

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 436 265**

51 Int. Cl.:

G01N 29/036 (2006.01)

G01N 29/28 (2006.01)

G21C 17/10 (2006.01)

G01L 11/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.01.2008 E 08708197 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2013 EP 2115451**

54 Título: **Procedimiento de medición de la presión y/o de la masa molar de un gas en un recinto, y conjunto de medición correspondiente**

30 Prioridad:

26.01.2007 FR 0752922

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

30.12.2013

73 Titular/es:

ELECTRICITÉ DE FRANCE (33.3%)
22-30 Avenue de Wagram
75008 Paris, FR;
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (CNRS) (33.3%) y
UNIVERSITÉ MONTPELLIER 2 SCIENCES ET
TECHNIQUES (33.3%)

72 Inventor/es:

BARON, DANIEL;
FERRANDIS, JEAN-YVES;
LEVEQUE, GÉRARD;
LAUX, DIDIER y
ROSENKRANTZ, ERIC

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 436 265 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

Procedimiento de medición de la presión y/o de la masa molar de un gas en un recinto, y conjunto de medición correspondiente.

5

Campo técnico general

La presente invención se refiere a un procedimiento según el preámbulo de la reivindicación 1.

Estado de la técnica

Se desea poder acceder al valor de la presión en un recinto cilíndrico lleno de una mezcla gaseosa, por ejemplo para la medición de la presión interna de una barra de combustible de un reactor de central nuclear.

15 Se desea asimismo determinar la masa molar de la mezcla gaseosa citada anteriormente.

Para acceder a este tipo de informaciones, se necesita utilizar en general unos métodos destructivos, como la perforación del recinto.

20 Se pueden utilizar también unos métodos basados en la presencia de un gas trazador radioactivo (como el Kriptón 85 por ejemplo). Ahora bien, estos últimos métodos no son aplicables cuando se desea medir la presión en un tubo que forma parte de un haz de tubos que contiene el mismo trazador radioactivo.

Se conoce a partir del documento FR 2 739 925 un sensor acústico que comprende:

25

- por lo menos un transductor que genera una onda acústica y/o que recibe una onda acústica de retorno;
- una barrita de vidrio para transmitir las ondas acústicas, y

30 - una capa líquida de acoplamiento del sensor con la barra, siendo la capa de espesor definido $\lambda/4$, correspondiendo λ al doble del espesor acústico de la pared de la barra.

El sensor permite deducir la presión de gas en el volumen libre de la barra de combustible, gracias a la amplitud de las ondas reflejadas en el transductor.

35

El sensor adolece sin embargo de ciertos inconvenientes.

En primer lugar, permite medir sólo la presión del gas, y no su masa molar.

40 Además, la capa líquida de acoplamiento en $\lambda/4$ permite una buena transmisión de las ondas acústicas en la barra, pero sólo en un pequeño intervalo de frecuencias alrededor de la frecuencia de resonancia de un apilamiento formado por el sensor y la barra.

45 Además, la amplitud de las resonancias del gas es, evidentemente, sensible a la presión, pero también a unas perturbaciones o a unas magnitudes poco conocidas, como la absorción del gas o los defectos de las paredes de la barra. Así, incluso después del calibrado, la precisión de las mediciones sigue siendo baja.

Por último, el método de medición no permite trabajar con unas barras que contienen un objeto que induce una dispersión de las ondas, tal como un resorte.

50

Por otra parte, el documento WO 00/73781 da a conocer una técnica de caracterización de recinto por un sensor a distancia (y no en contacto como en el documento FR 2 739 925) que trabaja gracias a unas vibraciones del recinto (y no del gas como en el documento FR 2 739 925) y además en unos campos de frecuencias muy inferiores a los dados a conocer por el documento FR 2 739 925.

55

Presentación de la invención

La invención propone paliar por lo menos uno de los inconvenientes citados anteriormente.

60 Para ello, se propone según la invención un procedimiento según la reivindicación 1.

La invención está ventajosamente completada por las características recogidas en las reivindicaciones subordinadas 2 a 6.

65 La invención presenta numerosas ventajas.

El nuevo acoplamiento "sensor-recinto" está concebido para permitir una transmisión en una banda espectral mucho más ancha que la de la técnica anterior. El apilamiento acústico formado por el recinto, la capa de acoplamiento y el transductor puede vibrar en una banda ancha de frecuencias. Preferentemente, la anchura de la banda debe alcanzar 1 MHz para las paredes de recinto en aleación de circonio actuales que vibran a aproximadamente 4 MHz, es decir el 25% en valor relativo.

El sensor de banda ancha permite excitar numerosas resonancias del gas. El hecho de excitar numerosas resonancias del gas permite, por efecto de media en un tratamiento adaptado (que utiliza en particular la integral J de la respuesta espectral del gas), librarse de la absorción del gas, y en gran parte de las imperfecciones del recinto.

El sensor permite aumentar notablemente la precisión sobre la medición de presión.

El sensor y el procedimiento de medición asociado permiten unas mediciones sobre unos recintos que contienen un resorte, siendo el efecto de este último entonces simplemente considerado como una atenuación suplementaria.

Además, el procedimiento de medición en banda ancha permite aumentar la precisión de la medición de la celeridad de las ondas acústicas, y también la de la masa molar de la mezcla gaseosa.

El sensor y el procedimiento de medición tienen numerosas aplicaciones.

Permiten unos ensayos sobre unas barras de combustible nuclear, en funcionamiento y en almacenaje.

Permiten unas mediciones no destructivas de la presión y de la masa molar de gas en las barras de combustibles nucleares, en particular que contienen una mezcla gaseosa de helio, xenón y kriptón principalmente. La medición se realiza sobre la parte alta de la barra, en la cámara de expansión de la columna de combustible, a nivel del resorte de mantenimiento.

El procedimiento de medición se puede realizar en piscina en los interciclos, durante las paradas de tramos. El sensor permite entonces:

- detectar una o varias barras de combustible no estancas en un ensamblaje que comprende una pluralidad de barras;
- ayudar a la decisión para una recarga del ensamblaje de las centrales;
- ayudar a la decisión antes del almacenaje reversible;
- incrementar la base estadística de soporte en la simulación digital.

Asimismo, es posible la utilización para exámenes no destructivos en célula caliente (células blindadas para funcionar sobre materiales activos) con los mismos objetivos.

Presentación de las figuras

Otras características, objetivos y ventajas de la invención se desprenderán de la descripción siguiente, puramente ilustrativa y no limitativa, y que debe ser leída con respecto a los dibujos adjuntos, en los que:

- las figuras 1A y 1B representan esquemáticamente dos modos de realización, en un recinto, de ejemplos de sensores utilizados en el procedimiento según la invención, formando entonces cada sensor y el recinto un apilamiento acústico;
- la figura 2 representa esquemáticamente la impedancia eléctrica del apilamiento acústico citado anteriormente en función de la frecuencia;
- la figura 3A representa una curva de las partes Real e Imaginaria de la tensión no filtrada en función de la frecuencia;
- la figura 3B representa un ejemplo de respuesta de las resonancias del gas que aparecen rectificadas, estando retirada la respuesta del transductor, de la capa de acoplamiento y del recinto 1;
- la figura 4 representa esquemáticamente las etapas principales de un ejemplo de un procedimiento de realización del sensor; y
- la figura 5 es un ejemplo de una curva de calibrado del sensor.

En el conjunto de las figuras, los elementos similares llevan referencias numéricas idénticas.

Descripción detallada

- 5 Se ha representado esquemáticamente en las figuras 1A y 1B un recinto 1 que contiene un gas 2.
- 10 El recinto 1 es, por ejemplo, una barra de combustible y el gas 2 es, por ejemplo, helio o una mezcla de gas.
- 15 El recinto 1 soporta un sensor acústico.
- El sensor acoplado al recinto forma por lo tanto un conjunto formado por un lado por el sensor y por otro lado por el recinto.
- El sensor acústico permite la medición de por lo menos un parámetro físico del gas 2, como por ejemplo la presión del gas en el recinto y/o su masa molar.
- El sensor acústico comprende:
- por lo menos un transductor 5 para
 - 20 por un lado, generar una señal acústica que hace vibrar el recinto y el gas, y
 - por otro lado, detectar una señal acústica de respuesta característica de las vibraciones del gas y del recinto;
 - 25 - una capa de acoplamiento 6 entre el transductor 5 y el recinto 1;
 - un sistema 8 eléctrico que está unido al transductor 5 y que permite:
 - 30 la excitación de dicho transductor 5, y
 - el análisis de las señales de respuesta.
- En general, el recinto es de forma cilíndrica de revolución, este el caso en particular de las barras de combustible, por ejemplo.
- 35 Se entiende sin embargo que el recinto puede ser de cualquier forma cilíndrica, como por ejemplo con caras planas paralelas.
- En el caso de una forma cilíndrica de revolución, preferentemente, todos los elementos del sensor son concéntricos.
- 40 El transductor 5 puede comprender un respaldo 7. El respaldo 7, que tiene capacidades de reflexión o de absorción de las señales acústicas, tiene una influencia sobre las propiedades acústicas del sensor. La utilización de respaldos resonantes no debe perturbar la banda espectral de utilización del sensor.
- 45 El sistema 8 transmite unas señales eléctricas al transductor 5. El transductor 5 convierte las señales eléctricas en señales acústicas, y recíprocamente. Para ello, el transductor 5 es clásicamente del tipo piezoeléctrico (por ejemplo un material PZT, Plomb Zirconium Titane Oxyde).
- 50 La capa 6 de acoplamiento puede adoptar varias formas, como un líquido o un sólido. Está contenida en el volumen definido por la cara interna del transductor 5, la cara externa del recinto 1 y unas cuñas 9 interpuestas entre estas dos caras. Las cuñas 9 son opcionales en el caso de una capa 6 sólida.
- 55 En el caso de una capa 6 sólida, se debe asegurar la buena transmisión de las ondas acústicas en las interfaces, o bien mediante unos encolados, o bien mediante unos acopladores líquidos en capa muy delgada. Si el efecto de estas capas delgadas no es despreciable, conviene incluirlas en los tiempos de tránsito recomendados en la tabla 1 más adelante.
- 60 Cuando el sensor está colocado sobre el recinto 1, se está entonces en presencia de un apilamiento acústico constituido por la pared 10 del recinto 1, por la capa de acoplamiento 6 y por el transductor 5. La pared 10 del recinto 1 y el transductor 5 tienen una fuerte impedancia acústica, mientras que el gas 2 y la capa 6 de acoplado tienen una baja impedancia acústica.
- De acuerdo con la invención, los diversos espesores de materiales piezoeléctrico 5 y de la capa de acoplado 6 se sintonizan a la frecuencia de resonancia libre de la pared 10.
- 65 Esta sintonización se define en función de los tiempos de recorrido de la capa 6 por las ondas acústicas.

ES 2 436 265 T3

T_{10} es el tiempo de recorrido de la pared 10 del recinto 1 por las ondas acústicas, $T_{10} = e_{\text{recinto}}/C_{\text{recinto}}$, siendo e_{recinto} y C_{recinto} respectivamente el espesor de la pared y la celeridad de las ondas acústicas en la pared. El primer periodo de resonancia libre de esta pared es entonces $2T_{10}$. Se denomina a esta resonancia el modo $\lambda/2$.

5 T_5 es el tiempo de recorrido del transductor 5 por las ondas acústicas. El transductor 5 debe vibrar en el mismo modo $\lambda/2$ a la misma frecuencia que la pared 10, por lo tanto el espesor del transductor 5 es tal que T_5 es igual a T_{10} .

La impedancia acústica del transductor es del orden de $30 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$ para PZT.

10 El espesor de la capa de acoplado 6 está asimismo determinado a partir de T_{10} . Se pueden considerar varios casos.

Tabla 1

Impedancia acústica de la capa de acoplamiento en $10^6 \text{ SI (Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3})$	Tiempo de tránsito $T_6 = [n - (1/2)]T_{10}$	Tiempo de tránsito $T_6 = nT_{10}$
$0,5 < Z < 3$	Banda estrecha	Banda ancha
$3 < Z < 15$	Banda ancha	

15 n es un número entero, preferentemente igual a 1.

El caso de un tiempo de tránsito T_6 igual a $T_{10}/2$ (espesor denominado $\lambda/4$) en agua ($Z = 1,5 \cdot 10^6 \text{ SI}$) corresponde al sensor dado a conocer en el documento FR 2 739 925. Es un sistema de "banda estrecha".

20 La precisión realizada sobre los tiempos de tránsito debe ser de $\pm 20\%$ en un montaje estándar; pero cuanto más se acerque el tiempo de tránsito a las condiciones de la tabla, mejor será la reproducibilidad de las mediciones, ya que se sitúa entonces sobre un extremo de la respuesta del sensor.

25 Estas precisiones dan, para una capa de acoplamiento que tiene una impedancia acústica comprendida entre $0,5 \cdot 10^5$ y $3 \cdot 10^6 \text{ SI}$ (caso de los líquidos por ejemplo), un espesor acústico comprendido entre $0,4\lambda$ y $0,6\lambda$, en el que λ es la longitud de onda, en la capa de acoplamiento, a la frecuencia f_0 de vibración libre de una pared 10 del recinto 1, siendo $f_0 = C_{\text{recinto}}/(2 e_{\text{recinto}})$.

30 Asimismo, para una capa 6 de acoplamiento que tiene una impedancia acústica comprendida entre $3 \cdot 10^6$ y $15 \cdot 10^6 \text{ SI}$ (caso de los sólidos por ejemplo), se obtiene un espesor acústico de la capa comprendida entre $0,2\lambda$ y $0,3\lambda$, en el que λ es la longitud de onda, en la capa de acoplamiento, a la frecuencia f_0 de vibración libre de una pared 10 del recinto 1.

35 La figura 2 muestra la impedancia de un sensor que trabaja en reflexión (caso del montaje de la figura 1A). Una banda de amplitud de 0,3 MHz para una frecuencia central -es decir, una frecuencia de resonancia de la pared 10 libre- de 4 MHz corresponde a un sensor poco satisfactorio.

40 Preferentemente, la anchura de la banda es del orden del 20% de la frecuencia de resonancia central, incluso el 25%.

Los dos casos marcados "banda ancha" corresponden al sensor de banda ancha según la invención. El sensor acústico está concebido para tener una sensibilidad en una banda ancha espectral más que una sensibilidad elevada a una sola frecuencia.

45 De manera más general, se denomina "banda ancha" a una anchura de la banda de frecuencias que es tal que se generan por lo menos dos, preferentemente del orden de diez, resonancias del gas.

En otras palabras, el sensor acústico está caracterizado porque su banda de frecuencias de transmisión de las señales acústicas tiene una anchura L tal que:

50

$$L \geq \frac{c}{D}$$

en la que c es la celeridad de las ondas acústicas en el gas del recinto, y D es la dimensión interior del recinto,

55 estando la banda de frecuencias de transmisión centrada alrededor de f_0 , en la que f_0 es la frecuencia de vibración libre de una pared del recinto a la que el sensor está acoplado durante una medición f_0 .

La parte eléctrica del sensor se describirá ahora rápidamente. El transductor 5 es, por ejemplo, una teja de PZT (Plomb Zirconium Titane oxyde). El transductor 5 también puede ser un compuesto piezoeléctrico polimérico. Estos

transductores pueden ensanchar la banda espectral de utilización del sensor, disminuyendo el factor de calidad del sensor.

El transductor 5 está unido al sistema 8 por unos hilos conductores 80.

El sistema 8 comprende por un lado un generador de tensión y, por otro lado unos medios de medición de la tensión eléctrica proporcionada por el sensor en función de la frecuencia $V(f)$, o de su respuesta temporal $V(t)$ a un impulso de tensión. Estas mediciones permiten determinar la presión y la masa molar del gas en el recinto, como se describe a continuación en referencia a la figura 4.

Una primera etapa 41 del procedimiento consiste, por ejemplo, en excitar el transductor 5 gracias al sistema 8 con una tensión U sinusoidal de frecuencia ajustable en el dominio útil. Se deduce de ello un espectro de respuesta frecuencial de tensión $V(f)$ de la figura 3A.

Otra posibilidad para la primera etapa (etapa 42) consiste en excitar el transductor 5 por una serie de impulsos. Se obtiene una tensión $V(t)$. Es necesaria una transformación de Fourier de las señales eléctricas procedentes del transductor 5 para deducir un espectro de respuesta frecuencial $V(f)$ del sistema como anteriormente.

El espectro $V(f)$ complejo (etapa 43) constituye el punto de partida del tratamiento de la señal.

El tratamiento del espectro procedente de las dos etapas anteriores es entonces común, como se muestra en la figura 4.

La respuesta global del sensor está compuesta por las resonancias del gas 2 y por las resonancias del sensor acústico acoplado al recinto 1.

Ahora bien, las resonancias del gas 2, al deberse a las ondas estacionarias radiales en el recinto 1, son periódicas en función de la frecuencia. Por lo tanto, son fácilmente distinguibles y separables de las otras resonancias.

Las resonancias debidas al gas 2 son las que corresponden a los picos 20 en las curvas de la figura 2.

Durante la etapa 44, se efectúa una transformación matemática sobre el espectro frecuencial complejo de la figura 2 para obtener una curva real $X(f)$ en la que las resonancias del gas aparecen solas y rectificadas, estando retiradas las resonancias del transductor 5, de la capa 6 y del recinto 1 (como en la figura 3B). Este tratamiento digital de la respuesta espectral del sensor es necesario para corregir las fases variables de las resonancias del gas. Uno de los tratamientos posibles consiste en sustraer de $V(f)$ las partes lentamente variables (por ventanaje en el espacio temporal por ejemplo) y después en tomar el módulo de la señal.

La etapa 53 consiste en medir la diferencia Δf entre por lo menos dos frecuencias de resonancia del gas. Se deduce después de dicha diferencia Δf , la celeridad c de las ondas acústicas en el gas. Se pueden presentar dos casos según que la medición se lleve a cabo con uno o dos sensores.

- 1/ En la figura 1A, el transductor 5 es único y trabaja "en reflexión". Genera las ondas acústicas hacia el recinto y recibe las ondas acústicas procedentes del recinto 1. En este caso, la celeridad c de las ondas acústicas en el gas se deduce mediante:

$$c = 2D\Delta f$$

en la que D es el diámetro interior del recinto en el caso de un recinto cilíndrico de revolución. En el caso de un recinto de caras planas paralelas, se comprende que D hace referencia a la dimensión interior que atraviesan las ondas entre dos paredes del recinto.

- 2/ En la figura 1B, está previsto montar alrededor del recinto dos sensores, posicionados de manera simétrica a uno y otro lado del recinto 1. Un transductor 5 genera una señal acústica de excitación que hace vibrar el recinto y el gas, y otro transductor 5 detecta la vibración de respuesta. El interés de este montaje es separar la señal de excitación y la señal de respuesta. En este caso, la celeridad c de las ondas acústicas en el gas se deduce mediante:

$$c = D\Delta f$$

En los dos casos, se alcanza una mejor precisión si se mide la diferencia Δf entre varias resonancias (media de varias resonancias entre los picos 20 de la figura 2 por ejemplo), o si se determina la diferencia Δf mediante un tratamiento matemático de las posiciones de las resonancias (uno de los tratamientos posibles es de tipo transformada de Fourier por ejemplo), de ahí la necesidad de tener un sistema que pueda excitar el gas en una banda ancha espectral.

ES 2 436 265 T3

La etapa 53 se puede efectuar sobre el espectro complejo $V(f)$ procedente de la etapa 43, pero preferentemente sobre la respuesta $X(f)$ real procedente de la etapa 44, para la cual se pueden utilizar unos procedimientos de búsqueda de periodicidad.

5

En la etapa 63, se puede calcular la masa molar M del gas a partir de la celeridad c deducida de la etapa 53:

$$M = \frac{\gamma RT}{c^2}$$

10 en la que R es la constante de los gases perfectos, γ es la relación de los calores específicos para los gases perfectos, y T es la temperatura.

La relación anterior es válida para los gases perfectos. En el caso de una mezcla de gases, se pueden introducir unas correcciones procedentes de la ecuación de los gases reales.

15

En el caso de una mezcla binaria de gases monoatómicos, tal como una mezcla de helio-xenón, la medición de la masa molar permite una deducción inmediata de la composición másica x de la mezcla, ya que:

$$M = xM_{Xe} + (1 - x)M_{He}$$

20

en la que M_{Xe} y M_{He} son las masas atómicas del xenón y del helio.

La etapa 54 permite la medición de la presión del gas. El principio de medición es el siguiente.

25 La amplitud de las resonancias del gas observada sobre la respuesta $X(f)$ de la figura 3B es proporcional a la impedancia acústica del gas en el recinto 1 y permite deducir la presión gracias a las etapas formuladas a continuación.

La impedancia acústica $Z_{gas}(f)$ del gas, por ejemplo en una cavidad rígida de caras planas paralelas se escribe:

30

$$Z_{gas}(f) = \frac{\rho c}{i \tan(kD)}$$

en la que ρ es la masa volúmica del gas,

c es la celeridad del gas,

35

$i^2 = -1$,

$k = \frac{2\pi f}{c} - i\alpha$,

α es el coeficiente de absorción del gas, y

D es la dimensión interior del recinto

40 La integral I de la impedancia acústica del gas, para una resonancia, tiene la propiedad de ser independiente de la absorción del gas. Se expresa en efecto mediante:

$$I = \int Z_{gas} df = \frac{\rho c^2}{2D}$$

45 Evidentemente, la amplitud de las resonancias del gas observada sobre la curva $X(f)$ no es una medición de la impedancia del gas, sino que está modulada por la sensibilidad relativa $S(f)$ del sensor, función que depende de la frecuencia. Por lo tanto, no se puede deducir la presión de una medición sobre una sola resonancia del gas.

50 La sensibilidad relativa $S(f)$ del sensor es una característica estable del sensor, la suma de las integrales I para todas las resonancias presentes en la ventana de observación del sensor, tamaño denominado STG (Sensibilidad Total al Gas) es una magnitud que depende sólo del gas.

$$STG = I \sum_n S_n$$

55 en la que S_n es la sensibilidad relativa del sensor para la n -ésima frecuencia de resonancia del gas.

Esta magnitud no necesita ser conocida precisamente, ya que el sensor necesita un calibrado. En el caso ideal en el que el sensor es sensible en una ventana de anchura F , en la que la sensibilidad sería constante e igual a S , entonces

$$STG = mIS$$

en la que m es el número de resonancias presentes en la ventana.

5

Como las resonancias están distantes en $\Delta f = \frac{c}{2D}$, entonces

$$m = \frac{F}{\Delta f} = \frac{2DF}{c}$$

10 Para los gases perfectos: $PV = nRT$, $\rho = \frac{nM}{V}$ de lo cual $\rho c = \gamma \frac{P}{c}$

La sensibilidad total al gas se convierte en:

$$STG = F S \rho c = F S \gamma \frac{P}{c}$$

15

en la que γ es la relación de los calores específicos para los gases perfectos.

En el caso ideal, la medición de STG es proporcional a la presión del gas. La necesidad de tener un sensor de banda ancha es necesaria para obtener numerosas resonancias en la ventana de integración y estabilizar la integral.

20

En la etapa 54, por similitud con el caso ideal anterior, se calcula la integral J de la respuesta frecuencial experimental X(f) en el campo F de la sensibilidad del sensor:

$$J_{teórico} = \int_F X(f) \cos(2\pi f n T) df = \chi \frac{P}{c}$$

25

Siendo T, el periodo fundamental de resonancia del gas y n, el orden de la armónica seleccionada.

El caso n=1 es el más favorable.

30

Esta integral es proporcional P/c y permite una medición de la presión P si se conoce la constante X.

Ahora bien, la constante X es característica de un sensor. Desafortunadamente, no se pueden deducir con suficiente precisión las dimensiones y propiedades de los materiales del sensor.

35

Además, un estudio teórico y experimental de la integral J muestra que el razonamiento anterior es sólo una primera aproximación. La integral J depende, en realidad, ligeramente de la absorción del gas, lo cual hace que la función J(P) no sea lineal (véase la figura 5). La función J(P) es casi lineal para las altas presiones (alrededor de los 100 bares), por el contrario, la respuesta del sistema desaparece para las bajas presiones (<20 bares), ya que el gas es muy absorbente.

40

En conclusión, la función J(P, c) se puede obtener sólo por un calibrado previo del sensor con un gas conocido, en función de la presión P y de la naturaleza del gas (para hacer variar c). Para una medición sobre un gas desconocido, se deduce en primer lugar c en la etapa 53, y después se deduce P en la etapa 64 de la lectura de las curvas de calibrado obtenida con el sensor utilizado, para la velocidad c.

45

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la medición de por lo menos un parámetro físico sobre un recinto (1) lleno de un gas (2), efectuándose la medición por medio de un sensor acústico,

5 comprendiendo el sensor acústico por lo menos un transductor (5), un sistema eléctrico (8) conectado al transductor (5) y una capa de acoplamiento (6) para acoplar el transductor (5) al recinto (1),

comprendiendo el procedimiento las etapas que consisten en:

- 10
- generar, gracias al transductor (5), una señal acústica de excitación que hace vibrar el recinto (1) y el gas (2) en una banda ancha de frecuencias,
 - detectar, gracias al transductor (5) una señal acústica de respuesta, característica de las vibraciones del
 - 15 recinto y del gas;
 - analizar unas señales eléctricas de respuesta procedentes del transductor (5) gracias al sistema (8);

estando el procedimiento caracterizado porque comprende las etapas que consisten en, gracias al sistema (8):

- 20
- medir las amplitudes de las señales eléctricas de respuesta procedentes del transductor (5), para determinar el conjunto de las frecuencias de resonancia del gas (2);
 - extraer las frecuencias de resonancia del gas del conjunto de las frecuencias de resonancia del sensor;
 - 25 - medir la diferencia entre por lo menos dos frecuencias de resonancia del gas;
 - deducir, gracias a la medición de dicha diferencia, la celeridad c de las ondas acústicas en el gas;
 - 30 - calcular la masa molar M del gas mediante:

$$M = \frac{\gamma RT}{c^2}$$

35 en la que R es la constante de los gases perfectos, T es la temperatura y γ es la relación de los calores específicos para los gases perfectos; y/o

- calcular la integral J de la señal acústica de respuesta real $X(f)$ del gas en el recinto, en el que $X(f)$ es una curva real en la que las resonancias del gas aparecen solas y rectificadas, estando retiradas las resonancias del transductor (5), de la capa (6) y del recinto (1); y
- 40 - gracias además a la celeridad deducida en las etapas anteriores, deducir la presión P del gas a partir del cálculo de la integral J , gracias a un calibrado previo que representa la curva $J(P, c)$ para un gas de presión y de naturaleza conocidos.

45 2. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende, en el caso en el que el sistema (8) excita el transductor (5) por una serie de impulsos temporales, una etapa de conversión, en el espacio de las frecuencias, por transformación de Fourier, de las señales eléctricas temporales procedentes del transductor (5).

50 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2, que comprende una etapa de utilización de la propiedad según la cual las frecuencias de resonancia del gas (2) en el recinto (1) son periódicas, para extraer las frecuencias de resonancia del gas en el recinto.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que

- 55
- si el sensor comprende un solo transductor (5) que trabaja en reflexión, la celeridad c de las ondas acústicas en el gas se deduce por:

$$c = 2D\Delta f$$

60 en la que D es la dimensión interior del recinto y en la que Δf es la diferencia entre dos frecuencias de resonancia del gas; y

- si el sensor comprende dos transductores (5) que trabajan en transmisión, generando un transductor una señal acústica que se propaga hacia el recinto (1) y detectando otro transductor una señal acústica de respuesta, la celeridad c de las ondas acústicas en el gas se deduce por:

5
$$c = D\Delta f$$

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la integral J de la respuesta del sensor se calcula mediante:

10
$$J = \int_F X(f) \cos(2\pi fnT) df$$

siendo T , el periodo fundamental de resonancia del gas y n , el orden de la armónica seleccionada,

15 en la que F es la anchura frecuencial de sensibilidad del sensor y en la que $X(f)$ es una curva real en la que las resonancias del gas aparecen solas y rectificadas, estando retiradas las resonancias del transductor (5), de la capa (6) y del recinto (1),

siendo J significativa de la presión, presión que puede ser deducida por calibrado.

20 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la anchura de la banda de frecuencias es tal que se generan por lo menos dos, preferentemente del orden de diez, resonancias del gas.

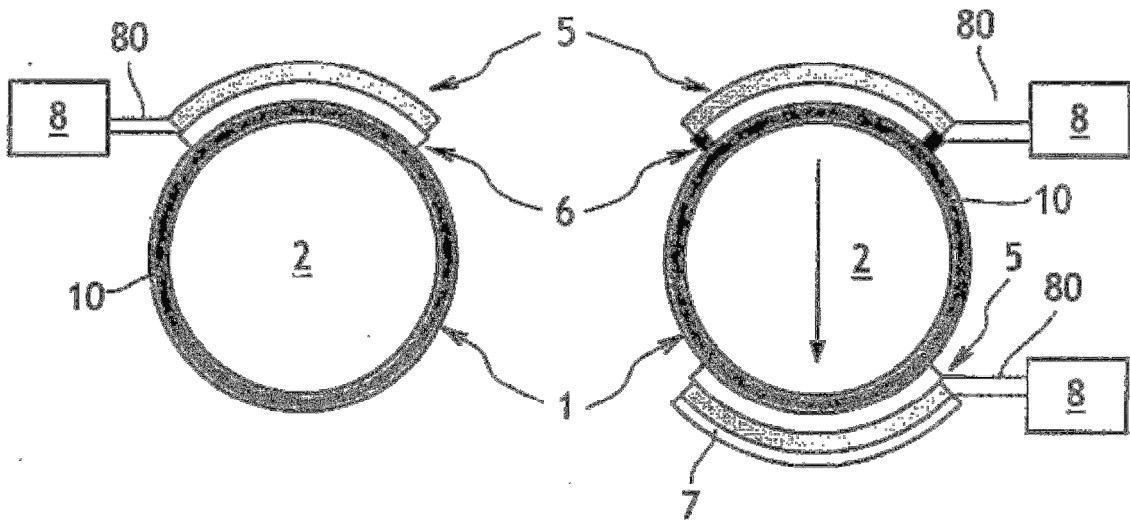


FIG.1A

FIG.1B

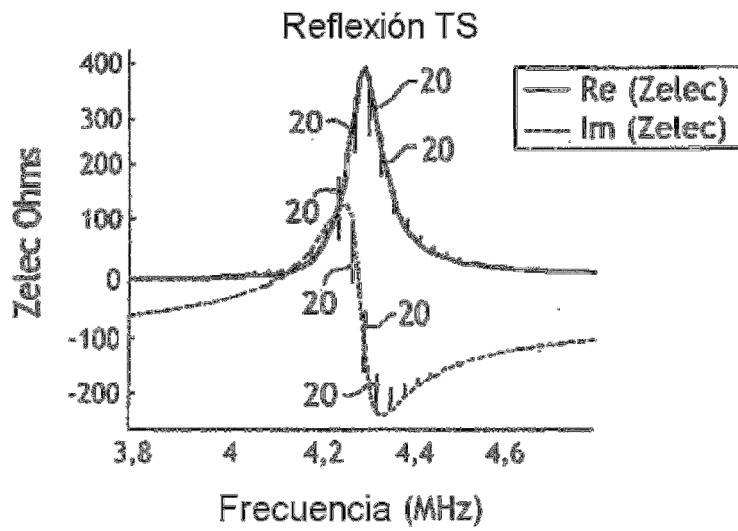


FIG.2

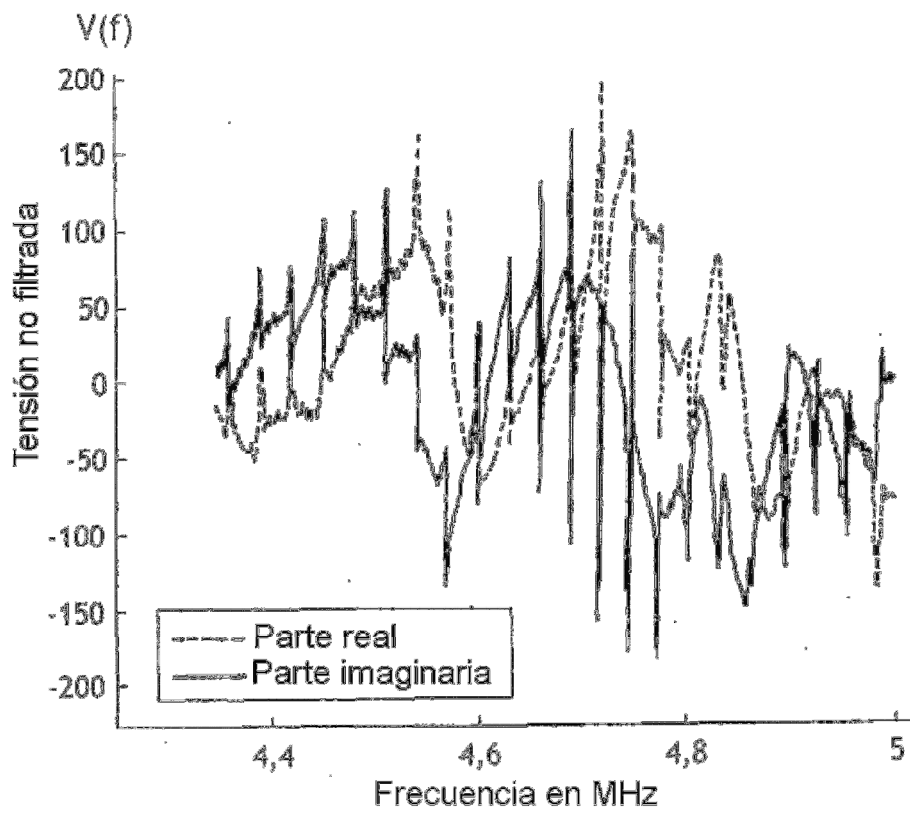


FIG.3A

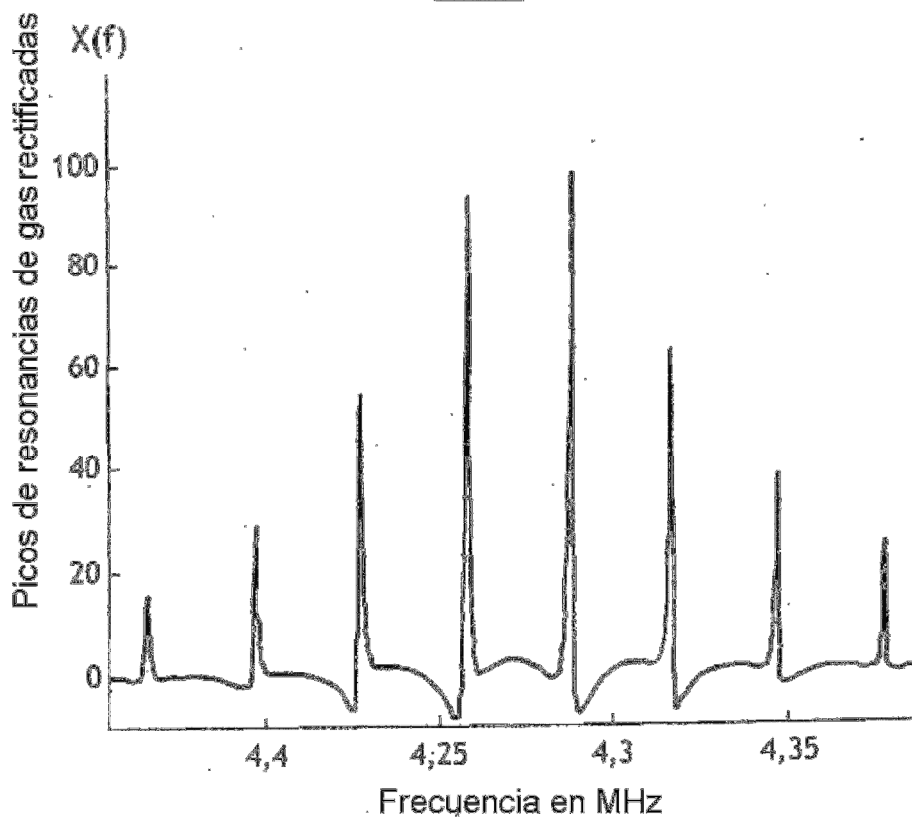


FIG.3B

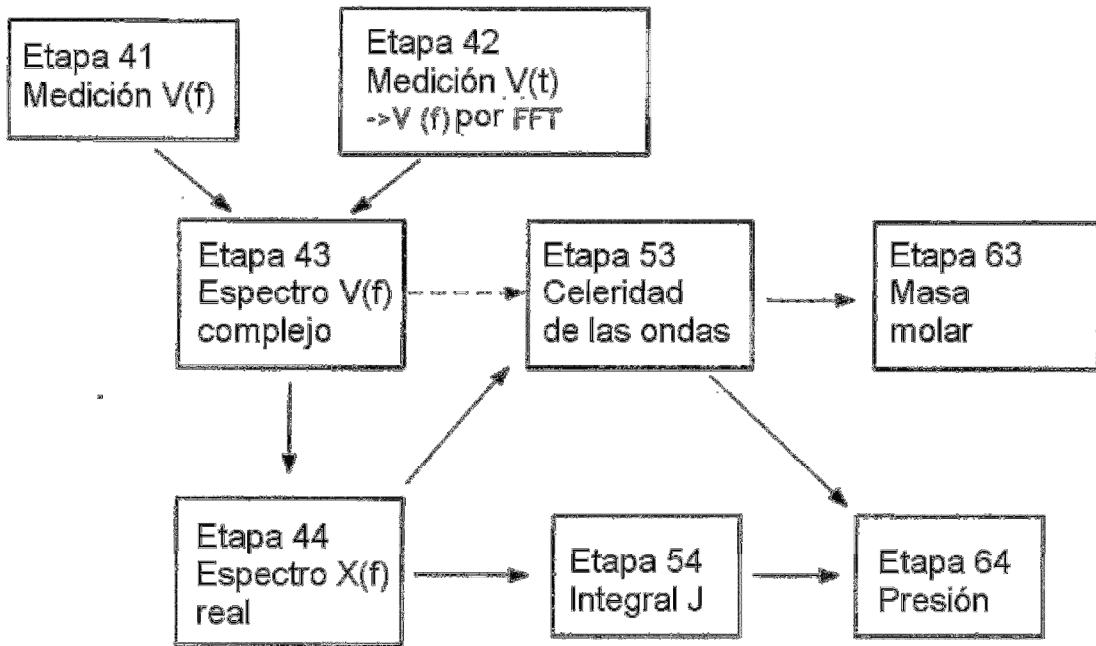


FIG.4

Ejemplo de calibrado

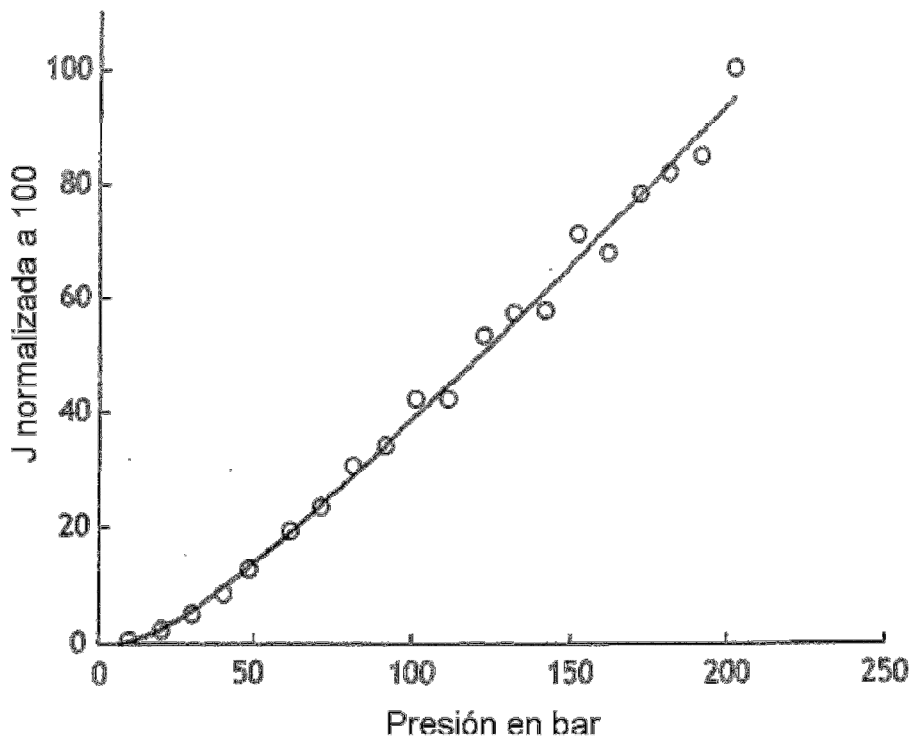


FIG.5