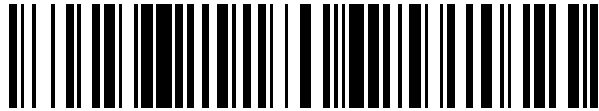


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 439 594**

21 Número de solicitud: 201230971

51 Int. Cl.:

**G01F 17/00** (2006.01)

**G01N 9/00** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

22 Fecha de presentación:

**21.06.2012**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**23.01.2014**

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

**25.03.2015**

Fecha de la concesión:

**26.08.2015**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**02.09.2015**

56 Se remite a la solicitud internacional:

**PCT/ES2013/070405**

Fecha de publicación de la mención al informe de  
búsqueda internacional:

**08.05.2014**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE  
COMPOSTELA (100.0%)  
Edif. Emprendia Campus Vida (Susana Torrente)  
15782 Santiago de Compostela (A Coruña) ES**

72 Inventor/es:

**PÉREZ CRUZADO, César ;  
ROJO ALBORECA, Alberto y  
RODRÍGUEZ SOALLEIRO, Roque**

74 Agente/Representante:

**CAROU INSUA, Fernando**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la medición del volumen de objetos de materiales higroscópicos de geometría compleja mediante sistema neumático**

57 Resumen:

Un procedimiento y un dispositivo para la medición del volumen de objetos de materiales higroscópicos con geometría compleja mediante sistema neumático. El dispositivo comprende un sistema de dos cámaras con transductores de presión absoluta incorporados, una en la que se alojará el objeto a medir y otra en la que se acumula aire comprimido. La alimentación de aire comprimido al sistema pasa previamente por un sistema de limpieza. La presión del aire incorporado es controlada mediante un limitador de presión. La medición del volumen del objeto se realiza en base al volumen de las dos cámaras y a la medición de las presiones que se alcanzan en las mismas durante el ciclo de medición, al poner en presión una de ellas y después abrir la llave de paso que las comunica. El proceso resulta aplicable a materiales higroscópicos de geometría compleja, como madera, pélets, piensos granulados o suelos.

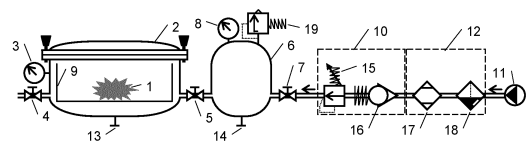


Fig. 1

ES 2 439 594 B2

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento y dispositivo para la medición del volumen de objetos de materiales higroscópicos de geometría compleja mediante sistema neumático.

**5 SECTOR TÉCNICO DE LA INVENCION**

La presente invención es de aplicación en los sectores: de la industria forestal para la medición del volumen de piezas de madera, virutas, cortezas o serrines con distintos contenidos de humedad; de los biocombustibles sólidos para la medición de volumen de biocombustibles densificados, astillas o carbón vegetal; de la agricultura para la determinación del volumen en granos o piensos; y de la investigación agraria y forestal para determinar el volumen de rocas, suelos y tejidos vegetales con distintos contenidos de humedad.

**ESTADO DE LA TÉCNICA**

La densidad de un material es una propiedad física muy importante, para cuya determinación se hace imprescindible la medición de su volumen. Para materiales que presentan higroscopicidad -definiéndose esta como la propiedad para absorber humedad en su seno, pudiendo o no variar su volumen en este proceso-, como por ejemplo la madera, se suele emplear la relación entre el volumen a un cierto contenido de humedad y el peso seco a 105°C. Este parámetro se define como densidad básica cuando el volumen es medido al máximo contenido de humedad, y es muy importante para la industria forestal y para estudios de productividad de biomasa o relativos al medio natural [A.J. Panshin, C de Zeeuw.; Textbook of wood technology, 4th Edition (1980) 722 pp; K. Senelwa, R.E.H. Sims.; Biomass Bioenerg. 17 (1999) 127-140; H.C. Muller-Landau.; Biotropica 36 (2004) 20-32; B. Klasnja, S. Kopitovic, S. Orlovic.; Biomass Bioenerg. 23 (2002) 427-432].

La medición del volumen en objetos de geometría compleja se suele abordar mediante su inmersión en agua y determinación del volumen de líquido desalojado por el objeto a medir, según el principio de Arquímedes. Este procedimiento también es el habitual cuando el objeto a medir presenta higroscopicidad, como por ejemplo la madera, [P.O. Olesen.; For. Tree Improv. 3, (1971) 1-23]. Para este último caso, se ha descrito un dispositivo, denominado xilómetro, para la determinación del volumen de trozas grandes de madera [A. Martin.; For. Sci. 30 (1984) 41-50; D.R. Phillips, M.A. Taras.; For. Prod. Jour. 10 (1984) 37-42; Diccionario Forestal. Soc. Esp. Ciencias Forest. (2005) 1314 pp], donde el volumen de agua desplazado por la pieza de madera sumergida es medido en una escala graduada. En este caso es necesario efectuar una medición rápida, de forma que la absorción de agua por parte del material se pueda considerar como insignificante, y por lo tanto al material como impermeable.

Sin embargo, cuando no se puede permitir que el material adquiera humedad en el proceso de medición de su volumen, son necesarios tratamientos adicionales cuando se quiere emplear el método del desplazamiento de agua. Estos tratamientos consisten en la saturación por completo en agua cuando el volumen que interesa medir es el que ocurre con el máximo contenido de humedad [I. Usta.; Teknoloji.; 1-2 (2001) 11-18], o el tratamiento del material para que no absorba agua cuando el volumen interesa ser medido a humedades inferiores a las máximas que puede alcanzar el material. En este último caso se suele recurrir al recubrimiento de su superficie con materiales impermeabilizantes -como por ejemplo parafina-, o al congelado [R. Mäkipää, T. Linkosalo.; Silva Fenn. 45 (2011) 1135-1142], siendo este último método especialmente sensible a sobreestimaciones del volumen.

Otro problema de esta metodología es la forma mediante la que se consigue la inmersión por completo del objeto a medir cuando éste presenta una densidad menor que la del agua. Cuando el objeto a medir consta de una única pieza se suelen emplear agujas, a las que se les supone un volumen insignificante con respecto al objeto a medir [R. Nygård, B. Elfving.; Ann. For. Sci. 57 (2000) 143-153; J. Ilic, D. Boland, M. McDonald, G. Downes, P. Blakemore.; National carbon accounting system. Tech. Rep. 18 (2000) 234 pp], pero cuando el material es granular -como por ejemplo astillas-, este sistema no es efectivo.

Los principales problemas de estas metodologías son: baja precisión en la medición, condicionada por la escala del nivel que marque la altura de agua desplazada por el objeto sumergido; el elevado consumo de

5 agua cuando es necesario efectuar muchas mediciones, lo cual puede ser solventado mediante un sistema de filtrado y almacenamiento del agua utilizada que permita su reciclado; necesidad de instrumentos y procedimientos específicos para asegurar la inmersión completa del objeto a medir cuando éste presenta una densidad menor que la del agua y/o es un material granular; dependiendo del objeto a medir, el análisis puede ser destructivo; necesidad de pretratamiento del objeto a medir cuando el material que lo constituye presenta higroscopicidad, lo que complica la medición en materiales granulares, como por ejemplo astillas, pélets, suelos u otros elementos.

10 En el documento EP 0 434 207 A2 se describe un dispositivo y un procedimiento que soluciona parte de los problemas descritos para la metodología de inmersión en agua, pero presenta sin embargo una serie de condicionantes que limitan su aplicación práctica. Algunos de estos problemas son: necesita el empleo de gases distintos del aire para la medición, como por ejemplo el helio; no hay control sobre la temperatura de funcionamiento del dispositivo, lo cual repercute en el comportamiento ideal del gas empleado para la medición y por lo tanto en la precisión de la medida del volumen, el ciclo de medición provoca que exista flujo de aire desde la cámara de medida hacia la cámara de expansión, suponiendo deposición de materiales finos del objeto a medir en esta parte del dispositivo, lo cual es corregido en parte mediante un sistema que asegura un flujo progresivo y controlado de gas entre la cámara de medida y la cámara de expansión, pero provoca tiempos de medición prolongados que pueden suponer la evaporación de agua en la superficie del material del objeto a medir, y por lo tanto perturbaciones en la medición de la presión; y por último, el procedimiento teórico que permite la medición del volumen del objeto a medir en base a las presiones que se alcanzan en las cámaras de medida y de expansión no tiene en cuenta el número de moles de gas que hay contenido en la cámara de expansión ni el volumen ocupado por el elemento de cierre de la válvula que los comunica. Otro problema de este tipo de dispositivos con volumen constante en la cámara de medida es que la precisión que se alcanza en la medición de la presión puede no ser la óptima, al no ocupar la muestra una proporción elevada de la cámara de medida [S. Tamari, A. Aguilar-Chávez.; Simposio de Metrología (2004) 1-6].

Teniendo el conocimiento de estos problemas, los inventores han desarrollado un dispositivo y un procedimiento que permite la medición del volumen en objetos de materiales higroscópicos de geometría compleja mediante un sistema neumático que evita el empleo de agua y gases distintos del aire. El dispositivo tiene por nombre xilómetro neumático, y permite medir el volumen de materiales granulares.

30 La práctica de la presente invención presenta las siguientes ventajas con respecto a los dispositivos y procedimientos ya conocidos: mayor control sobre la precisión de la medición, al permitir aumentar el factor de llenado de la cámara de medida mediante sólidos de materiales incompresibles de volumen conocido mientras se mantiene invariable el volumen útil de la cámara de medida; no consume agua ni helio debido a un sistema de secado y limpieza del aire ambiental que permite su uso en la medición; no se ve afectada por cambios de temperatura entre las distintas partes del dispositivo, pues el sistema de limpieza asegura flujo de aire a temperatura constante, que será siempre igual a la temperatura ambiente de funcionamiento; el diseño permite un rápido equilibrado de las presiones en las dos cámaras que lo forman en el momento de la expansión, lo que permite reducir el tiempo de medición y por lo tanto el error cometido en la medición de muestras con elevado contenido en humedad cuya evaporación pudiera afectar a la medición de la presión; el diseño garantiza que no se producen deposiciones de finos en el aparato entre dos ciclos de medición, al existir presión positiva que expulsa a los mismos entre dos ciclos de medición; el procedimiento teórico para la determinación del volumen en base a las presiones medidas en el aparato en el ciclo de medición tiene en cuenta el número de moles contenido en la cámara de menor presión antes de la expansión del aire desde la cámara de mayor presión, así como el volumen del elemento de cierre entre ambas cámaras, lo que permite un calibrado más sencillo. Estas ventajas hacen al aparato válido para la medición de materiales que varían su volumen con distintos estados de humedad mediante un análisis no es destructivo, permitiendo la medición en materiales higroscópicos, granulares y de geometría compleja.

#### DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

50 La presente invención describe un procedimiento y un dispositivo para la medición del volumen de objetos de materiales higroscópicos con geometría compleja mediante sistema neumático.

Se entiende por **material higroscópico** todo aquel que es capaz de absorber líquidos en su seno, pudiendo o no variar su volumen en este proceso dependiendo del tipo de material y de su contenido en humedad, como por ejemplo la madera.

5 Se entiende por **objeto de geometría compleja** aquel que, debido a la irregularidad de su superficie, no puede ser asimilado a una figura geométrica que permita la estimación sencilla de su volumen en base a sus dimensiones.

Se entiende por **sistema neumático** aquel que se basa en el uso del aire comprimido.

La presente invención describe un procedimiento, que comprende las siguientes etapas:

10 a) Alojamiento del objeto de material higroscópico de geometría compleja (1) en el recipiente (9) de la cámara de medida (2). El recipiente (9) tiene diámetro menor que la cámara de medida (2), de forma que no impide la entrada de aire a presión desde el calderín (6) a todas las partes de la cámara de medida (2), pero evita que la incorporación brusca de ese aire produzca una alteración o arrastres de las partes más finas del objeto a medir; el recipiente (9) tiene la función de facilitar el llenado de material en la cámara de medida (2) para la medición de su volumen y evitar que se produzcan arrastres de material fino del objeto  
15 a medir que puedan depositarse en el fondo de la cámara de medida (2), pudiendo ocupar volumen que afecte a la medición del siguiente objeto en el caso de no ser retirado convenientemente.

b) Cierre hermético de la cámara de medida (2) mediante un cierre tipo brida que asegure su estanqueidad durante todo el proceso.

20 c) Medición con el transductor de presión absoluta (3) y registro manual o automatizado mediante un ordenador, de la presión ( $P_0$ ) en la cámara de medida (2) con las llaves de paso (4) y (5) cerradas, lo cual se representa en la Fig. 3, donde  $n_2$  moles de aire están contenidos en la cámara de medida (2).

d) Incorporación de aire en el calderín (6) mediante la apertura de la llave de paso (7) y cierre de la misma cuando se alcance la presión de trabajo, la cual se regulará mediante el sistema regulador de presión (10).

25 e) Medición con el transductor de presión absoluta (8) y registro, manual o automatizado mediante un ordenador, de la presión ( $P_1$ ) en el calderín (6) con las llaves de paso (5) y (7) cerradas, lo cual se representa en la Fig. 3, donde  $n_1$  moles de aire están contenidos en el calderín (6).

f) Apertura de la llave de paso (5) que comunica la cámara de medida (2) y el calderín (6).

30 g) Medición con el transductor de presión absoluta (8) y registro manual o automatizado mediante un ordenador, de la presión de equilibrio ( $P_2$ ) que se alcanza en la cámara de medida (2) y el calderín (6) cuando  $n_{tot}=n_1+n_2$  moles de aire ocupan el volumen  $V_1+V_2+V_{ll}$ , siendo estos el volumen del calderín (6), la cámara de medida (2) y el que ocupaba el elemento de cierre de la llave de paso (5) en la posición de cerrado en el conducto que comunica la cámara de medida (2) y el calderín (6) respectivamente, como se muestra en la Fig. 2, con las llaves de paso (4) y (7) cerradas, lo cual se muestra en la Fig. 5.

35 h) Determinación del volumen del objeto a medir (1).

i) Cierre de la llave de paso (5).

j) Despresurización de la cámara de medida (2) mediante la llave de paso (4) que la comunica con el exterior, terminando de esta forma un ciclo de medición.

k) Apertura de la cámara de medida (2) y retirada del recipiente (9) que contiene el objeto a medir (1).

40 l) En todos los casos será necesario hacer una purga que elimine los vapores de humedad que pudiera provocar el propio material sobre el que se esté efectuando la medición, la cual se realizará operando el dispositivo mediante los pasos a) – j) descritos en el procedimiento de medición, sin ser necesario efectuar las mediciones descritas en los apartados c), e) y g); una vez terminada la purga, se

procederá a la medición mediante el inicio de la secuencia de operaciones descrita anteriormente. Este proceso sirve igualmente para uniformizar la temperatura en todas las partes del dispositivo.

5 En todo el documento,  $P_1$  es la presión medida según la fase e) del ciclo de medición,  $P_2$  es la presión medida según la fase g) del ciclo de medición,  $P_0$  es la presión medida según la fase c) del ciclo de medición,  $V_1$  es el volumen útil del calderín (6) con las llaves de paso (5) y (6) cerradas,  $V_2$  es el volumen útil de la cámara de medida (2) con las llaves de paso (4) y (5) cerradas y considerando el recipiente interior (9), y  $V_{II}$  es el volumen que desplaza el mecanismo de la llave de paso (5) en su apertura y cierre en la tubería que conecta la cámara de medida (2) con el calderín (6), según se muestra en la Fig. 2.

10 Según la invención, el mecanismo de cierre de la llave de paso (5) ha de ser macizo, de forma que no permita la acumulación de aire a presión en su seno entre dos ciclos de medición. De esta forma, el volumen que ocupa el mecanismo de cierre ( $V_{II}$ ) en la conducción entre la cámara de medida (2) y el calderín (6), puede ser ocupado por aire a presión  $P_2$  en el momento de la apertura de la llave de paso (5) en la fase f) del ciclo de medición.

15 Se entiende por **ciclo de medición** a todas las operaciones necesarias para la medición del volumen sobre el mismo objeto, pudiendo haber más de un ciclo de medición sobre el mismo objeto, tanto por la carga de nuevo del calderín (6) con aire hasta la presión de trabajo después del primer ciclo de medición, como por el uso de la presión  $P_2$  en el calderín (6) después del primer ciclo de medición como presión  $P_1$  en el segundo ciclo de medición ( $P_2$  1<sup>er</sup> ciclo= $P_1$  2<sup>o</sup> ciclo), hasta el ciclo de medición  $n$  en el que la presión del calderín (6)  $P_1$  esté por debajo del umbral que permita estimar el volumen del objeto con la precisión deseada ( $P_{MIN}$ ), como se muestra en la Fig. 6. De esta forma, habrá tantas mediciones de volumen sobre el objeto como ciclos de medición sobre el mismo. Previo a cualquier ciclo de medición sobre un objeto, es necesario someter al sistema a la purga descrita anteriormente.

25 Varios ciclos de medición sobre el mismo objeto darán lugar a la misma estimación del volumen ( $v$ ) del objeto a medir (1), siempre y cuando su material no se vea comprimido por efecto de la presión que se alcanza en la cámara de medida en alguna de las fases de la medición. Por ello, se establece la **presión máxima de trabajo** ( $P_{MAX}$ ) como aquel valor de  $P_1$  que, suponiendo que el material ocupa todo el volumen destinado para su alojamiento en el recipiente (9)  $v_n$  de la cámara de medida (2), la presión  $P_2$  que se alcanza en el volumen  $V_1+V_2+V_{II}$  al abrir la llave de paso (5) no produce mermas de volumen significativas en el objeto a medir, como se muestra en la Fig. 6. Se establece igualmente la **presión mínima de trabajo** ( $P_{MIN}$ ) como aquel valor de  $P_1$  que permite la medición del volumen ( $v$ ) en el objeto (1) con la suficiente precisión, como se muestra en la Fig. 6.

La medición del volumen del objeto a medir ( $v$ ) que constituye la fase h) del ciclo de medición es determinada en base a la expresión  $v = \frac{(P_1 - P_2) \cdot V_1 + (P_0 - P_2) \cdot V_2 - P_2 \cdot V_{II}}{P_0 - P_2}$ , que se deduce de que

35 el número total de moles  $n_{tot}=n_1+n_2$  de aire que hay en la cámara de medida (2) y en el calderín (6) en la fase del ciclo de medición e), y que se representa en la Fig. 3, puede ser calculado mediante la expresión

$$n_1 + n_2 = \frac{P_1 \cdot V_1 + P_0 \cdot (V_2 - v)}{R \cdot T} = n_{TOT}, \text{ en aplicación de la teoría cinética de los gases ideales al}$$

encontrarse la cámara de medida (2) y el calderín (6) a la misma temperatura  $T$ . Si los  $n_{tot}$  moles de aire estuvieran contenidos en el calderín (6), situación que se esquematiza en la Fig. 4, la presión teórica  $P'_1$  que se alcanzaría en el calderín (6) en ese caso sería

$$P'_1 \cdot V_1 = n_{TOT} \cdot R \cdot T = \left( \frac{P_1 \cdot V_1 + P_0 \cdot (V_2 - v)}{R \cdot T} \right) \cdot R \cdot T = P_1 \cdot V_1 + P_0 \cdot (V_2 - v), \text{ en aplicación de la teoría}$$

40 cinética de los gases ideales. Cuando los  $n_{tot}$  moles de gas ocupan el volumen útil  $V_1+V_2+V_{II}$  al abrir la llave de paso (5) en la fase g) del ciclo de medición, situación que se muestra en la Fig. 5, se cumple la relación  $P'_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot (V_1 + V_2 + V_{II} - v)$  en aplicación de la Ley de Boyle Mariotte, lo que permite al

45 despejar obtener el volumen ( $v$ ) del objeto a medir.

El aire incorporado al calderín (6) en la fase d) del ciclo de medición ha de ir libre de humedad, aceite o partículas, de forma que éstos no ocupen volumen útil del calderín (6) o de la cámara de medida (2), de manera que los volúmenes  $V_1$  y  $V_2$  que pueden ser ocupados por aire en las distintas fases de la medición y que se esquematizan en la Fig. 2 se mantengan invariantes para varios ciclos de medición sobre el mismo objeto, sin menoscabo de que el volumen útil  $V_2$  de la cámara de medida (2) pueda ser variado mediante el uso de sólidos de volumen conocido para aumentar el factor de llenado, aumentando de esta forma la precisión en la medición del volumen.

Queda dentro del alcance de la invención que la cámara de medida (2) sea de **geometría variable**, refiriéndose esto a que parte del volumen de la misma pueda ser ocupado por un objeto de volumen conocido  $v_{OBJ}$ , que sumado al volumen ( $v$ ) del objeto a medir (1) suponga que ambos ocupen una mayor proporción del volumen útil  $V_2$  de la cámara de medida (2) -factor de llenado-, aumentando de esta forma la variación en la presión  $P_2$  que supone una variación positiva o negativa de volumen  $dv$  del volumen ocupado por  $v+v_{OBJ}$  en la cámara de medida (2), permitiendo de esta forma incrementar la precisión en la medición del volumen manteniendo constante la sensibilidad de los transductores de presión absoluta (3) y (8). El volumen medido de esta forma en la fase de medición h) sería la suma del volumen del objeto a medir ( $v$ ) y el volumen conocido ( $v_{OBJ}$ ) del objeto empleado para reducir el volumen útil de la cámara de medida (2). El volumen del objeto  $v_{OBJ}$  empleado para este fin no ha de presentar mermas en el proceso de medición.

El aire incorporado al calderín (6) en la fase d) del ciclo de medición ha de estar a la misma temperatura que la que se encuentra todo el equipo -temperatura de trabajo en laboratorio-, de forma que sea de aplicación la teoría cinética de los gases ideales y el principio de Boyle-Mariotte, por lo que el secador de aire por enfriamiento (17) ha de elevar la temperatura del aire a su salida hasta la temperatura de trabajo a la que se encuentra todo el equipo.

Otro aspecto de la presente invención es un dispositivo para la medición de volumen en materiales higroscópicos de geometría compleja mediante sistema neumático, caracterizado por los siguientes elementos que se muestran en la Fig. 1:

a) Una cámara de medida hermética (2) de volumen útil conocido  $V_2$  con las llaves de paso (4) y (5) cerradas, la cual lleva incorporado un transductor de presión absoluta (3) para la medición de la presión ( $P_0$ ) una vez se ha introducido el objeto a medir (1) y cerrado la cámara de medida (2), un recipiente interior (9) para alojar el objeto a medir (1), y un sistema de eliminación de líquidos (13).

b) Un calderín (6) para el almacenamiento de aire a presión de volumen útil conocido  $V_1$  con las llaves de paso (5) y (7) cerradas, y que lleva incorporado un transductor de presión absoluta (8) para la medición de las presiones  $P_1$  y  $P_2$ , un sistema de eliminación de líquidos (14), y una válvula de seguridad (19) que protege al sistema frente sobrepresiones.

c) Una tubería de conexión entre la cámara de medida (2) y el calderín (6), con una llave de paso (5) que controla el paso de aire. El sistema de cierre de la llave de paso (5) no permite la acumulación de aire en su seno en el procedimiento de apertura y cierre, y el punto de inserción de la conducción con la cámara de medida (2) es no superior a  $\frac{1}{4}$  de la altura del recipiente interior (9), de forma que la entrada brusca de aire a presión en la cámara de medida (2) procedente del calderín (6) en la fase f) del ciclo de medición no afecte directamente al objeto a medir (1) más allá del incremento de la presión que se produce en la cámara de medida (2).

d) Un sistema regulador de presión (10) de carga del calderín (6), situado fuera de éste en una posición inmediatamente anterior a la llave de paso (7) con respecto al compresor (11), caracterizado por que consta de una válvula reguladora de presión (15) y una válvula antirretorno calibrada (16). La válvula reguladora de presión (15) permitirá que el suministro de aire a presión procedente del compresor (11) se corte en el momento en el que la presión en el calderín (6) alcance el valor deseado de la presión de trabajo  $P_1$ , la cual será medida con precisión con el transductor de presión absoluta (8) después de cerrar la llave de paso (7) en la fase e) del ciclo de medición. La válvula antirretorno calibrada (16) evitará el paso de aire en dirección contraria a la de funcionamiento en el caso de que se opere en el sistema de eliminación de aceite, humedad y sólidos (12) con la llave de paso (7) abierta y el compresor (11) apagado.

5 e) Un sistema de eliminación de aceite, humedad y sólidos (12) en el aire incorporado al calderín (6), situado entre el compresor (11) y el sistema regulador de presión en el calderín (10), caracterizado porque consta de un purgador automático con filtro (18), y de un secador de aire por enfriamiento (17). El secador de aire por enfriamiento (17) ha de elevar la temperatura del aire hasta la temperatura de operación en laboratorio para asegurar que sea de aplicación la teoría cinética de los gases ideales y el principio de Boyle-Mariotte, y el caudal de aire máximo de trabajo ha de ser superior al de funcionamiento del compresor (11), de forma que se asegure un secado eficiente del aire.

f) Un compresor (11), con una presión mínima de trabajo de 8 bar.

10 Los sistemas de eliminación de líquidos (13) y (14) tienen por función el permitir la eliminación de acumulación de agua en la cámara de medida (2) o calderín (6) en el proceso de mantenimiento.

15 Todos aquellos elementos comprendidos entre las llaves de paso (4) y (7), que son la cámara de medida (2), el calderín (6) y el conducto que los comunica han de ser rígidos, de forma que no han de ver variado su volumen con las presiones a las que se encuentran sometidos en el ciclo de medición, de forma que los volúmenes  $V_1$  y  $V_2$  permanezcan constantes. El material de todos los componentes ha de presentar una elevada conductividad térmica, como por ejemplo el acero, de forma que se favorezca la disipación del calor y la permanencia de todo el equipo a la temperatura de suministro de aire después de su tratamiento en el sistema de limpieza (12), que será igual a la temperatura ambiente.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

20 Para facilitar la comprensión de la invención, se describen las figuras en las que se ha representado, a título de ejemplo ilustrativo y no limitativo, un caso de realización de dispositivo para la medición de volumen en materiales higroscópicos de geometría compleja mediante sistema neumático.

25 La figura 1 representa el esquema general del dispositivo, caracterizado por una cámara de medida (2), un calderín (6), un dispositivo para el control de la presión de carga en el calderín (10), un dispositivo para la eliminación de aceite, humedad y sólidos en el aire (12), un compresor (11) y tres llaves de paso (4), (5) y (7).

La figura 2 representa el volumen de las distintas partes del dispositivo ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_{II}$ ), que son fundamentales para la estimación del volumen ( $v$ ) del objeto a medir (1).

La figura 3 representa el dispositivo en la fase e) del ciclo de medición.

30 La figura 4 representa la situación teórica que se alcanzaría si  $n_{tot}=n_1+n_2$  moles de aire estuvieran contenidos en el calderín (6), y la presión  $P'_1$  que se alcanzaría en ese caso.

La figura 5 representa el dispositivo en la fase g) del ciclo de medición.

35 La figura 6 representa la relación entre las presiones  $P_1$  y  $P_2$  que se alcanzaría en el dispositivo en el proceso de medición, acotado por  $V_{max}$ , situación teórica en el caso de que el objeto a medir ocupara por completo el volumen  $V_2$  en la cámara de medida (2), y  $V_0$  en el caso de que se opere con el dispositivo sin objeto (1) en la cámara de medida (2).

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para la medición de volumen en materiales higroscópicos de geometría compleja mediante sistema neumático, que **comprende** las siguientes etapas:
- a) alojamiento del objeto de material higroscópico de geometría compleja (1) en la cámara de medida (2),
- 5 b) cierre hermético de la cámara de medida (2),
- c) medición y registro de la presión ( $P_0$ ) con el transductor de presión absoluta (3) en la cámara de medida (2) con las llaves de paso (4) y (5) cerradas,
- d) incorporación de aire en el calderín (6) mediante la apertura de la llave de paso (7) y cierre de la misma cuando se alcance la presión de trabajo caracterizado porque el aire incorporado al calderín (6) ha de ir libre de humedad, aceite o partículas, además el aire está a temperatura controlada y constante mediante un secador de aire por enfriamiento (17) que procesa el aire incorporado al calderín (6) y eleva la temperatura del aire hasta la temperatura de operación en laboratorio ,
- 10 e) medición y registro de la presión ( $P_1$ ) en el calderín (6) con el transductor de presión absoluta (8) con las llaves de paso (5) y (7) cerradas,
- 15 f) apertura de la llave de paso (5) que comunica la cámara de medida (2) y el calderín (6),
- g) medición y registro de la presión de equilibrio ( $P_2$ ) en la cámara de medida (2) y el calderín (6) con el transductor de presión absoluta (8),
- h) determinación del volumen del objeto a medir (1), caracterizado porque el volumen del objeto a medir (v) es determinado en base a la expresión 
$$v = \frac{(P_1 - P_2) \cdot V_1 + (P_0 - P_2) \cdot V_2 - P_2 \cdot V_{II}}{P_0 - P_2}$$
, donde  $P_1$  es la presión medida según la reivindicación 1, apartado e),  $P_2$  es la presión medida según la reivindicación 1, apartado g),  $P_0$  es la presión medida según la reivindicación 1, apartado c),  $V_1$  es el volumen útil del calderín (6) con las llaves de paso (5) y (6) cerradas,  $V_2$  es el volumen útil de la cámara de medida (2) con las llaves de paso (4) y (5) cerradas y considerando el recipiente interior (9), y  $V_{II}$  es el volumen que desplaza el mecanismo de la llave de paso (5) en su apertura y cierre en la tubería que conecta la cámara de medida (2) con el calderín (6).
- 20 i) cierre de la llave de paso (5),
- j) despresurización de la cámara de medida (2) mediante la llave de paso (4) que la comunica con el exterior,
- 30 k) apertura de la cámara de medida (2) y retirada del recipiente (9) que contiene al objeto a medir (1).
- l) purga de los vapores de humedad del objeto sobre el que se efectúa la medición (1) previo a la realización de las medidas de presión descritas en las etapas c), e) y g).
2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el apartado a), está caracterizado porque el objeto a medir (1) es depositado en un recipiente interior (9) a la cámara de medida (2), de diámetro menor que la cámara de medida.
- 35 3. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el apartado g), está caracterizado porque el mecanismo de cierre de la llave de paso (5) ha de ser macizo.
- 40 4. Un dispositivo para la medición de volumen mediante sistema neumático en materiales higroscópicos de geometría compleja, **caracterizado** por los siguientes elementos:
- a) una cámara de medida hermética (2) de volumen conocido  $V_2$  con las llaves de paso (4) y (5) cerradas, donde la cámara de medida (2) lleva incorporado: un transductor de presión absoluta (3) para la medición de la presión ( $P_0$ ) una vez se ha introducido el objeto a medir y cerrado la cámara de medida (2), un recipiente interior (9) para alojar el objeto a medir (1), y un sistema de eliminación de líquidos (13) caracterizado porque la cámara de medida (2) es de geometría variable, de forma que el volumen  $V_2$
- 45



## ES 2 439 594 B2

puede ser alterado mediante la inclusión en la cámara de medida (2) de objetos invariantes en volumen ante la presión de trabajo que afecten al factor de llenado de la cámara de medida (2),.

- 5 b) un calderín (6) para el almacenamiento de aire a presión de volumen conocido  $V_1$  con las llaves de paso (5) y (7) cerradas, donde el calderín (6) lleva incorporado un transductor de presión absoluta (8) para la medición de las presiones  $P_1$  y  $P_2$ , y un sistema de eliminación de líquidos (14).
- 10 c) una tubería de conexión entre la cámara de medida (2) y el calderín (6), con una llave de paso (5) que controla el paso de aire, donde el mecanismo de apertura y cierre de la llave de paso (5) ha de ser macizo, y donde el volumen de aire que desplaza la llave de paso (5) en su apertura y cierre tenga un volumen conocido  $V_{II}$  caracterizado porque el sistema de cierre de la llave de paso (5) no permite la acumulación de aire en su seno en el procedimiento de apertura y cierre, y porque el punto de inserción con la cámara de medida es no superior a  $\frac{1}{4}$  de la altura del recipiente interior (9);
- 15 d) un sistema regulador de presión (10) de carga del calderín (6), situado fuera de éste en una posición inmediatamente anterior a la llave de paso (7) con respecto al compresor (11) caracterizado por que consta de una válvula reguladora de presión (15) y una válvula antirretorno calibrada (16);
- 20 e) un sistema de eliminación de aceite, humedad y sólidos (12) y de regulación de temperatura de trabajo en el aire incorporado al calderín (6), que mantiene constante la temperatura de trabajo, situado entre el compresor (11) y el sistema regulador de presión en el calderín (10) caracterizado porque consta de un purgador automático con filtro (18), y de un secador de aire por enfriamiento (17) que mantiene el aire incorporado al calderín (6) a la temperatura de trabajo en el laboratorio ; y
- f) un compresor (11).



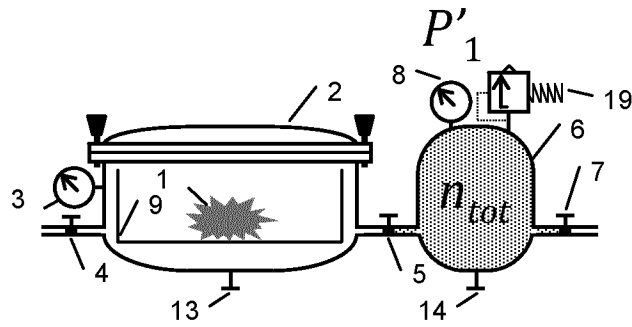


Fig. 4

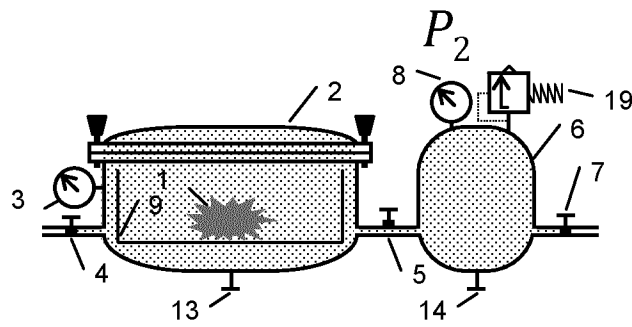


Fig. 5

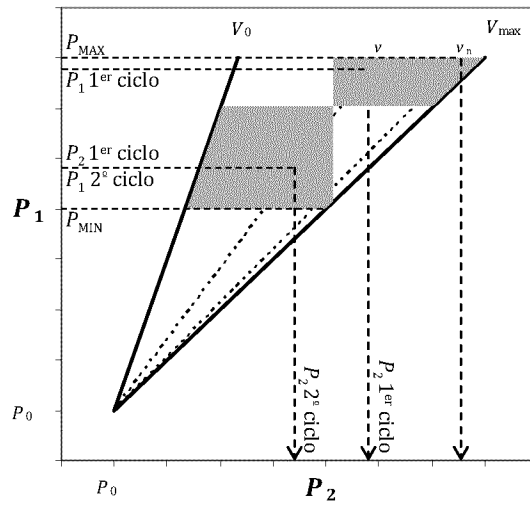


Fig. 6