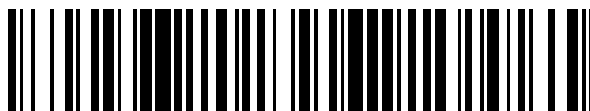


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 561 558**

51 Int. Cl.:

**G01F 17/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.09.2013** **E 13382342 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.11.2015** **EP 2843377**

54 Título: **Dispositivo y método para medir el volumen de una cavidad**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**26.02.2016**

73 Titular/es:

**INGENET AUTOMATIZACIÓN, S.L. (50.0%)**  
**Pol. Ind. Torrezar, Ed. 3 nave 2**  
**48410 Orozko, Bizkaia, ES y**  
**VIDRALA, S.A. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**ITURROSPE IREGUI, AITZOL y**  
**ABETE HUICI, JOSÉ MANUEL**

74 Agente/Representante:

**IGARTUA IRIZAR, Ismael**

**ES 2 561 558 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

## Dispositivo y método para medir el volumen de una cavidad

5

## SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se relaciona con dispositivos para medir el volumen de una cavidad, y métodos para medir el volumen de una cavidad.

10

## ESTADO ANTERIOR DE LA TÉCNICA

15

Son conocidos dispositivos y métodos para medir el volumen de una cavidad. Muchos de dichos dispositivos y métodos utilizan el principio del resonador de Helmholtz para determinar el volumen de gas en el interior de la cavidad. Este principio, cuya base de aplicación es aparentemente sencilla, se basa en acoplar un resonador, generalmente un tubo, en comunicación fluidica con la cavidad cuyo volumen se quiere conocer. El tubo y la cavidad están llenos de un gas, normalmente aire, y mediante un soplador se hace oscilar la masa de gas que se encuentra en el interior del tubo. El sistema formado por el gas del tubo y el gas de la cavidad se representa como un sistema de un grado de libertad, en el cual el gas del tubo se comporta como una masa que oscila sobre el gas de la cavidad, comportándose ésta como un resorte.

20

Los dispositivos que aplican el principio de Helmholtz comprenden medios que permiten determinar la frecuencia de resonancia de la cavidad. Considerando que el proceso que se lleva a cabo es adiabático, se obtiene el volumen  $V$  de la cavidad a través de la fórmula:

25

$$V = A \cdot c^2 / 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot l$$

en donde,

30

$A$  es el área de la sección transversal del tubo,  
 $c$  es la velocidad del sonido en el medio donde se produce la medición,  
 $f$  es la frecuencia de resonancia de la cavidad cuyo volumen queremos medir, y  
 $l$  es la longitud del tubo.

35

La solicitud de patente JP7083730 A describe un dispositivo para medir el volumen interior de una cavidad que aplica el principio del resonador de Helmholtz, y que comprende un cuerpo hueco acoplable a dicha cavidad, de tal manera que el volumen interior de la cavidad y el volumen interior del cuerpo hueco quedan comunicados.

40

US3596510A describe un aparato para determinar la cantidad de líquido en un depósito cerrado que contiene un líquido y gas en un espacio vacío. Una cavidad de gas cerrado y lleno comunica con el depósito a través de una superficie de un diafragma elastomérico común. Señales de presión infrasónicas dirigidas a la cavidad desde unos medios de accionamiento de frecuencia variable, hacen que el gas del espacio vacío y el diafragma resuenen a una frecuencia proporcional al volumen del gas del espacio vacío en el depósito. El volumen de espacio vacío y por lo tanto el volumen de líquido restante es proporcional a la presión del gas del espacio vacío y a la frecuencia de resonancia.

45

WO86/03834A1 describe un método para medir el volumen  $V$  de un gas en un recipiente, variando el volumen del recipiente por un medio de excitación que mueve un pistón, de acuerdo a una onda sinusoidal entre un valor mínimo y máximo, la variación siendo efectuada a una frecuencia constante pero a una amplitud variable, con el fin de obtener una diferencia de presión predeterminada  $\Delta p$ , y la diferencia de volumen  $\Delta V$  correspondiente a dicha diferencia de presión predeterminada  $\Delta p$  es determinada mediante la detección de los momentos en el tiempo en que se obtienen al menos dos puntos de la onda sinusoidal que corresponden a dos predeterminados valores del volumen del contenedor. El volumen  $V$  se obtiene por medio de la fórmula:

50

$$V = \Delta V \cdot p_0 \cdot Y / \Delta p$$

55

en donde  $p_0$  es la presión estática, e  $Y = C_p / C_v$ , en donde  $C_p$  y  $C_v$  son la capacidad de calor específico a, respectivamente, presión constante y volumen constante para el gas dentro del recipiente.

60

EXPOSICIÓN DE LA INVENCION

El objeto de la invención es el de proporcionar un dispositivo para medir el volumen interior de una cavidad, y un método de medición del volumen interior de una cavidad, según se define en las reivindicaciones.

5

Un aspecto de la invención se refiere a un dispositivo para medir el volumen interior  $V_1$  de una cavidad, que comprende un cuerpo hueco acoplable a dicha cavidad, de tal manera que el volumen interior  $V_1$  de la cavidad y el volumen interior del cuerpo hueco quedan en comunicación fluidica. El dispositivo comprende también un cuerpo sólido alojado en el cuerpo hueco, unos medios de detección de la posición de dicho cuerpo sólido, y unos medios de procesamiento para determinar el volumen interior  $V_1$  de la cavidad a partir de la oscilación del cuerpo sólido en función del volumen de gas en el interior de la cavidad.

10

Otro aspecto de la invención se refiere a un método para medir el volumen interior  $V_1$  de una cavidad, en donde dicho volumen interior  $V_1$  se calcula a partir de la oscilación del cuerpo sólido en función del volumen de gas en el interior de dicha cavidad.

15

A diferencia de los dispositivos y métodos que aplican el principio del resonador de Helmholtz, el dispositivo y método de la invención utilizan un cuerpo sólido, y no un cuerpo gaseoso. Se hace oscilar dicho cuerpo sólido, se mide dicha oscilación y se procesan las medidas para obtener el volumen interior de la cavidad.

20

En las aplicaciones basadas en el principio del resonador de Helmholtz, el volumen de la cavidad es función de la velocidad del sonido  $c$  del medio en el que se realiza la medición, y dichas aplicaciones tienen muchos problemas para conseguir mantener constante dicho valor de  $c$ . Ello es debido a que la velocidad del sonido  $c$  es sensible a las variaciones de la temperatura y la humedad. Por ejemplo en la fabricación de botellas de vidrio, cuyo volumen interior se quiere medir, la temperatura y la humedad son variables que afectan de forma considerable a la precisión de la medida del volumen de dichas botellas. Utilizando el dispositivo y el método de la invención, la masa del cuerpo sólido, mientras se realiza la medida de la oscilación y posteriormente la medida del volumen, no es afectada por los cambios de temperatura y humedad, y el cálculo del volumen es mucho más preciso. Por otro lado, es más precisa la medida de la oscilación del cuerpo sólido respecto de la medida de la oscilación del cuerpo gaseoso en el interior de un tubo, que tiene problemas de interferencia con el gas de la cavidad, obteniéndose por esta razón también una mayor precisión en el cálculo del volumen interior de la cavidad.

25

30

Estas y otras ventajas y características de la invención se harán evidentes a la vista de las figuras y de la descripción detallada de la invención.

35

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 muestra una vista esquemática en alzado de una realización del dispositivo de la invención para medir el volumen interior de una cavidad.

40

La figura 2 muestra un gráfico que representa un ejemplo del desplazamiento del cuerpo sólido durante la oscilación en el dispositivo de la figura 1, respecto del tiempo.

45

La figura 3 muestra una vista esquemática en alzado de la realización del dispositivo de la figura 1, para medir el volumen de un objeto dispuesto en el interior de una cavidad.

EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

50

Dispositivos para medir el volumen interior de una cavidad son utilizados por ejemplo en la fabricación de botellas de vidrio. En el proceso de fabricación de las botellas de vidrio se realiza una fundición del vidrio, y un posterior moldeo de las botellas. Las botellas salen muy calientes del proceso de moldeo, aproximadamente a  $400^{\circ} C$ , y se acumulan en la línea de producción para un enfriamiento paulatino. Cuando la botella se enfría se retiran periódicamente muestras al laboratorio para proceder a la medición de su volumen interior. Existen dispositivos que realizan dicha medida, pero son dispositivos que utilizan agua que para alcanzar una determinada precisión tienen unos tiempos de ciclo de medida considerablemente largos.

55

Una alternativa a dichos dispositivos podrían ser dispositivos que aplicasen el principio del resonador de Helmholtz, pero dichos dispositivos son muy sensibles a la temperatura y a la humedad.

60

Una realización del dispositivo 100 de la invención, que resuelve los problemas anteriormente mencionados, se muestra en la figura 1. Dicho dispositivo 100 con el que se mide el volumen interior  $V_1$  de una cavidad 1 comprende un cuerpo hueco 2 acoplable a dicha cavidad 1. Dicho cuerpo hueco 2, que en la realización del dispositivo 100 mostrada en la figura 1 es un tubo cilíndrico, tiene dos extremos, un extremo 6 acoplado a la cavidad 1, y un extremo 9. El extremo 6 está abierto, y permite la comunicación del volumen interior del cuerpo hueco 2 con el volumen interior  $V_1$  la cavidad 1. El extremo 9 en la realización mostrada está abierto, pero en otra realización del dispositivo 100 puede estar cerrado.

El dispositivo 100 también comprende un cuerpo sólido 3 que está alojado en el cuerpo hueco 2, teniendo dicho cuerpo sólido 3 en esta realización geometría esférica. Este cuerpo sólido 3 se encuentra en el interior del cuerpo hueco 2, que es un tubo cilíndrico, ajustada a sus paredes, pudiendo deslizarse. Para poder realizar la medición del volumen interior  $V_1$  el cuerpo sólido 3 tiene que estar inicialmente fijo en una posición inicial O, para lo cual el dispositivo 100 comprende unos medios de fijación 7. Los medios de fijación 7 son solidarios al cuerpo hueco 2, de forma que siempre mantienen la misma distancia relativa respecto del cuerpo hueco 2, y por lo tanto la posición inicial O es siempre la misma. Los medios de fijación 7 pueden ser un electroimán u otro medio que permita fijar y mantener la posición inicial O del cuerpo sólido 3.

El dispositivo 100 comprende unos medios de detección 4 para detectar la posición de dicho cuerpo sólido 3. Cuando dicho cuerpo sólido 3 se suelta desde su posición inicial O se produce una oscilación del cuerpo sólido en su caída, y los medios de detección determinan la posición instantánea x de dicho cuerpo sólido 3 durante la oscilación en el tiempo. Dicha posición instantánea x en el tiempo es transformada por los medios de detección 4 en señales que pueden ser emitidas, recibándose dichas señales por parte de unos medios de procesamiento 5 que comprende el dispositivo 100 de la invención. Los medios de detección 4 pueden ser una cámara, o un láser, o un sistema inductivo, o cualquier otro medio que permita captar la posición instantánea x del cuerpo sólido 3 en su oscilación.

El dispositivo 100 también comprende unos medios de igualación de la presión 8 con la presión atmosférica. Para realizar la medición del volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1, se llena el volumen interior comprendido en el cuerpo hueco 2, y el volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1, de un gas determinado, que puede ser aire. En la realización del dispositivo 100 mostrada en la figura 1, el extremo 9 del cuerpo hueco 2 está abierto al exterior, y los medios de igualación de la presión 8 son una válvula dispuesta en el cuerpo hueco 2 entre la masa sólida 3 y el extremo 6 que se acopla con la cavidad 1. Cuando se va a realizar una medición del volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1, se dispone el cuerpo sólido 3 en la posición inicial O y se abren los medios de igualación de la presión 8, de forma que el cuerpo sólido 3 a ambos lados en su posición en el cuerpo hueco 2 estaría sometida a la presión atmosférica  $P_a$ . En otra realización del dispositivo 100 (no mostradas en las figuras), el extremo 9 del cuerpo hueco 2 está cerrado, por lo que en el volumen interior del cuerpo hueco 2 y en el volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1 existirá una presión del gas que lo llena determinada. En dicha realización, en lugar de medios de igualación de la presión 8, se incluyen medios que pueden medir la presión del gas a ambos lados del cuerpo sólido 3 cuando está en la posición inicial O, e incluso comprenden medios que permiten igualar la presión del gas a ambos lados.

El tiempo de ciclo de la medición del volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1 es suficientemente corto como para considerar que el proceso que se produce es adiabático, ya que cuando el cuerpo sólido 3 se desplaza en la oscilación provoca unos cambios en el volumen interior V que son suficientemente rápidos. De esta forma podemos asumir que el cambio de volumen producido es proporcional a la variación de presión en la cavidad 1. El índice adiabático  $\gamma$  del gas, que en la realización mostrada es aire, relaciona el calor específico de dicho aire a presión constante, y el calor específico del aire a volumen constante. Este índice adiabático  $\gamma$  depende de la temperatura  $T_a$  y de la humedad H, por lo que el dispositivo 100 de la invención mostrada también comprende unos medios de monitorización 10 para medir y monitorizar los valores de la temperatura  $T_a$ , la humedad H, y también la presión atmosférica  $P_a$  del lugar donde se realiza la medición del volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1. Dichos valores  $T_a$ , H, y  $P_a$  medidos son transformados por los medios de monitorización 10 en señales que pueden ser emitidas, recibándose dichas señales por parte de los medios de procesamiento 5 del dispositivo 100. Estos medios de monitorización 10 pueden ser una estación barométrica.

El dispositivo 100 de la figura 1 comprende también unos medios de acoplamiento 11 entre el cuerpo hueco 2 y la cavidad 1 que permiten un correcto acoplamiento entre el extremo 6 del cuerpo hueco 2 y el extremo abierto de la cavidad 1, consiguiéndose de esta forma una correcta alineación entre ambos cuerpos, y evitar fugas de gas del interior del conjunto formado por el cuerpo hueco 2 y la cavidad 1 al exterior. Estos medios de acoplamiento pueden estar formados por bridas u otros medios que realicen una función semejante.

Cuando se va a realizar una medición del volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1, se dispone el cuerpo sólido 3 para que oscile desde la posición inicial O, dependiendo dicha oscilación del volumen de gas en el interior de la cavidad 1, y del volumen de gas del cuerpo hueco 2 entre la posición inicial O y el extremo 6. Este volumen de

## ES 2 561 558 T3

gas en el cuerpo hueco 2 es una cantidad constante independiente de los cambios del volumen interior  $V_1$  que se puedan producir entre diferentes unidades del mismo tipo de cavidad 1. Los medios de detección 4 envían señales de la posición instantánea  $x$  de dicha masa sólida en la oscilación a los medios de procesamiento 5. Del mismo modo, los medios de monitorización 10 envían señales de la temperatura  $T_a$ , la humedad  $H$ , y la presión atmosférica  $P_a$  a los medios de procesamiento 5.

Dichos medios de procesamiento 5 procesan las señales y determinan un volumen  $V$ , como suma del volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1 y del volumen interior  $V_2$  del espacio comprendido en el cuerpo hueco 2, entre la posición inicial  $O$  y el extremo 6, a través de la fórmula:

$$V = \gamma A^2 P T^2 / 4 \pi^2 m$$

y determinan el volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1 a través de la fórmula:

$$V_1 = V - V_2$$

en donde,

$\gamma$  es el índice adiabático del gas que llena el interior del volumen  $V$ ,

$A$  es el área de la sección transversal del cuerpo hueco 2,

$P$  es la presión del gas que ocupa el volumen  $V$ ,

$T$  es el período instantáneo de cada posición de equilibrio del cuerpo sólido 3 durante la oscilación, y

$m$  es la masa del cuerpo sólido 3.

El dispositivo 100 mostrado en la figura 1 está en posición vertical, y el cuerpo sólido 3 parte de la posición inicial  $O$  para oscilar, cuando se interrumpe la acción de los medios de fijación 7, cayendo por acción de la gravedad. Sin embargo en otras realizaciones de dicho dispositivo 100 (no mostradas en las figuras), dicho dispositivo 100 podría presentar diferentes grados de inclinación respecto de la dirección vertical, pudiendo incluso estar en posición horizontal, en cuyo caso también el cuerpo sólido podría desplazarse por otros medios de impulsión diferentes de la gravedad. En este último caso los medios de fijación 7 también podrían hacer las funciones de medios de impulsión, desplazando la masa sólida 3 hacia la cavidad 1 para comenzar la oscilación, pero también pueden ser unos medios de impulsión diferentes que realicen dicha función.

Otro aspecto de la invención se refiere a un método para medir el volumen interior  $V_1$  de una cavidad 1. Dicho volumen interior  $V_1$  se calcula a partir de la oscilación de un cuerpo sólido 3 en función del volumen de gas en el interior de dicha cavidad 1, ya que ambas magnitudes están relacionadas entre sí. En el ejemplo de la fabricación de botellas de vidrio, cada tipo de botella tiene una forma y un tamaño que le confiere un volumen interior  $V_1$  diferente. Como existen muchos y diferentes tipos de botella la oscilación del cuerpo sólido 3 diferirá, pues la cantidad de gas en dichas cavidades de las botellas es diferente. Por lo tanto, es preciso disponer de un método que asegure la precisión y repetitividad de la medición del volumen interior  $V_1$ , independientemente de las condiciones ambientales, de las diferencias de volúmenes a medir, y con un tiempo de medida suficientemente rápido.

El método de la invención se implementa por ejemplo en un dispositivo 100 como el que se muestra en la figura 1, adaptado para medir el volumen interior  $V_1$  de una cavidad 1. Dicho dispositivo 100 comprende un cuerpo hueco 2, en este ejemplo de realización un tubo cilíndrico, acoplable a la cavidad 1, de tal manera que el volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1 y el volumen interior del cuerpo hueco 2 quedan en comunicación fluidica. El cuerpo sólido 3, que en este ejemplo de realización es una esfera, está alojado en dicho cuerpo hueco 2 ajustado a sus paredes, pudiendo deslizarse. El dispositivo 100 también comprende unos medios de fijación 7, solidarios al cuerpo hueco 2, que permiten fijar el cuerpo sólido 3 en una posición inicial  $O$ , unos medios de detección 4 de la posición de dicho cuerpo sólido 3, y unos medios de procesamiento 5 para determinar el volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1 a partir de la oscilación del cuerpo sólido 3.

El método comprende las etapas de:

a) Posicionamiento del cuerpo sólido 3 en una posición inicial  $O$  con los medios de fijación 7.

b) Medición de la posición instantánea  $x$  del cuerpo sólido 3 durante la oscilación con los medios de detección 4. Esta medición se realiza a lo largo del tiempo que dura el ciclo de medida, al dejar libre el cuerpo sólido 3 desde la posición inicial  $O$ , y dicho cuerpo sólido 3 comenzar a oscilar respecto de un volumen de gas  $V$  que llena el espacio comprendido por el volumen interior  $V_1$ , y un volumen interior  $V_2$  del cuerpo hueco 2 comprendido entre la posición inicial  $O$  y un extremo 6 acoplado con la cavidad 1. Tal como se muestra en la figura 2, el cuerpo sólido 3 realiza una oscilación  $b$  en el tiempo alrededor de una posición de equilibrio  $a$ , y al mismo tiempo desliza a lo largo del cuerpo hueco 2.

c) Cálculo del período T correspondiente a la posición de equilibrio a del cuerpo sólido 3 durante la oscilación b con los medios de procesamiento 5. En la figura 2 se muestra un gráfico que representa el desplazamiento del cuerpo sólido 3 durante la oscilación b en el dispositivo 100 de la figura 1, respecto del tiempo. Es un ejemplo de realización con un dispositivo 100 al que se le ha acoplado una cavidad 1 de la cual se quiere conocer el volumen interior  $V_1$ , y en el que oscila un determinado cuerpo sólido 3. Dicha oscilación b es detectada por los medios de detección 4 en la etapa anterior del método al medir la posición instantánea x. Los medios de procesamiento 5 procesan las señales recibidas desde los medios de detección 4, y determinan la curva de oscilación b. Dicha curva es del tipo “cos (wt+ $\Theta$ )” con un deslizamiento en el eje X.

La curva de oscilación b aumenta su frecuencia con el tiempo. La razón de este incremento reside en que debido al deslizamiento el volumen V sobre el que oscila el cuerpo sólido 3 disminuye. El sistema formado por el cuerpo sólido 3 y el gas que llena el volumen V se representa como un sistema de un grado de libertad, en el cual el cuerpo sólido 3 se comporta como una masa que oscila sobre el gas del volumen V, comportándose éste como un resorte. En un sistema de este tipo la frecuencia es inversamente proporcional al volumen de gas V, de forma que en la medida que V disminuye, la frecuencia de oscilación del cuerpo sólido 3 aumenta a lo largo del ciclo de medición.

Los medios de procesamiento 5, con las señales recibidas desde los medios de detección 4, determinan la posición de equilibrio a del cuerpo sólido 3 en el tiempo, como se muestra en la figura 2. Dichos medios de procesamiento 5, mediante algoritmos de uso conocido como son el ajuste por mínimos cuadrados o la utilización de filtros adaptativos bayesianos, permite ajustar la curva de oscilación b que es del tipo “cos (wt+ $\Theta$ )”, ajustando las variables  $\Theta$  y w en el tiempo, y permite conocer para la posición de equilibrio a del cuerpo sólido 3 la frecuencia instantánea  $f_i$ . Una vez conocida dicha frecuencia instantánea  $f_i$ , es conocida la relación entre frecuencia y período que es:

$$T = 1 / f_i$$

pudiendo calcular de esta forma el período T correspondiente a la posición de equilibrio a del cuerpo sólido 3 durante la oscilación b.

d) Cálculo del volumen V a través de la fórmula:

$$V = Y \cdot A^2 \cdot P \cdot T^2 / 4 \cdot \pi^2 \cdot m$$

y,

e) Cálculo del volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1 a través de la fórmula:

$$V_1 = V - V_2$$

siendo el volumen interior  $V_2$  del cuerpo hueco 2 comprendido entre la posición inicial O y un extremo 6 acoplado con la cavidad 1, un valor conocido. El cuerpo hueco 2, que en el ejemplo de realización mostrado en la figura 1 es un tubo cilíndrico, comprende los dos extremos 6 y 9, y tiene una longitud preestablecida, pues es utilizado de forma invariable para la medición de las diferentes cavidades 1, o en el ejemplo de las botellas de vidrio, al menos para cada tipo de botella cuyos volúmenes se quieren medir. De esta forma, una vez establecida la posición inicial O desde la que se inicia la oscilación del cuerpo sólido 3, se puede establecer el volumen interior  $V_2$ .

El método de la invención también puede comprender una etapa de cálculo de la posición inicial O de la cavidad 1, tras la etapa de posicionamiento. Cuando siempre se mide el volumen interior  $V_1$  del mismo tipo de cavidad 1 no tiene sentido esta etapa, pues una vez establecida dicha posición inicial O se mantiene constante. Sin embargo si tenemos diferentes cavidades cuyo volumen queremos conocer, la posición inicial O de cada cavidad puede ser diferente, en cuyo caso los medios de procesamiento 5, conocida la longitud del cuerpo hueco 2, y conocida la longitud de cada tipo de cavidad, puede calcular cada nueva posición inicial O.

En el dispositivo 100 mostrado en la figura 1, el cuerpo hueco 2 tiene el extremo 9 abierto al exterior. En un ejemplo de realización en el que se esté midiendo el volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1 extrayendo el cuerpo sólido 3 del cuerpo hueco 2 en cada ciclo, por ejemplo para limpiar dicho cuerpo hueco 2, la presión a ambos lados del cuerpo sólido 3 cuando está en la posición inicial O es la presión atmosférica Pa. En este caso el cálculo del volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1 se realiza con las etapas descritas más arriba. Sin embargo si se quiere automatizar la realización del ciclo de medición, el dispositivo 100 puede comprender unos medios de

igualación de la presión 8. En esta realización el método de la invención comprende una etapa de determinación de la presión tras la etapa de posicionamiento. Estando abierto el extremo 9 del cuerpo hueco 2 los medios de igualación de la presión 8 pueden ser una válvula, de forma que en la etapa de determinación de la presión, tras posicionar el cuerpo sólido 3 en la posición inicial O, se abre la válvula y así se igualan las presiones a ambos lados del cuerpo sólido 3. A continuación se cierra la válvula y continúa el método en la siguiente etapa. En otra realización del dispositivo 100, el extremo 9 del cuerpo hueco 2 puede estar cerrado, y el cuerpo hueco 2 y la cavidad 1 se llenan de un gas a una presión determinada P. En esta realización los medios de igualación de la presión 8 pueden ser una válvula conectada a unos medios de llenado de gas y unos medios de medida de la presión del gas a ambos lados del cuerpo sólido 3. En la etapa de determinación de la presión con esta realización se determina la presión a ambos lados del cuerpo sólido 3 con la que se quiere realizar la medición del volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1.

Dependiendo de las condiciones ambientales en las que se realiza la medición del volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1, o si para cada medida de dicho volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1 se realizan varios ciclos de medida para aumentar la precisión del cálculo realizado, el índice adiabático  $\gamma$  del gas que llena el interior del volumen  $V$  puede sufrir algún cambio. En dicha situación, o si por una mayor exactitud se desea calcular dicho índice adiabático  $\gamma$ , el método de la invención puede calcular dicho índice  $\gamma$  con la ayuda de unos parámetros de temperatura  $T_a$ , y de humedad  $H$ . Cuando en una realización del dispositivo 100 el gas que llena el volumen  $V$  es aire, el índice adiabático  $\gamma$  se puede calcular acudiendo a unas tablas conocidas, tablas que se pueden encontrar en una memoria de los medios de procesamiento 5. Pero el dispositivo 100 de la invención en otra realización puede comprender unos medios de monitorización 10 que se utilizan para medir y monitorizar los valores de la temperatura  $T_a$ , la humedad  $H$ , y la presión atmosférica  $P_a$  del lugar donde se realiza la medición del volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1. En este caso el método comprende, tras la etapa de medición, una etapa de cálculo del índice adiabático  $\gamma$  del gas que llena el interior del volumen  $V$ .

Hasta ahora se ha descrito el método de la invención para medir el volumen interior  $V_1$  de una cavidad 1, pero también puede ser utilizado de forma indirecta para medir el volumen  $V_3$  de un objeto 13. En la figura 3 se muestra una vista esquemática en alzado del dispositivo 100 de la invención, en el que el cuerpo hueco 2 está acoplado a la cavidad 1', estando los volúmenes interiores de ambos cuerpos comunicados.

El dispositivo 100 que implementa el método puede comprender los medios que comprendía la realización del dispositivo 100 de la figura 1. Por simplificación no se han representado los medios de igualación de la presión 8, ni los medios de acoplamiento 11. El método de la invención puede incluir una etapa de cálculo del volumen  $V_{13}$  del objeto 13 tras la etapa de cálculo del volumen interior  $V_1$  de la cavidad 1'.

Se dispone el objeto 13 en el interior de la cavidad 1'. Esta cavidad 1' es una cavidad predefinida cuyo volumen interior  $V'_1$  es conocido. Al introducir el objeto 13 en el interior de la cavidad 1', el volumen  $V'_1$  de esta cavidad 1' se reduce en el volumen  $V_{13}$  del objeto 13. El volumen libre que queda en la cavidad 1' es un volumen  $V_1$  que se puede calcular con el método y dispositivo 100 descritos anteriormente. En esta etapa de cálculo del volumen  $V_{13}$  del objeto 13, dicho volumen  $V_{13}$  se calcula a través de la fórmula:

$$V_{13} = V'_1 - V_1$$

en donde,  
 $V'_1$  es un volumen interior conocido de la cavidad 1', y  
 $V_1$  es el volumen interior libre de la cavidad 1.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo para medir el volumen interior  $V_1$  de una cavidad (1), que comprende un cuerpo hueco (2) acoplable a dicha cavidad (1), de tal manera que el volumen interior  $V_1$  de la cavidad (1) y el volumen interior del cuerpo hueco (2) están en comunicación fluidica, **caracterizado porque** comprende un cuerpo sólido (3) alojado en dicho cuerpo hueco (2), unos medios de detección (4) de la posición de dicho cuerpo sólido (3), y unos medios de procesamiento (5) para determinar el volumen interior  $V_1$  de la cavidad (1) a partir de la oscilación del cuerpo sólido (3) en función del volumen de gas en el interior de la cavidad (1), en donde los medios de detección (4) determinan la posición instantánea (x) del cuerpo sólido (3) durante la oscilación (b) en el tiempo desde una posición inicial (O), produciendo señales características de dicha posición instantánea (x), y en donde los medios de procesamiento (5) reciben y procesan las señales de los medios de detección (4) en función de la fórmula:

$$V = Y \cdot A^2 \cdot P \cdot T^2 / 4 \cdot \pi^2 \cdot m$$

y determinan el volumen interior  $V_1$  de la cavidad (1) a través de la fórmula:

$$V_1 = V - V_2$$

en donde,

- $V_2$  es un volumen interior conocido del espacio comprendido en el cuerpo hueco (2), entre la posición inicial (O) del cuerpo sólido (3) y un extremo (6) del cuerpo hueco (2) que se acopla con la cavidad (1),
- $V$  es un volumen correspondiente a la suma del volumen interior  $V_1$  de la cavidad (1) y del volumen interior  $V_2$ ,
- $Y$  es el índice adiabático del gas que llena el interior del volumen  $V$ ,
- $A$  es el área de la sección transversal del cuerpo hueco (2),
- $P$  es la presión del gas que ocupa el volumen  $V$ ,
- $T$  es el período instantáneo de cada posición de equilibrio (a) del cuerpo sólido (3) durante la oscilación (b), y
- $m$  es la masa del cuerpo sólido (3).

2. Dispositivo según la reivindicación 1, que comprende unos medios de fijación (7) que permiten fijar la masa sólida (3) en la posición inicial (O).

3. Dispositivo según las reivindicaciones 1 o 2, que comprende medios de igualación de la presión (8) para igualar la presión  $P$  y la presión del gas que se encuentra en el cuerpo hueco (2) entre la posición inicial (O) del cuerpo sólido (3) y un extremo (9) del cuerpo hueco (2).

4. Dispositivo según las reivindicaciones 1 o 2, que comprende medios para determinar la presión  $P$  y la presión del gas que se encuentra en el cuerpo hueco (2) entre la posición inicial (O) del cuerpo sólido (3) y un extremo (9) del cuerpo hueco (2).

5. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende medios de monitorización (10) para medir y monitorizar los valores de la temperatura  $T_a$ , la humedad  $H$ , y la presión atmosférica  $P_a$  del lugar donde se realiza la medición del volumen interior  $V_1$  de la cavidad (1), produciendo señales características de dichos parámetros y enviándolas a los medios de procesamiento (5), determinando dichos medios de procesamiento (5) el valor del índice adiabático  $Y$ .

6. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende unos medios de acoplamiento (11) entre el cuerpo hueco (2) y la cavidad (1), para evitar fugas de gas del volumen  $V$  al exterior.

7. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende unos medios de impulsión que permiten forzar la oscilación del cuerpo sólido (3).

8. Método para medir el volumen interior  $V_1$  de una cavidad (1), en donde dicho volumen interior  $V_1$  se calcula a partir de la oscilación del cuerpo sólido (3) en función del volumen de gas en el interior de dicha cavidad (1), el método implementado en un dispositivo (100) adaptado para medir el volumen interior  $V_1$  de una cavidad (1), comprendiendo el dispositivo (100) un cuerpo hueco (2) acoplable a la cavidad (1), de tal manera que el volumen interior  $V_1$  de la cavidad (1) y el volumen interior del cuerpo hueco (2) están en comunicación fluidica, el cuerpo sólido (3) alojado en dicho cuerpo hueco (2), unos medios de fijación (7) que permiten fijar el cuerpo sólido (3), unos medios de detección (4) de la posición de dicho cuerpo sólido (3), y unos medios



de procesamiento (5) para determinar el volumen interior  $V_1$  de la cavidad (1) a partir de la oscilación del cuerpo sólido (3), **caracterizado porque** comprende:

- una etapa de posicionamiento del cuerpo sólido (3) en una posición inicial (O),
- una etapa de medición de la posición instantánea (x) del cuerpo sólido (3) durante la oscilación (b) en el tiempo desde la posición inicial (O), y
- una etapa de determinación de la posición de equilibrio (a) del cuerpo sólido (3) en el tiempo, y cálculo del período T correspondiente a la posición de equilibrio (a) durante la oscilación (b),
- una etapa de cálculo de un volumen V a través de la fórmula:

$$V = \gamma \cdot A^2 \cdot P \cdot T^2 / 4 \cdot \pi^2 \cdot m$$

en donde,

- V es el volumen correspondiente a la suma del volumen interior  $V_1$  de la cavidad (1), y de un volumen interior  $V_2$  conocido del espacio comprendido en el cuerpo hueco (2), entre el cuerpo sólido (3) y un extremo (6) del cuerpo hueco (2) que se acopla con la cavidad (1),
- $\gamma$  es el índice adiabático del gas que llena el interior del volumen V,
- A es el área de la sección transversal del cuerpo hueco (2),
- P es la presión del gas que ocupa el volumen V, y
- m es la masa del cuerpo sólido (3), y
- una etapa de cálculo del volumen interior  $V_1$  de la cavidad (1) a través de la fórmula:

$$V_1 = V - V_2$$

9. Método según la reivindicación 8, que comprende una etapa de cálculo de la posición inicial (O) de la cavidad (1), tras la etapa de posicionamiento.

10. Método según las reivindicaciones 8 o 9, que comprende una etapa de igualación de presión P y la presión del gas que se encuentra en el cuerpo hueco (2) entre la posición inicial (O) del cuerpo sólido (3) y un extremo (9) del cuerpo hueco (2), o alternativamente una etapa de medición de la presión P y la presión del gas que se encuentra en el cuerpo hueco (2) entre la posición inicial (O) del cuerpo sólido (3) y un extremo (9) del cuerpo hueco (2).

11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en donde el dispositivo (100) comprende medios de monitorización (10) para medir y monitorizar los valores de la temperatura  $T_a$ , la humedad H, y la presión atmosférica  $P_a$  del lugar donde se realiza la medición del volumen interior  $V_1$  de la cavidad (1), comprendiendo el método, tras la etapa de medición, una etapa de cálculo del índice adiabático  $\gamma$  del gas que llena el interior del volumen V.

12. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en donde un objeto (13) de volumen  $V_3$  se dispone en el interior de una cavidad (1'), acoplándose el cuerpo hueco (2) a la cavidad (1'), de tal manera que el cuerpo hueco (2) y la cavidad (1') quedan comunicados, comprendiendo el método, tras la etapa de cálculo del volumen interior  $V_1$  de la cavidad (1'), una etapa de cálculo del volumen  $V_{13}$  del objeto (13) a través de la fórmula:

$$V_{13} = V'_1 - V_1$$

en donde,

- $V'_1$  es un volumen interior conocido de la cavidad (1'), y
- $V_1$  es el volumen interior libre de la cavidad (1').

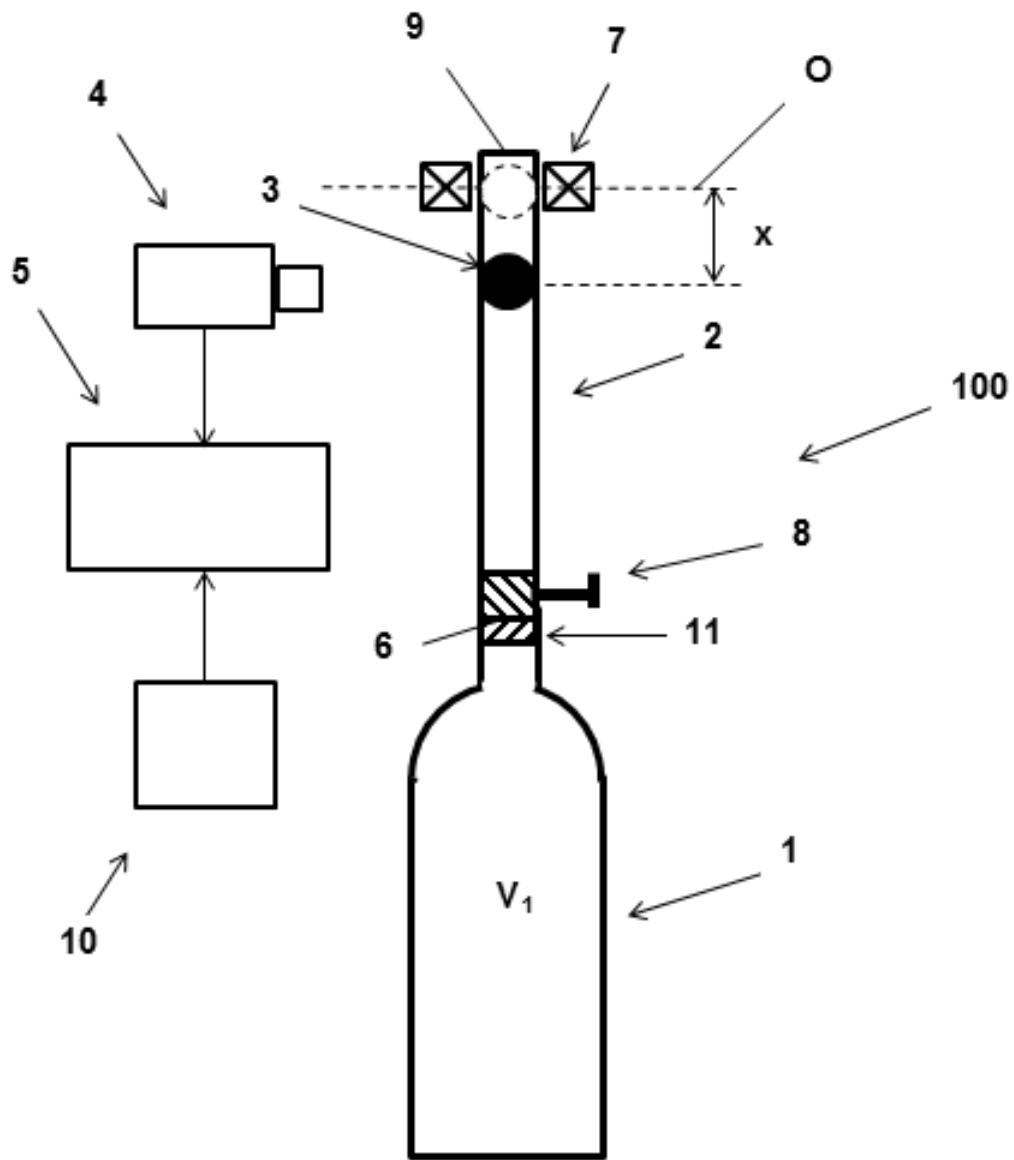
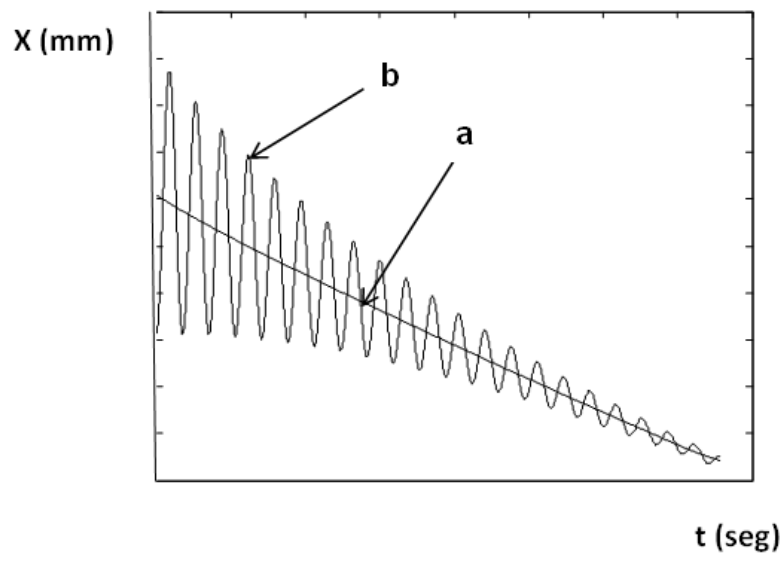


Fig. 1



**Fig. 2**

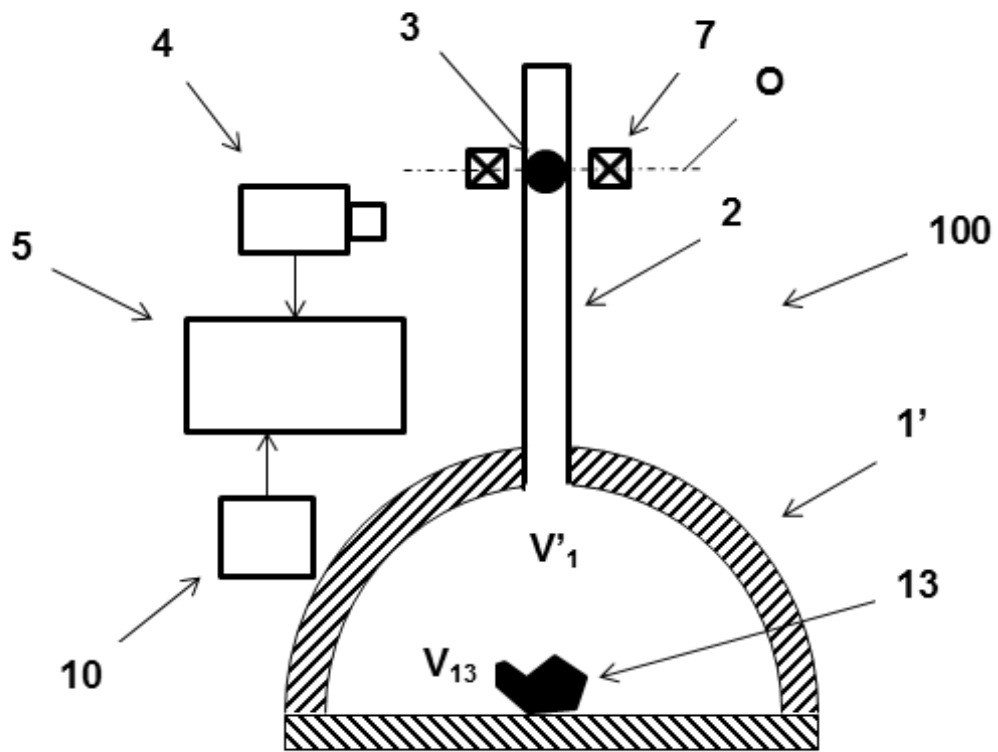


Fig. 3