaciones industriales.

La función $V = f(g)$ se determina empíricamente variando la velocidad del aire y calculando del modo anteriormente descrito la conductancia de capa límite para cada velocidad (dentro del intervalo considerado). Una manera de obtener esta relación entre la conductancia y la velocidad del aire es calibrando el sensor en un laboratorio mediante un carrusel donde los discos se colocan en un plano determinado, preferentemente horizontal. En la medición real de la velocidad del aire en un cierto espacio hay que colocar los discos en un plano paralelo al de calibración en el laboratorio.

Aunque en la presente memoria sólo se han representado y descrito realizaciones particulares de la invención, el experto en la materia sabrá introducir modificaciones y sustituir unas características técnicas por otras equivalentes, dependiendo de los requisitos de cada caso, sin separarse del ámbito de protección definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

5 1. Dispositivo para medir la velocidad del aire que comprende dos placas metálicas (10, 20) que se utilizan para medir la conductancia de capa límite del aire en su superficie, de manera que en funcionamiento se aporta controlada-
mente calor a una de las placas (10), **caracterizado** por el hecho de que también comprende un soporte manual (30)
provisto de un mango y dos brazos, de manera que las placas se disponen sobre dichos brazos, una placa en cada bra-
zo, y en donde, además, la primera placa (10) al que se aporta calor incorpora un termopar y una resistencia eléctrica,
mientras que la segunda placa (20) al que no se aporta calor incorpora un termopar; estando además, la resistencia
10 eléctrica conectada a una fuente de energía eléctrica y los termopares conectados a un circuito de control.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado** por el hecho de que las dos placas (10, 20) son sustancial-
mente de la misma forma, material y tamaño.

15 3. Dispositivo según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** por el hecho de que el soporte (30) tiene forma de “T”.

4. Dispositivo según la reivindicación 3, **caracterizado** por el hecho de que las placas (10, 20) se disponen en el
plano de la “T”.

20 5. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por el hecho de que las placas
(10, 20) tienen forma de disco.

6. Dispositivo según la reivindicación 5, **caracterizado** por el hecho de que, el termopar del disco (10) está alojado
en una ranura radial (11) del disco y la resistencia alojada en una ranura circular (12) del disco, de manera que la
25 conexión con el exterior del termopar y de la resistencia se produce en la misma zona del disco.

7. Dispositivo según la reivindicación 5 ó 6, **caracterizado** por el hecho el termopar del disco (20) está alojado en
una ranura radial (21).

30 8. Dispositivo según la reivindicación 6 ó 7, **caracterizado** por el hecho de que cada disco (10, 20) se tapa con
otro disco igual pero homogéneo.

9. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por el hecho de que las dos placas
(10, 20) son de aluminio.

35 10. Procedimiento para medir la velocidad del aire, que utiliza un dispositivo según cualquiera de las reivindica-
ciones 1 a 9 **caracterizado** por que comprende

40 (i) una etapa de aporte de calor, en forma de una cantidad conocida de energía eléctrica, a una primera placa
metálica (10), mientras que una segunda placa metálica (20), situada en la vecindad de la primera placa,
sólo recibe la energía que intercambia libremente con su entorno;

45 (ii) una etapa de cálculo de la conductancia de capa límite del aire en la superficie de dichas placas, a partir
del balance de energía de las dos placas y de la diferencia de temperatura entre ellas, según la siguiente
expresión

$$g = \frac{1}{\rho c_p} \left[\frac{P_e}{T_h - T_u} - \frac{\varepsilon \sigma (T_h^4 - T_u^4)}{T_h - T_u} \right]$$

50 donde T_h y T_u (K) es la temperatura de los discos, ε es la emisividad del material y σ es la constante de
Stefan-Boltzman;

55 (iii) una etapa de determinación empírica de la velocidad del aire en función de la conductancia de capa límite
en la superficie de las placas, variando la velocidad del aire y calculando la conductancia de capa límite
para cada velocidad, dentro del intervalo considerado, calibrando el sensor mediante un carrusel donde los
discos se colocan en un plano determinado; y

60 (iv) una etapa de exportación de la medida de la conductancia de capa límite en forma de señal analógica.

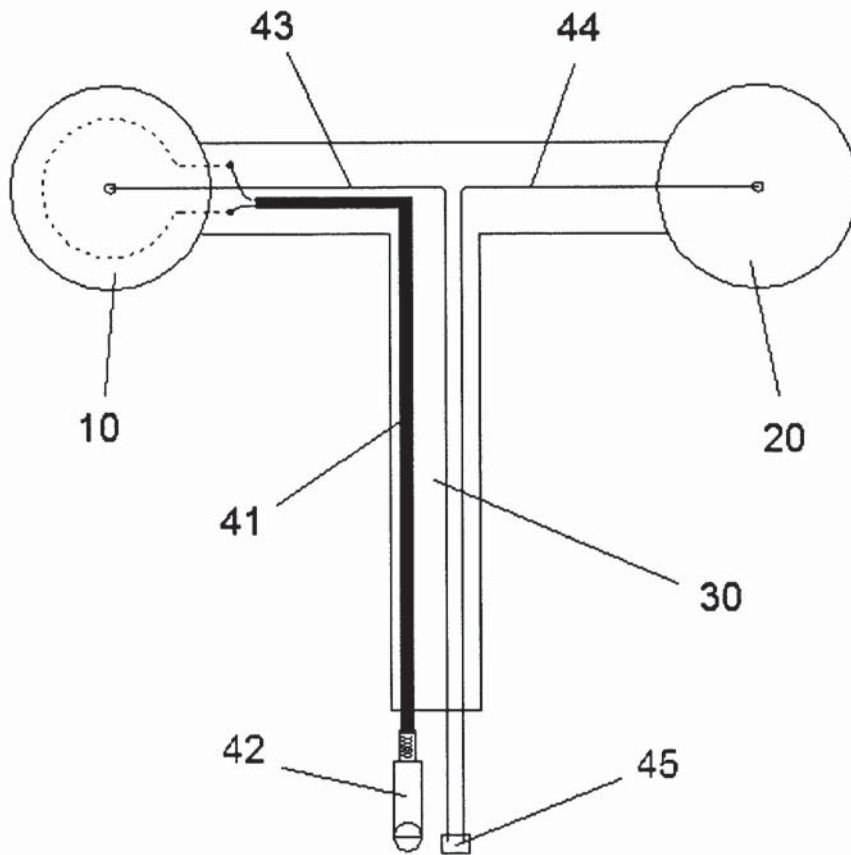


FIG. 1

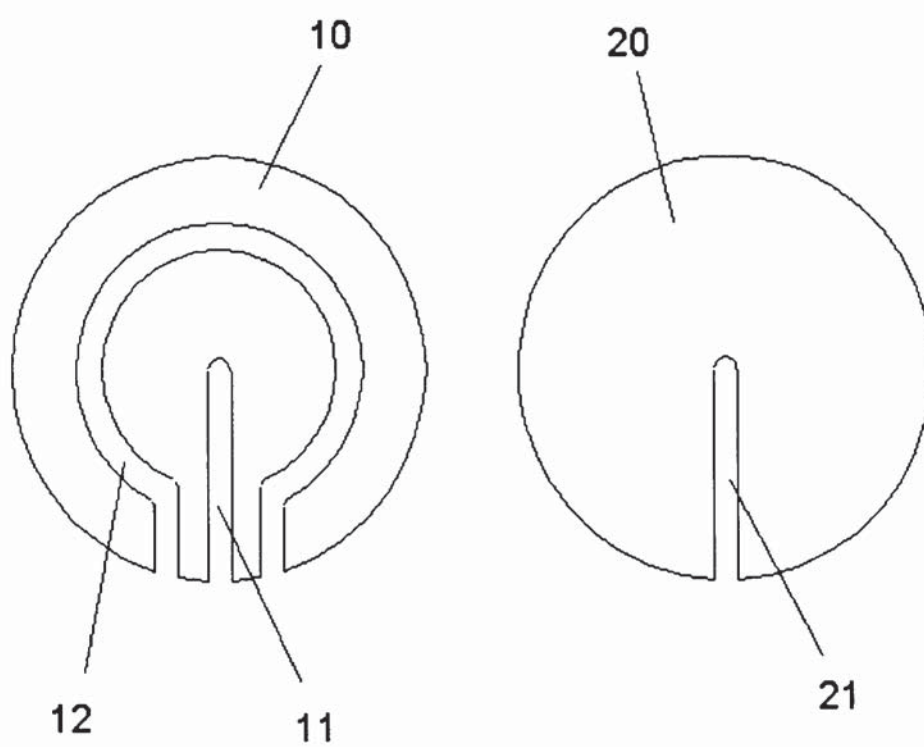


FIG. 2



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 342 242

② N° de solicitud: 200700396

③ Fecha de presentación de la solicitud: 14.02.2007

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: **G01P 5/08** (2006.01)
G01N 25/18 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	BRENNER et al. "A heated leaf replica technique for determination of leaf boundary layer conductance in the field" en Agricultural and Forest Meteorology, Volumen 72, números 3-4, Páginas 261-275. Enero 1995. Apartado 3.4. "Energy balance of the leaf" Apartado 4. "Material and methods".	1-4
Y		9
A		5-8,10
Y	LEUNING et al. "Estimation of transpiration by single trees: comparison of a ventilated chamber, leaf energy budgets and a combination equation" en Agricultural and Forest Meteorology, Volumen 51, número 1, Páginas 63-86. Junio 1990. Apartado "Leaf energy budget technique".	9 1-8,10
A	STOKES et al. "Boundary layer conductance for contrasting leaf shapes in a deciduous broadleaved forest canopy" en Agricultural and Forest Meteorology, Volumen 139, números 1-2, Páginas 50-64. Septiembre 2006.	1-10

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 nº:

Fecha de realización del informe
14.06.2010

Examinador
J. Olalde Sánchez

Página
1/1