

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 771 798**

51 Int. Cl.:

**G01N 33/22** (2006.01)

**G01N 25/18** (2006.01)

**G01N 29/024** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2015** **E 15003229 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019** **EP 3021117**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de medición para la determinación de variables específicas para la constitución del gas**

30 Prioridad:

**14.11.2014 EP 14003855**

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

**07.07.2020**

73 Titular/es:

**MEMS AG (100.0%)  
Rebmoosweg 29a  
5200 BRUGG, CH**

72 Inventor/es:

**PRÊTRE, PHILIPPE**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 771 798 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 y dispositivo de medición para la determinación de variables específicas para la constitución del gas

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo de medición para la determinación de variables específicas para la constitución del gas y/o del consumo de energía en el sector doméstico y en el sector industrial.

10 La composición del gas (natural) y, por lo tanto, la constitución del gas oscilará en el futuro, en virtud de nuevas fuentes de procedencia (biogas, gas natural licuado de todas las regiones del mundo, hidrógeno a partir de la utilización de la corriente excesiva durante la recuperación de energía alternativa), más y con mayor frecuencia que actualmente y, por lo tanto, tendrá en procesos de aplicación de gas diferentes repercusiones, a veces también negativas. Con la medición directa de variables específicas para la constitución del gas en el lugar podrían ajustarse los procesos a la calidad variable del gas para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro. A las variables específicas para la constitución del gas pertenecen, por ejemplo, el índice de Wobbe para controles de quemadores, el índice del aire en instalaciones de obtención de energía (hornos industriales o células de combustible, etc.), el índice de metano para motores de gas o el índice de combustión para el cálculo de la cantidad de energía obtenida. Esto último presupone, sin embargo, que se mide también la cantidad de gas obtenida, lo que hasta ahora se realiza, salvo pocas excepciones, por medio de una medición del flujo volumétrico con medidores de gas de diafragma (domésticos) o en el caso de grandes compradores de grandes volúmenes de gas (industria) por medio de contadores de ruedas de turbina o de contadores por ultrasonido. Todos estos medios de medición sólo son adecuados para la determinación del volumen de funcionamiento. Para deducir a partir de estos datos la energía adquirida facturable son necesarios tanto una conversión al volumen normal como también el conocimiento del índice de combustión del gas suministrado en cada caso. Ambas cosas se realizan sólo de una manera poco exacta: la mayoría de las veces se calcula el volumen normal con una temperatura media y una presión media y también el índice de combustión es un valor medio sobre el periodo de cálculo.

El objeto de la invención es indicar un procedimiento y un dispositivo de medición, con los que se pueden calcular en tiempo real variables específicas para la constitución del gas y/o el consumo de energía.

30 En la publicación EP 0 715 169 A1 se describen un procedimiento y un dispositivo de medición, en los que se determinan variables de medición, como densidad, viscosidad, velocidad del sonido, conductividad térmica o calor específico, de un gas, para derivar a partir de ellos por medio de tablas de correlación el índice de combustión o índice de Wobbe.

35 Se conoce a partir del documento EP 2 015 056 A1 un procedimiento, en el que se utiliza la relación, determinada con un sensor microtérmico entre la capacidad térmica y la conductividad térmica, para determinar por medio de correlación el índice de combustión o índice de Wobbe.

40 Se conoce a partir del documento WO 2004/008136 A1 un procedimiento, en el que se miden la conductividad térmica, la capacidad térmica y la parte dioxidante de carbono para determinar a partir de ello por medio de correlación el índice de combustión.

45 En el documento WO 02/40992 A1 se describe un procedimiento, en el que a partir de la conductividad térmica a dos temperaturas diferentes y la velocidad del sonido se deriva la composición de un gas combustible.

50 A partir de la solicitud de patente EP 14001767 se conoce un procedimiento, en el que se genera un caudal de flujo con una tobera crítica, para determinar con un sensor microtérmico conectado a continuación unas variables específicas para la constitución del gas. Este procedimiento se basa en que a través de la tobera predominan siempre relaciones de presión críticas, ya sea a través de la impulsión de la tobera con una presión previa o a través de la generación de un vacío detrás de la tobera. Por lo tanto, el procedimiento no es adecuado directamente para la determinación de variables específicas para la constitución del gas en el consumidor final, puesto que las redes de abastecimiento a este lugar en raras ocasiones presenta la presión previa necesaria, y no se contempla la instalación de una bomba de vacío detrás de la tobera.

55 se conoce a partir del documento EP 2 574 918 A1 un procedimiento, en el que se utiliza un sensor microtérmico para evaluar un aparato de medición del caudal de flujo volumétrico con el propósito de que se pueda determinar la difusividad térmica, lo que permite una clasificación de los gases de gases L (de bajo valor calórico) y gases H (de alto valor calórico). A partir del caudal de flujo volumétrico, de la difusividad térmica y de la conductividad térmica no se puede deducir, sin embargo, en general, con suficiente exactitud el índice de combustión y el flujo de energía.

60 El cometido de la presente invención es eliminar los inconvenientes de los procedimientos mencionados y proponer un procedimiento y un dispositivo de medición, que son adecuados para redes de gas de baja presión, y por medio de los cuales se pueden determinar, además de la clasificación de los gases en gases L y gases H, respectivamente, también el índice de combustión y el consumo de energía.

Este cometido se soluciona por medio de un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 y por medio de un dispositivo de medición de acuerdo con la reivindicación 7.

5 La invención se basa en la idea de combinar para la determinación de variables específicas para la constitución del gas y/o para la determinación del consumo de energía un sensor del caudal de flujo por ultrasonido con un sensor microtérnico, como se indica a continuación.

Medición de la velocidad del sonido y del caudal de flujo volumétrico por medio de sensores de caudal de flujo por ultrasonido:

10 Para la determinación del caudal de flujo volumétrico se acopla típicamente una señal de ultrasonido en un ángulo transversalmente a la dirección de la circulación en el medio de flujo y se mide la diferencia del tiempo de propagación de la señal de ultrasonido tanto en la dirección de la circulación como también en contra de la dirección de la circulación (figura 1b). La diferencia del tiempo de propagación de las dos señales de ultrasonido es entonces una medida para la velocidad medio del flujo, a partir de la cual se puede calcular el caudal de flujo volumétrico cuando se conoce la sección transversal del conducto:

$$v_x = \frac{L}{2 \cdot \cos \alpha \cdot t_{12} \cdot t_{21}} (t_{21} - t_{12}); \quad c_s = \frac{L}{2 \cdot t_{12} \cdot t_{21}} (t_{21} + t_{12}), \quad (1)$$

en donde significan

- 20  $v_x$  la velocidad media del flujo  
 $c_s$  la velocidad del sonido  
 $L$  la longitud del recorrido de medición  
 $t_{12}$  el tiempo de propagación en la dirección de la circulación  
 $t_{21}$  el tiempo de propagación en contra de la dirección de la circulación

25 La suma de los tiempos de propagación contiene la información sobre la velocidad del sonido  $c_s$  del medio que, sin embargo, la mayoría de las veces no encuentra otra aplicación en contadores por ultrasonido.

30 En combinación con un sensor microtérnico, como se describe en la solicitud de patente EP 14001767, se puede prescindir, gracias a la información sobre la velocidad del sonido, de la tobera crítica, puesto que esta última suministra en primer orden de la misma manera la velocidad del sonido, con la ventaja de que no son necesarias relaciones críticas de la presión, es decir, que se puede medir a presión dada. De esta manera, en redes de baja presión, no se necesitan ni compresor ni bombas de vacío.

35 Determinación del flujo de masas:

A partir de la velocidad del sonido, a través de correlación se puede determinar la densidad, que está bien correlacionada para la mayoría de los gases con la velocidad del sonido. Para mejorar más la correlación de la densidad, se puede medir adicionalmente la conductividad térmica a una o varias temperaturas y que se incluso en la correlación.

El flujo de masas es proporcional al producto  $\rho \cdot v_x$  de la densidad  $\rho$  y de la velocidad del flujo  $v_x$ :

$$\dot{m} = \rho \cdot v_x \cdot A, \quad (2)$$

45 en donde  $A$  es la sección transversal del canal de flujo.

Medición de la conductividad térmica por medio de sensores microtérnicos:

50 Los anemómetros de alambre calefactor-CMOS integrados posibilitan tanto un medición de la conductividad térmica microtérnica como también una medición del flujo de masas. Con respecto a esta tecnología se remite a D. Matter, B. Kramer, T. Kleiner, B. Sabbattini, T. Suter, "Mikroelektronischer Haushaltsgaszähler mit neuer Technologie", Technisches Messen 71, 3 (2004), páginas 137-146.

55 Para la descripción de las mediciones microtérnicas se parte de la ecuación de la conducción térmica unidimensional que describe el sistema microtérnico (Kerson Huang: Statistical Mechanics, 2º edición, John Wiley & Sons, New York 1987, ISBN 0-471-85913-3):

$$\frac{c_p}{\lambda} \cdot \rho v_x \cdot \frac{d}{dx} T = \nabla^2 T + \frac{1}{\lambda} \Theta, \quad (3)$$

en la que

- 5 vx es la componente de la velocidad media del flujo  $\vec{V}$  (vector de velocidad) en dirección-x, es decir, a lo largo de la corriente de gas
- T es la temperatura
- $\frac{d}{dx} T$  es el gradiente de la temperatura
- 10  $c_p$  es la capacidad térmica del gas a presión constante
- $\rho$  es la densidad
- $\lambda$  es la conductividad térmica del gas, y
- $\nabla^2 T$  es el operador de Laplace, aplicado sobre la temperatura T, en donde

$$\nabla^2 = \left( \frac{d}{dx} \right)^2 + \left( \frac{d}{dy} \right)^2 + \left( \frac{d}{dz} \right)^2,$$

15 Puesto que el gas (corriente de gas) fluye sólo en dirección-x, se suponen los componentes  $v_y$  y  $v_z$  en dirección-y o bien en dirección-z de la velocidad media de flujo  $\vec{V}$  en cero.  $\Theta$  con la unidad watio/m<sup>3</sup> describe el término fuente del elemento calefactor. El término fuente procede en el método microtérmico desde el alambre calefactor de un anemómetro de alambre calefactor integrado miniaturizado, que alimenta energía térmica al sistema.

20 Se ha observado que la conductividad térmica  $\lambda$  debido al término fuente  $\Theta$  repercute de manera separada sobre la solución de la ecuación (3). A la inversa, se puede determinar la conductividad térmica cuando el sensor microtérmico se emplea sin flujo de masas impulsado ( $v_x = 0$  o bien  $m = 0$ ). La ecuación diferencial respectiva para la distribución de la temperatura se expresa entonces fácilmente

$$\nabla^2 T = -\frac{1}{\lambda} \Theta. \quad (4)$$

25 Por lo demás, a través del término fuente se puede modificar la distribución de la temperatura, lo que posibilita la determinación de la conductividad térmica a diferentes temperaturas.

30 Determinación de la capacidad térmica por medio de sensores microtérmicos:

La solución de la ecuación (3), que describe la distribución de la temperatura en el sistema microtérmico, permite determinar el factor  $\varphi$  a través de la medición de esta distribución de la temperatura

$$\varphi := \frac{c_p}{\lambda} \cdot \rho \cdot v_x = \frac{c_p}{\lambda} \cdot \frac{\dot{m}}{A}, \quad (5)$$

35 en donde A designa la sección transversal del canal de flujo sobre el sensor microtérmico y m designa el flujo de masas. Con el flujo de masas conocido y la conductividad térmica conocida se puede determinar finalmente la capacidad térmica.

40 Correlación de variables específicas para la constitución del gas:

Con la velocidad del sonido  $c_s$ , la conductividad térmica  $\lambda$  y la capacidad térmica  $c_p$  están disponibles tres variables de medición independientes, con las que se pueden correlacionar ahora variables específicas Q para la constitución del gas, como por ejemplo el índice de combustión, por medio de una función de correlación  $f_{corr}$ :

$$Q = f_{corr}(\text{salida del sensor}) := f_{corr}(S_{out}). \quad (6)$$

La "salida del sensor"  $S_{out}$  es en este caso una función de las variables de partida  $c_s$ ,  $\lambda$  y  $c_p$ .

$$S_{out} = f(c_s, \lambda, c_p). \quad (7)$$

5 Por ejemplo, para la correlación de la relación de la densidad  $Q = \rho / \rho_{ref}$  a  $0^\circ\text{C}$  mostrada en la figura 2a y 1013,25 mbars resulta la siguiente función de correlación

$$\rho_{corr} / \rho_{ref} = f_{corr}(S_{out}) = a_0 + a_1 \cdot S_{out} + a_2 \cdot S_{out}^2 \quad (8a)$$

10 con coeficientes  $a_0 = 36$ ,  $a_1 = -65$  y  $a_2 = 30$  y metano (G20) como referencia.  $S_{out}$  es en este caso fácilmente la velocidad del sonido  $c_s$ :

$$S_{out} = f(c_s, \lambda, c_p) = c_s. \quad (9a)$$

15 La figura 2b muestra una correlación mejorada de la relación de la densidad  $Q = \rho / \rho_{ref}$  a  $0^\circ\text{C}$  y 1013,25 mbars con la ayuda de la velocidad del sonido y la conductividad térmica, medida a dos temperaturas diferentes:

En el caso de la correlación de variables específicas para la constitución del gas en la figura 3a se lee la ecuación (8a) para el ejemplo del índice de combustión como sigue:

$$CV / CV_{ref} = f_{corr}(S_{out}) = a_0 + a_1 \cdot S_{out} + a_2 \cdot S_{out}^2 \quad (8b)$$

20 con coeficientes  $a_0 = 8,1$ ,  $a_1 = -11$  y  $a_2 = 4,7$  y de nuevo metano (G20) como referencia.  $S_{out}$  es ahora una función de todas las tres variables de partida:

$$S_{out} = f(c_s, \lambda, c_p) = \left(\frac{c_p}{c_{p,ref}}\right)^{-0.86} \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}}\right)^{0.22} \cdot \frac{c_s}{c_{s,ref}}. \quad (9b)$$

25 A partir de los resultados en la figura 2 y en la figura 3a se puede deducir fácilmente que por medio de  $c_s$ ,  $c_p$  y  $\lambda$  como otra constitución del gas se puede correlacionar el índice de Wobbe  $W$  como medida para la potencia del quemador, definida como

$$W := \frac{CV}{\sqrt{\frac{\rho_{gas}}{\rho_{air}}}}, \quad (10)$$

30 combinando las ecuaciones (8a) para la densidad y (9b) para el índice de combustión.

Además, se puede correlacionar como constitución del gas a partir de las tres variables independientes velocidad del sonido  $c_s$ , conductividad térmica  $\lambda$  y capacidad térmica  $c_s$ , por ejemplo, el factor-Z o factor de gas real, que describe la desviación del comportamiento de un gas real con respecto a la Ley de gas ideal

$$p \cdot V = Z \cdot R_m \cdot T. \quad (11)$$

35 El comportamiento del gas real se desvía especialmente a presiones elevadas en gran medida del comportamiento del gas ideal, exactamente a presiones que aparecen en los conductos grandes de transporte de gas (y, por lo tanto, deben observarse de manera especial). En esta aplicación es interesante el hecho de que la determinación de las variables independientes no debe realizarse tal vez a la misma presión alta, sino que puede tener lugar también, por ejemplo, a presión ambiente, donde se puede realizar mucho más fácilmente la formación de un dispositivo correspondiente. La figura 3 muestra una correlación posible del factor-Z para 50 bares con los siguientes datos angulares:

45

$$\frac{Z}{Z_{ref}} = f_{corr}(S_{out}) = a_0 + a_1 \cdot S_{out} + a_2 \cdot S_{out}^2 + a_3 \cdot S_{out}^3 \quad (8c)$$

con coeficientes  $a_0 = 1,1$ ,  $a_1 = 0,15$  y  $a_2 = -0,29$  y  $a_3 = 0,05$  y metano (G20) como referencia.  $S_{out}$  es de nuevo una función de todas las tres variables de partida (a presión ambiente):

$$S_{out} = f(c_s, \lambda, c_p) = \left(\frac{c_p}{c_{p,ref}}\right)^{1,35} \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}}\right)^{-0,25} \cdot \left(\frac{c_s}{c_{s,ref}}\right)^{-2} \quad (9c)$$

- 5 Como otro ejemplo se indica la correlación de la viscosidad cinemática,  $\eta/\rho$  (viscosidad/densidad). Esta variable se encuentra en el índice de Reynolds,  $Re$ , de nuevo que se utiliza en la enseñanza de la circulación y se puede entender como la relación entre las fuerzas de inercia y la fuerzas de tenacidad:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\eta} \quad (12)$$

- 10 en donde  $\rho$  significa la densidad,  $v$  significa la velocidad de la circulación del gas frente al cuerpo rodeado por la circulación y  $d$  significa la longitud característica del cuerpo. De ello se deduce que el comportamiento de la turbulencia de cuerpos similares en cuanto a la geometría es idéntico con el mismo índice de Reynolds. A viscosidad cinemática conocida, por lo tanto, se puede estimar cuándo aparece turbulencia en un gas en un sistema de tuberías, lo que es en redes de distribución de gas una entrada importancia para el diseño de tales redes. La figura 15 3c muestra la correlación entre la viscosidad cinemática  $\eta/\rho$  y la salida del sensor  $S_{out}$ :

$$\frac{\left(\frac{\eta}{\rho}\right)}{\left(\frac{\eta}{\rho}\right)_{ref}} = f_{corr}(S_{out}) = a_0 + a_1 \cdot S_{out} \quad (8d)$$

- 20 con coeficientes  $a_0 = 0,15$  y  $a_1 = 0,85$  y metano (G20) como referencia.  $S_{out}$  es de nuevo una función de todas las tres variables de partida:

$$S_{out} = f(c_s, \lambda, c_p) = \left(\frac{c_p}{c_{p,ref}}\right)^{-0,65} \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}}\right)^{1,5} \cdot \left(\frac{c_s}{c_{s,ref}}\right)^{1,5} \quad (9d)$$

- 25 Hay que subrayar que la selección de  $S_{out}$ , por una parte, pero también de  $f_{corr}$ , por otra parte, no están predeterminada de ninguna manera, sino que se pueden seleccionar libremente, de manera que el error de correlación resultante será lo más pequeño posible. La función de polinomio indicada en las ecuaciones (8a) a (8d) es una opción típica, que conduce al éxito la mayoría de las veces, mientras que las ecuaciones (9a) a (9d) tratan de describir más bien la relación física.

- 30 Para mostrar que el procedimiento de acuerdo con la presente invención no está limitado a los ejemplos mencionados anteriormente, se indican a continuación otros ejemplos de variables específicas para las constituciones del gas, que se pueden determinar con el procedimiento:

- 35 El índice de metano, que se emplea en accionamientos de motor de gas, ya sean éstos estacionarios (por ejemplo, en instalaciones de acoplamiento de fuerza y calor) o en el sector de la movilidad (por ejemplo, en vehículos de gas, buques, etc.), es un indicador importante para la tendencia al golpeteo de un combustible en forma de gas.

- 40 Debido a la "relación de aire a combustible" y, por lo tanto, la cantidad de aire suministrada al proceso. El conocimiento de la "relación de aire a combustible" es, por ejemplo, importante en procesos de combustión, ya sean éstos estequiométricos (por ejemplo, en instalaciones de combustión) o con exceso de aire (por ejemplo, en motores de mezcla pobre), con llama abierta o de tipo catalítico por ejemplo en procesos de reforma en células de combustible de alta temperatura) para optimizar tanto la eficiencia del proceso de la combustión como también el comportamiento de los gases de escape.

- 45 El contenido de metano, cuya supervisión es importante, por ejemplo, en la industria de procesos. En instalaciones de biogas se supervisa el contenido de metano típicamente en biogas bruto (por ejemplo, como masa para la eficiencia de la fermentación y/o en el gas, que debe alimentarse a la red de gas natural

(por ejemplo, para el control de calidad) y/o en el gas residual que se deja salir al aire (con preferencia dióxido de carbono con la menor cantidad posible de metano, puesto que este último presenta un efecto invernadero alto).

5 Etapas del procedimiento en un ejemplo de realización típico

1. Medición de la presión p y de la temperatura T del gas.

10 2. Determinación por ultrasonido del caudal de flujo volumétrico proporcional a la velocidad de flujo v<sub>x</sub> y de la velocidad del sonido c<sub>s</sub>, que se correlaciona bien para la mayoría de los gases con la densidad normal ρ<sub>norm</sub>.

15 3. Inclusión de la conductividad térmica λ<sub>Ti</sub> medida con el sensor microtérmico (a una o varias temperaturas T<sub>i</sub>), para mejorar todavía más la correlación de la densidad normal ρ<sub>norm</sub>.

4. Cálculo de la densidad en condiciones de funcionamiento de acuerdo con

$$\rho = \rho_{norm} \cdot \frac{T_{norm} \cdot p}{p_{norm} \cdot T} \quad (13)$$

20 5. Utilización de esta información (v<sub>x</sub>, ρ) para la determinación del flujo de masas m proporcional a ρ·v<sub>x</sub> y, junto con la conductividad térmica λ y el factor de flujo φ medido con el sensor microtérmico, a la capacidad térmica c<sub>p</sub>.

25 6. Correlación de la variable específica deseada para la constitución del gas, en particular del índice de la combustión CV, a partir de la velocidad del sonido c<sub>s</sub>, la conductividad térmica λ y la capacidad térmica c<sub>p</sub>.

7. En caso necesario, a partir de la multiplicación del flujo de masas o flujo volumétrico por el índice de la combustión CV (en J/kg o bien J/m<sup>3</sup>) se puede determinar el consumo de energía Φ<sub>En</sub>.

30 Por la densidad normal ρ<sub>norm</sub> mencionada anteriormente se entiende en esta descripción la densidad a una temperatura establecida T<sub>norm</sub> y a una presión establecida p<sub>norm</sub>. La densidad normal se indica a 01C y 1013,25 mbars. No obstante, también es posible establecer la temperatura normal T<sub>norm</sub> y la presión p<sub>norm</sub> para las que se conoce la correlación entre densidad y velocidad del sonido,

35 Procedimiento y dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención

En el procedimiento para la determinación de variables específicas para la constitución del gas de acuerdo con la presente invención

40 - un gas o una mezcla de gases fluye a través de un sensor de caudal ultrasónico y a través de un sensor microtérmico, en donde

- se detectan la temperatura y la presión del gas o de la mezcla de gases;

45 - con el sensor de caudal ultrasónico se detectan tanto la velocidad de flujo o bien el flujo volumétrico como también la velocidad del sonido del gas o de la mezcla de gases;

- a partir de la velocidad del sonido se correlaciona la densidad del gas o de la mezcla de gases;

50 - la información de la densidad, junto con la velocidad de flujo se utilizan para el cálculo del flujo de masas;

- con la ayuda del sensor microtérmico se determina la conductividad térmica del gas o de la mezcla de gases a una o varias temperaturas;

55 - a partir de la señal del caudal del sensor microtérmico se calcula el factor de flujo para determinar a partir del mismo, junto con la información del flujo de masas y de la conductividad térmica, la capacidad térmica y una variable, dependiente de la capacidad térmica, del gas o de la mezcla de gases;

60 - por último, la velocidad del sonido, conductividad térmica a una o varias temperaturas y o bien una capacidad térmica o la variable dependiente de la capacidad térmica se utilizan para la correlación de

variables específicas para la constitución del gas, especialmente del índice de la combustión.

La velocidad del sonido determinada con el sensor de caudal ultrasónico se puede convertir en caso necesario en la velocidad del sonido a temperatura normal.

5 En una variante de realización ventajosa, se utiliza la conductividad térmica determinada con la ayuda del sensor microtérmico a una o varias temperaturas, junto con la velocidad del sonido, para la correlación más exacta de la densidad.

10 La densidad correlacionada a partir de la velocidad del sonido o bien a partir de la velocidad del sonido y la conductividad térmica puede ser, por ejemplo, la densidad normal. De manera más ventajosa, se convierte la densidad o densidad normal correlacionada a partir de la velocidad del sonido o bien a partir de la velocidad del sonido y la conductividad térmica con la temperatura y la presión del gas o de la mezcla de gases a la densidad en condiciones de funcionamiento.

15 En una forma de realización ventajosa del procedimiento se utilizan la velocidad del sonido, la conductividad térmica a una o varias temperaturas y o bien la capacidad térmica o la variable dependiente de la capacidad térmica para la correlación del índice de la combustión o índice de Wobbe (W) o factor-Z o la viscosidad cinemática.

20 En otra forma de realización ventajosa del procedimiento se calcula a partir del índice de combustión, junto con el flujo de volumen o flujo de masas, el consumo de energía, por ejemplo integrando en el tiempo el producto del flujo de volumen o el flujo de masas y el índice de la combustión.

25 El procedimiento descrito anteriormente y las formas y variantes de realización descritas anteriormente son adecuadas tanto para la determinación continua como también para la determinación intermitente de variables específicas para la constitución del gas y/o del consumo de energía.

30 El dispositivo de medición para la determinación de variables específicas para la constitución del gas y/o del consumo de energía de acuerdo con la presente invención comprende una unidad de evaluación, que está instalada para la realización de un procedimiento de acuerdo con una de las formas o variantes de realización descritas anteriormente, así como un sensor del caudal de flujo ultrasónico para la medición de la velocidad del sonido y de la velocidad del flujo, un sensor de presión para la medición de la presión, un sensor de temperatura para la medición de la temperatura y un sensor microtérmico para la medición de la conductividad térmica y o bien de la capacidad térmica o de una variable del gas o de la mezcla de gases dependiente de la capacidad térmica.

35 En una primera forma de realización del dispositivo de medición, el sensor de caudal ultrasónico y el sensor microtérmico están dispuestos en un conducto de gas y pueden ser impulsados con la misma corriente de masas.

40 En una segunda forma de realización del dispositivo de medición, el sensor de caudal ultrasónico está dispuesto en un conducto de gas principal y el sensor microtérmico está dispuesto en un conducto de gas de derivación hacia el conducto de gas principal, de manera que en el conducto de gas principal está previsto un elemento que genera una caída de la presión para provocar una corriente de masas en el conducto de gas de derivación.

45 Con ventaja, el sensor de caudal ultrasónico está dispuesto en la primera y en la segunda formas de realización de forma no invasiva sobre el conducto de gas o el conducto de gas principal.

50 En una tercera forma de realización del dispositivo de medición, el sensor de caudal ultrasónico y el sensor microtérmico están dispuestos en un conducto de gas de derivación hacia el conducto de gas principal, de manera que en el conducto de gas principal está previsto un elemento que genera una caída de la presión, para provocar una corriente de masas en el conducto de gas de derivación.

55 Con ventaja, en la segunda y en la tercera formas de realización, se conoce la relación de división entre el flujo de masas en el conducto de derivación y en conducto de gas principal, por ejemplo a través de calibración con un gas conocido.

Independientemente de la forma y variante de realización, el dispositivo de medición puede comprender adicionalmente una sección del conducto de gas o del conducto de gas principal y/o un conducto de gas de derivación, en los que está dispuesto al menos uno de los sensores del dispositivo de medición y/o un elemento que genera una caída de la presión en el conducto de gas principal.

60 De manera más ventajosa, la unidad de evaluación forma junto con el dispositivo de medición residual una unidad de construcción. De acuerdo con la aplicación, el dispositivo de medición puede formar también una unidad de construcción sin la unidad de evaluación, de manera que la unidad de evaluación puede estar configurada en una unidad de cálculo separada o de orden superior.

El procedimiento y el dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención para la determinación de variables específicas para la constitución del gas y/o del consumo de energía tienen la ventaja de que se pueden utilizar también en redes de baja presión, sin que sea necesario un compresor adicional o una bomba de vacío adicional, como en el dispositivo de medición descrito en la solicitud de patente EP 14001767.

5 Además, es ventajoso que la conductividad térmica del gas o de la mezcla de gases, determinada con la ayuda del sensor microtérmico, a una o varias temperaturas, se pueda utilizar junto con la velocidad del sonido, para la correlación de la densidad, lo que conduce a valores más exactos para el flujo de masas.

10 La correlación de variables específicas para la constitución del gas a partir de las tres variables independientes velocidad del sonido, conductividad térmica y capacidad térmica posibilita, además, una exactitud más elevada en la determinación del índice de la combustión y del consumo de energía, que la que es posible con el procedimiento descrito al principio de acuerdo con el documento EP 2 574 918 A1.

15 La invención se explica en detalle a continuación con la ayuda de los dibujos. En este caso:

La figura 1a muestra la estructura esquemática de un ejemplo de realización de un anemómetro microtérmico.

20 La figura 1b muestra una representación esquemática de un sensor del caudal ultrasónico.

La figura 2a muestra un ejemplo de una determinación de la densidad (correlación) con la ayuda de la velocidad del sonido.

25 La figura 2b muestra un ejemplo de una determinación mejorada de la densidad (correlación) con la ayuda de la velocidad del sondo y de la conductividad térmica.

La figura 3a muestra un ejemplo de una determinación del índice de la combustión (correlación) con la ayuda de la capacidad térmica, de la conductividad térmica y de la velocidad del sonido.

30 La figura 3b muestra un ejemplo para la determinación del factor-Z (correlación) con la ayuda de la capacidad térmica, de la conductividad térmica y de la velocidad del sonido.

La figura 3c muestra un ejemplo para la determinación de la viscosidad cinemática (correlación) con la ayuda de la capacidad térmica, de la conductividad térmica y de la velocidad del sonido.

35 La figura 4 muestra un ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención en el conducto de gas principal.

40 La figura 5 muestra un segundo ejemplo de realización de la estructura de un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención con un sensor microtérmico en un conducto de gas de derivación hacia el conducto de gas principal y

La figura 6 muestra un tercer ejemplo de realización de la estructura de un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención en un conducto de gas de derivación.

45 La figura 1a muestra un ejemplo de realización de un sensor microtérmico 7 para la utilización en un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención. El sensor microtérmico puede ser, por ejemplo, como se muestra en la figura 1a, un anemómetro de alambre calefactor-CMOS microtérmico integrado, que está dispuesto en el empleo en una sección de un conducto de gas de derivación y se puede impulsar con una corriente de gas o corriente de mezcla de gases 2a. El anemómetro de alambre calefactor-CMOS microtérmico comprende un sustrato 13, que contiene típicamente una membrana 14 de algunos micrómetros de espesor. Además, el anemómetro de alambre calefactor-CMOS comprende dos termo-elementos 15-1, 15.2 y un elemento calefactor 16, que puede estar dispuesto en la dirección del flujo entre los dos termo-elementos. Con los dos termo-elementos 15.1, 15.2 se puede detectar la temperatura, que se ajusta en virtud del intercambio de calor 15.1a, 15.2a con la corriente de gas o de mezcla de gases.

50 Para otros detalles sobre el modo de funcionamiento del anemómetro de alambre calefactor-CMOS microtérmico se remite a D. Matter, B. Kramer, T. Kleiner, B. Sabbattini, T. Suter, "Mikroelektronischer Haushaltsgaszähler mit neuer Technologie", Technisches Messen 71, 3 (2004), páginas 137-146.

60 La figura 1b muestra un ejemplo de realización de un sensor de caudal ultrasónico 4 para la utilización en un dispositivo de medición de acuerdo con la invención. Por ejemplo, dos unidades 17 y 18 que tanto general sonido como también absorben sonido (por ejemplo, piezo-actuadores o bien piezo-receptores) están dispuestos en posiciones inclinadas opuestas en el conducto de medición. Un impulso de sonido emitido por el actuador 17 llega al

receptor 18 más rápidamente que un impulso de sonido emitido al mismo tiempo por el actuador 18 llega al receptor 17. A partir de los tiempos de propagación  $t_{12}$  y  $t_{21}$  se pueden calcular, junto con factores de la geometría de la disposición, tanto la velocidad del sonido  $c_s$  como también la velocidad de flujo  $v_x$ .

5 Para más detalles sobre el modo de funcionamiento del sensor de ultrasonido se remite a L.C. Lynnwortha, Yi Liub, "Ultrasonic flowmeters: Half-century progress report, 1955-2005" in Ultrasonics, 44, Suplemento (2006), páginas e1371-e1378.

10 La figura 4 muestra un ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención. En el ejemplo de realización, el dispositivo de medición 11 comprende una unidad de evaluación 10, que está instalada para la realización de un procedimiento de acuerdo con la invención, un sensor de caudal ultrasónico 4, un sensor microtérmico 7 así como un sensor de caudal ultrasónico 4, un sensor microtérmico 7 así como un sensor de presión 8 y un sensor de temperatura 9, de manera que los sensores pueden estar dispuestos en un conducto de gas 1'. Algunos de estos componentes individuales o todos estos componentes se pueden agrupar en una unidad de construcción, de manera que la unidad de evaluación 10 puede ser componente de esta unidad de construcción (variante 11a) o la unidad de evaluación se puede preparar por separado (variante 11b), por ejemplo, en una unidad de cálculo de orden superior.

20 La estructura en el ejemplo de realización mostrado en la figura 4 es adecuada, entre otras cosas, para la determinación de variables específicas para la constitución del gas con caudales de gas pequeños y mínimos, como aparecen, por ejemplo, en el sector de la analítica del gas y donde es importante en primer lugar la información relacionada con la constitución del gas.

25 El dispositivo de medición en el ejemplo de realización mostrado en la figura 4 se puede emplear, por ejemplo, como unidad de análisis o como aparato de análisis autónomo, de manera que la unidad de análisis o el aparato de análisis contienen de manera más ventajosa un conducto de gas 1', en el que están dispuestos los sensores 4, 7, 8, 9 del dispositivo de medición. Con la unidad de análisis o bien el aparato de análisis se pueden tomar y analizar muestras de gas. Las conexiones y válvulas necesarias para ello no se representan en la figura 4.

30 Un ejemplo de realización de la invención para la determinación de variables específicas para la constitución de un gas y de una mezcla de gases se acuerdo con la presente invención se describe a continuación con la ayuda de la figura 4. En el procedimiento, el gas o la mezcla de gases fluyen en el conducto de gas 1' a través de un sensor de caudal ultrasónico 4 y a través de un sensor microtérmico 7. Con un sensor de presión 8 y un sensor de temperatura 9 dispuestos adicionalmente en el conducto de gas se determinan la presión y la temperatura del gas o de la mezcla de gases, es decir, las condiciones de funcionamiento. Además, con el sensor de ultrasonido se mide la velocidad del sonido y la velocidad de flujo o bien el flujo volumétrico. A continuación se realiza la correlación de la densidad con la ayuda de la velocidad del sonido, de manera que la densidad calculada por medio de correlación se convierte de una manera más conveniente en la densidad a la temperatura dada y a la presión dada (condiciones de funcionamiento).

40 Además, con el sensor microtérmico 7 se mide la conductividad térmica del gas a una o varias temperaturas, variando la potencia calefactora del alambre calefactor. Cuando es necesario, se puede incluir el resultado de esta medición también en la correlación de la densidad. Con el valor de la densidad y la corriente volumétrica se calcula a continuación la corriente de masas. A partir del factor de flujo medido de la misma manera con el sensor microtérmico se calcula la relación entre la capacidad térmica y la conductividad térmica del gas y, junto con la conductividad térmica ya conocida, se calcula el valor de la capacidad térmica. A continuación se utilizan la velocidad del sonido, la conductividad térmica y la capacidad térmica para la correlación de las variables específicas para la constitución de gas, por ejemplo del índice de la combustión o índice de Wobbe (W) o del factor-Z o de la viscosidad cinemática. Por medio de la multiplicación de la corriente de masas con el índice de la combustión se puede determinar en caso necesario el consumo de energía.

55 La figura 5 muestra un segundo ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición 11 de acuerdo con la presente invención con un sensor 7 microtérmico en un conducto de gas de derivación 6 hacia el conducto de gas principal 1. En el conducto de gas principal está prevista en este caso una caída de la presión a través del conducto de gas de derivación, lo que conduce a un flujo de gas 2 en el conducto de gas de derivación, de manera que se ajusta una relación de división del flujo de paso característico 3 entre el conducto de gas principal y el conducto de gas de derivación.

60 En el ejemplo de realización mostrado, el dispositivo de medición comprende adicionalmente al sensor microtérmico 7, una unidad de evaluación 10, que está instalada para la realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención así como un sensor del flujo ultrasónico 4, un sensor de presión 8 y un sensor de temperatura 9, que están dispuestos típicamente en el conducto de gas principal 1. Los detalles de estos componentes o todos estos componentes se pueden agrupar en una unidad de construcción, de manera que la unidad de evaluación 10 puede ser componente de esta unidad de construcción (variante 11a), o la unidad de evaluación se puede preparar

de una manera separada de ella (variante 11b), por ejemplo en una unidad de cálculo de orden superior. La estructura en el ejemplo de realización mostrado en la figura 5 es adecuada tanto para la determinación de variables específicas para la constitución del gas como también, en el caso del índice de la combustión como constitución del gas, para la medición del consumo de energía con flujos de gas medios a grandes, como aparecen, por ejemplo, en el sector doméstico, en la industria o en la metrología legal.

El sensor de caudal ultrasónico 4 no tiene que estar incorporado en este caso necesariamente en el conducto de gas 1' o en el conducto de gas principal 1, sino que puede estar colocado también, por decirlo así, como "dispositivo de sujeción" desde el exterior sobre el conducto de gas o el conducto de gas principal. El sensor microtérmico 7, en cambio, sólo necesita cantidades de flujo y, por lo tanto, se dispone con preferencia en un conducto de gas de derivación 6.

Un segundo ejemplo de realización del procedimiento para la determinación de variables específicas para la constitución de un gas y de mezcla de gases de acuerdo con la presente invención se describe a continuación con la ayuda de la figura 5. En el procedimiento, el gas o la mezcla de gases fluye en un conducto de gas principal 1 sobre o a través de un elemento 5 que genera una caída de la presión. Delante del elemento 5 que genera la caída de la presión se deriva un conducto de gas de desviación 6, para reunirse después del mismo de nuevo con el conducto de gas principal. A través del elemento 5 que genera la caída de la presión se fuerza a una parte del gas o de la mezcla de gases 2 a fluir a través del conducto de gas de derivación 6 y sobre un sensor microtérmico 7 dispuesto allí. El sensor de caudal ultrasónico 4 es impulsado con el flujo de gas principal.

Con un sensor de presión 8 y un sensor de temperatura 9 dispuestos adicionalmente en el conducto de gas principal se determinan la presión y la temperatura del gas o de la mezcla de gases, es decir, las condiciones de funcionamiento. Además, con el sensor de ultrasonido se miden la velocidad del sonido y la velocidad de flujo o bien el volumen de flujo. A continuación se realiza la correlación de la densidad con la ayuda de la velocidad del sonido, de manera que la densidad calculada por medio de correlación se convierte de una manera más conveniente en la densidad a la temperatura dada y a la presión dada (condiciones de funcionamiento).

Además, con el sensor microtérmico 7 se mide la conductividad térmica del gas a una o varias temperaturas, variando la potencia calefactora del alambre calefactor. Si es necesario, se puede incluir el resultado de esta medición también en la correlación de la densidad. Con el valor de la densidad y con el volumen de la corriente se calcula a continuación la corriente de masas a través del conducto de gas principal 1. A continuación se recorre de una manera más conveniente a la relación de división del flujo de masas entre el conducto de gas principal y el conducto de gas de derivación para calcular la corriente de masas en el conducto de gas de derivación. La relación de división se puede determinar, por ejemplo, previamente en una medición de calibración con gases conocidos.

A partir del factor de flujo medido con el sensor microtérmico se calcula la relación entre la capacidad térmica y la conductividad térmica del gas o de la mezcla de gases y con la conductividad térmica ya conocida se calcula el valor de la capacidad térmica. La velocidad del sonido, la conductividad térmica y la capacidad térmica se utilizan a continuación para la correlación de las variables específicas para la constitución del gas. En el caso del índice de la combustión como constitución del gas, la multiplicación de la corriente de masas en el conducto de gas principal por el índice de la combustión proporciona adicionalmente el consumo de energía.

La figura 6 muestra un tercer ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición 11 de acuerdo con la presente invención en un conducto de gas de derivación 6 hacia el conducto de gas principal 1. En el conducto de gas principal está previsto en este caso un elemento 5 que genera una caída de la presión, de manera que en el funcionamiento se configura una caída de presión sobre el conducto de gas de derivación, lo que conduce a un flujo de gas 2 en el conducto de gas de derivación, de manera que se ajusta una relación característica de la división del flujo 3 entre el conducto de gas principal y el conducto de gas de derivación.

En el ejemplo de realización mostrado, el dispositivo de medición comprende una unidad de evaluación 10, que está instalada para la realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención así como un sensor de caudal ultrasónico 4 y un sensor microtérmico 7, que están dispuestos en el conducto de gas de derivación 6. Además, el dispositivo de medición comprende un sensor de presión 8 y un sensor de temperatura 9, que están dispuestos la mayoría de las veces de la misma manera en el conducto de gas de derivación 1. Algunos de estos componentes individuales o todos estos componentes se pueden agrupar en una unidad de construcción, de manera que la unidad de evaluación 10 puede ser componente de esta unidad de construcción (variante 11a) o la unidad de evaluación se puede preparar por separado (variante 11b), por ejemplo, en una unidad de cálculo de orden superior.

La estructura en el ejemplo de realización mostrado en la figura 6 resulta con preferencia cuando también el sensor de ultrasonido 4 está constituido en microtécnica y éste como también el sensor microtérmico 7 necesita sólo cantidades de flujo mínimas. De manera más ventajosa se disponen ambos sensores en un conducto de gas de derivación 6.

5 Un tercer ejemplo de realización del procedimiento para la determinación de variables específicas para la constitución de un gas y de una mezcla de gases de acuerdo con la presente invención se describe a continuación con la ayuda de la figura 6. El procedimiento es adecuado tanto para la determinación continua como también para la determinación intermitente de variables específicas para la constitución de gas y/o del consumo de energía. Las conexiones y válvulas dado el caso necesarias no se representan en la figura 6.

10 En el tercer ejemplo de realización del procedimiento, el gas o la mezcla de gases fluye en un conducto de gas principal 1 sobre o a través de un elemento 5 que genera una caída de la presión. Delante del elemento 5 que genera la caída de la presión se deriva un conducto de gas de desviación 6, para reunirse después del mismo de nuevo con el conducto de gas principal. A través del elemento 5 que genera la caída de la presión se fuerza a una parte del gas o de la mezcla de gases 2 a fluir a través del conducto de gas de derivación 6 y sobre un sensor microtérmico 7, que están dispuestos en el conducto de gas de derivación. En este caso, el sensor de caudal ultrasónico 4 y el sensor microtérmico 7 son impulsado con el flujo de gas principal.

15 Con un sensor de presión 8 y un sensor de temperatura 9 dispuestos adicionalmente en el conducto de gas de derivación se determinan la presión y la temperatura del gas o de la mezcla de gases, es decir, las condiciones de funcionamiento. Además, con el sensor de ultrasonido se mide la velocidad del sonido y la velocidad de flujo o bien el flujo volumétrico. A continuación se realiza la correlación de la densidad con la ayuda de la velocidad del sonido, de manera que la densidad calculada por medio de correlación se convierte de una manera más conveniente en la densidad a la temperatura dada y a la presión dada (condiciones de funcionamiento).

20

Además, con el sensor microtérmico 7 se mide la conductividad térmica del gas a una o varias temperaturas, variando la potencia calefactora del alambre calefactor. Cuando es necesario, se puede incluir el resultado de esta medición también en la correlación de la densidad. Con el valor de la densidad y la corriente volumétrica se calcula a continuación la corriente de masas a través del conducto de gas de derivación 6.

25

A partir del factor de flujo medido de la misma manera con el sensor microtérmico se calcula la relación entre la capacidad térmica y la conductividad térmica del gas o de la mezcla de gases y, junto con la conductividad térmica ya conocida, se calcula el valor de la capacidad térmica. A continuación se utilizan la velocidad del sonido, la conductividad térmica y la capacidad térmica para la correlación de las variables específicas para la constitución de gas.

30

Puesto que las mediciones y cálculos descritos anteriormente se refieren al conducto de gas de derivación, se recurre a la relación de división del flujo de masas entre el conducto de gas principal y el conducto de gas de derivación para calcular la corriente de masas en el conducto de gas principal. La relación de división se puede determinar, por ejemplo, previamente en una medición de calibración con gases conocidos. En el caso de que como variable específica para la constitución del gas se haya determinado el índice de la combustión, la multiplicación de la corriente de masas en el conducto de gas principal por el índice de la combustión proporciona adicionalmente el consumo de energía.

35

40 El procedimiento y el dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención así como las formas y variantes de realización descritas anteriormente para la determinación de variables específicas para la constitución del gas y/o del consumo de energía se pueden utilizar en redes de gas a alta presión y a baja presión y posibilitan gracias a la correlación de las tres variables independientes velocidad del sonido, conductividad térmica y capacidad térmica una exactitud comparativamente alta en la determinación de las variables mencionadas.

45

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para la determinación de variables específicas para la constitución del gas, en el que:

- 5 - un gas o una mezcla de gases fluye a través de un sensor de caudal ultrasónico (4) y a través de un sensor microtérnico (7), y se detectan la temperatura (T) y la presión (p) del gas o de la mezcla de gases;
- con el sensor de caudal ultrasónico (4) se detectan tanto la velocidad de flujo ( $v_x$ ) o bien el flujo volumétrico como también la velocidad del sonido ( $c_s$ ) del gas o de la mezcla de gases;
- 10 - a partir de la velocidad del sonido ( $c_s$ ) se correlaciona la densidad del gas o de la mezcla de gases;
- la información de la densidad, junto con la velocidad de flujo se utilizan para el cálculo del flujo de masas;
- 15 - con la ayuda del sensor microtérnico (7) se determina la conductividad térmica ( $\lambda$ ) del gas o de la mezcla de gases a una o varias temperaturas;
- a partir de la señal del caudal del sensor microtérnico (7) se calcula el factor de flujo ( $\varphi$ ) para determinar a partir del mismo, junto con la información del flujo de masas y de la conductividad térmica, la capacidad térmica (cp) y una variable, dependiente de la capacidad térmica, del gas o de la mezcla de gases;
- 20 - por último, la velocidad del sonido, conductividad térmica a una o varias temperaturas y o bien una capacidad térmica o la variable dependiente de la capacidad térmica se utilizan para la correlación de variables específicas para la constitución del gas, especialmente del índice de la combustión.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la velocidad del sonido ( $c_s$ ) determinada con el sensor de caudal ultrasónico se convierte en la velocidad del sonido a temperatura normal ( $T_{norm}$ ).

3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 ó 2, en el que la conductividad térmica ( $\lambda$ ) determinada con la ayuda del sensor microtérnico se utiliza a una o varias temperaturas, junto con la velocidad del sonido, para la correlación más exacta de la densidad.

4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 ó 3, en el que la densidad calculada por medio de correlación es la densidad normal y/o en el que la densidad calculada por medio de correlación se convierte con la temperatura (T) y la presión (p) del gas o de la mezcla de gases en la densidad ( $\rho$ ) en condiciones de funcionamiento.

5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la velocidad del sonido, la conductividad térmica a una o varias temperaturas y o bien la capacidad térmica o la variable dependiente de la capacidad térmica se utilizan para la correlación del índice de la combustión o índice de Wobbe (W) o del factor-Z o de la viscosidad cinemática.

6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que a partir del índice de la combustión, junto con el flujo volumétrico o flujo de masas, se calcula el consumo de energía ( $\Phi_{EN}$ ).

7. Dispositivo de medición para la determinación de variables específicas para la constitución del gas y/o del consumo de energía con un sensor de presión (8) para la medición de la presión, con un sensor de temperatura (9) para la medición de la temperatura y con un sensor microtérnico (7) para la medición de la conductividad térmica y o bien de la capacidad térmica o de una variable del gas o de la mezcla de gases dependiente de la capacidad térmica, caracterizado porque el dispositivo de medición (11) comprende una unidad de evaluación (10), que está instalada para la realización de un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, y comprende un sensor de caudal ultrasónico (4) para la medición de la velocidad del sonido y de la velocidad de flujo.

8. Dispositivo de medición de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el sensor de caudal ultrasónico (4) y el sensor microtérnico (7) se pueden disponer en un conducto de gas (1') y se pueden impulsar con la misma corriente de masas.

9. Dispositivo de medición de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el sensor de caudal ultrasónico (4) se puede disponer en un conducto de gas principal (1) y el sensor microtérnico (7) se puede disponer en un conducto de gas de derivación (6) hacia el conducto de gas principal, y en el conducto de gas principal está previsto un elemento (5) que genera una caída de la presión, para provocar en el conducto de gas de derivación una corriente de masas.

10. Dispositivo de medición de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 ó 9, en el que el sensor de caudal ultrasónico (4) se puede colocar de manera no invasiva sobre el conducto de gas (1) o el conducto de gas principal

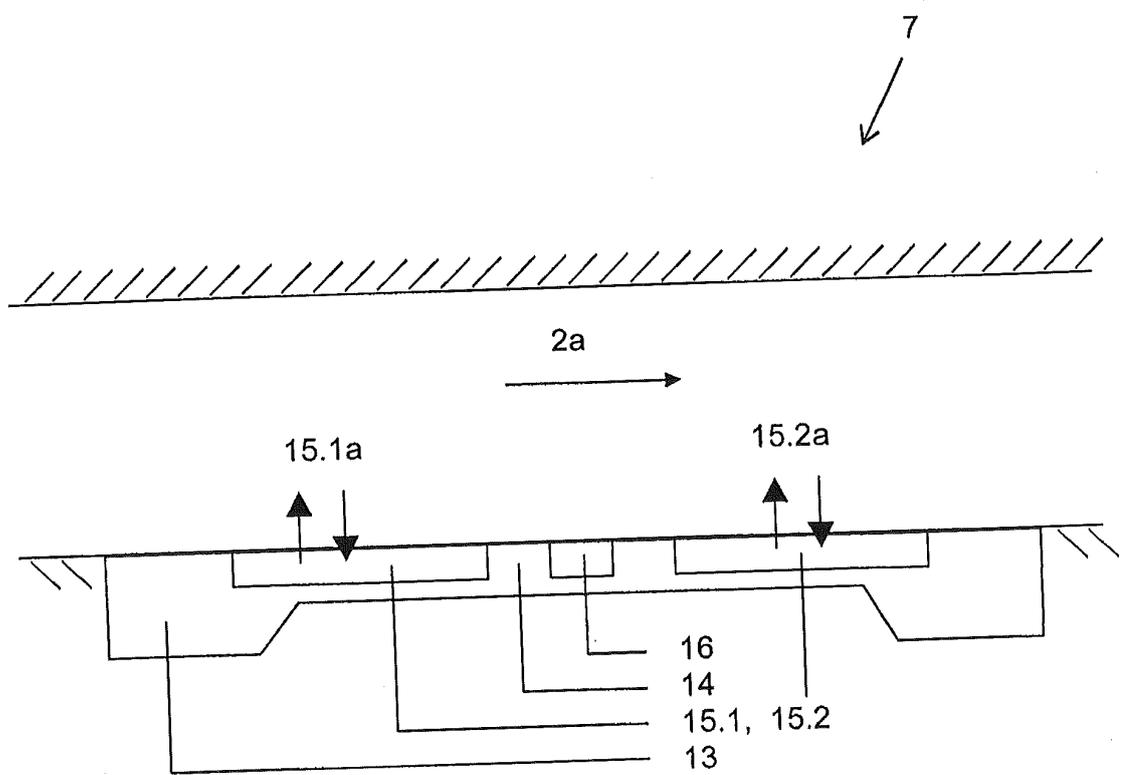
(1).

5 11. Dispositivo de medición de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el sensor de caudal ultrasónico (4) y el sensor microtérmico (7) se pueden disponer en un conducto de gas de derivación (6) hacia el conducto de gas principal (1), y en el conducto de gas principal está previsto un elemento (5) que genera una caída de la presión para provocar en el conducto de gas de derivación una corriente de masas.

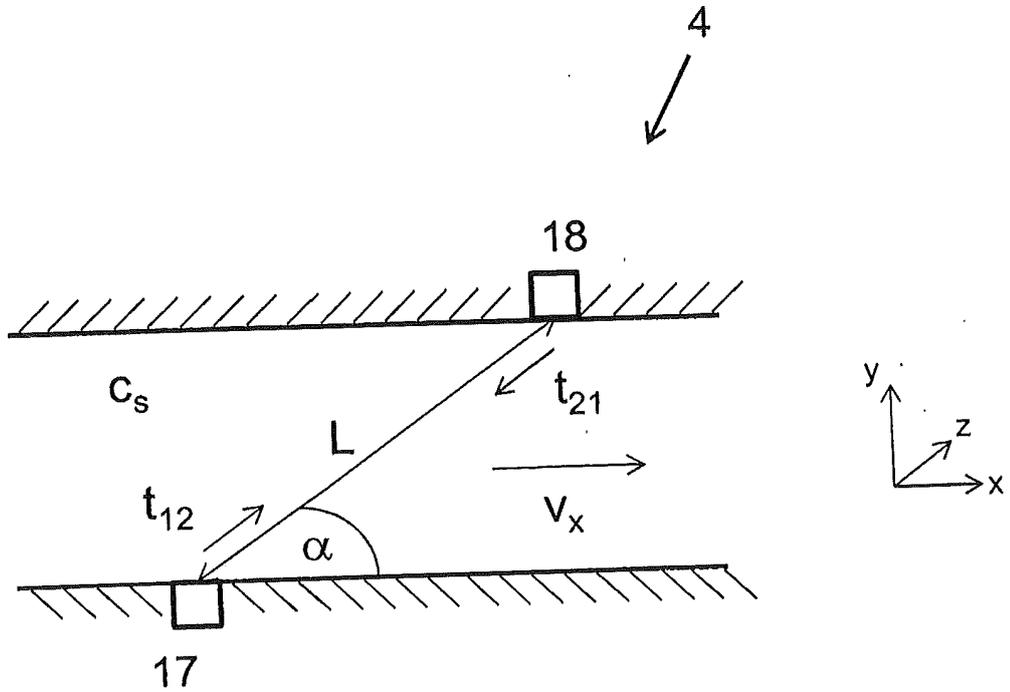
10 12. Dispositivo de medición de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 11, en el que la relación de división (3) entre el flujo de masas en el conducto de gas de derivación (6) y el conducto de gas principal (1) ha sido determinado previamente a través de calibración con un gas conocido.

15 13. Dispositivo de medición de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 12, en el que el dispositivo de medición comprende adicionalmente una sección del conducto de gas (1') o conducto de gas principal (1) y/o un conducto de gas de derivación (6), en los que se puede disponer al menos uno de los sensores (4, 7, 8, 9) del dispositivo de medición (11), y/o un elemento generador de la caída de la presión en el conducto de gas principal (1).

20 14. Dispositivo de medición de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 13, en el que la unidad de evaluación (10), forma junto con el dispositivo de medición restante una unidad de construcción, o en el que el dispositivo de medición forma sin la unidad de evaluación (10) una unidad de construcción, y la unidad de construcción está configurada en una unidad de cálculo separada o de orden superior.



**Fig. 1a**



$$t_{12} = \frac{L}{c_s + v_x \cdot \cos \alpha};$$

$$t_{21} = \frac{L}{c_s - v_x \cdot \cos \alpha}$$

$$v_x = \frac{L}{2 \cdot \cos \alpha \cdot t_{12} \cdot t_{21}} (t_{21} - t_{12}); \quad c_s = \frac{L}{2 \cdot t_{12} \cdot t_{21}} (t_{21} + t_{12})$$

**Fig. 1b**

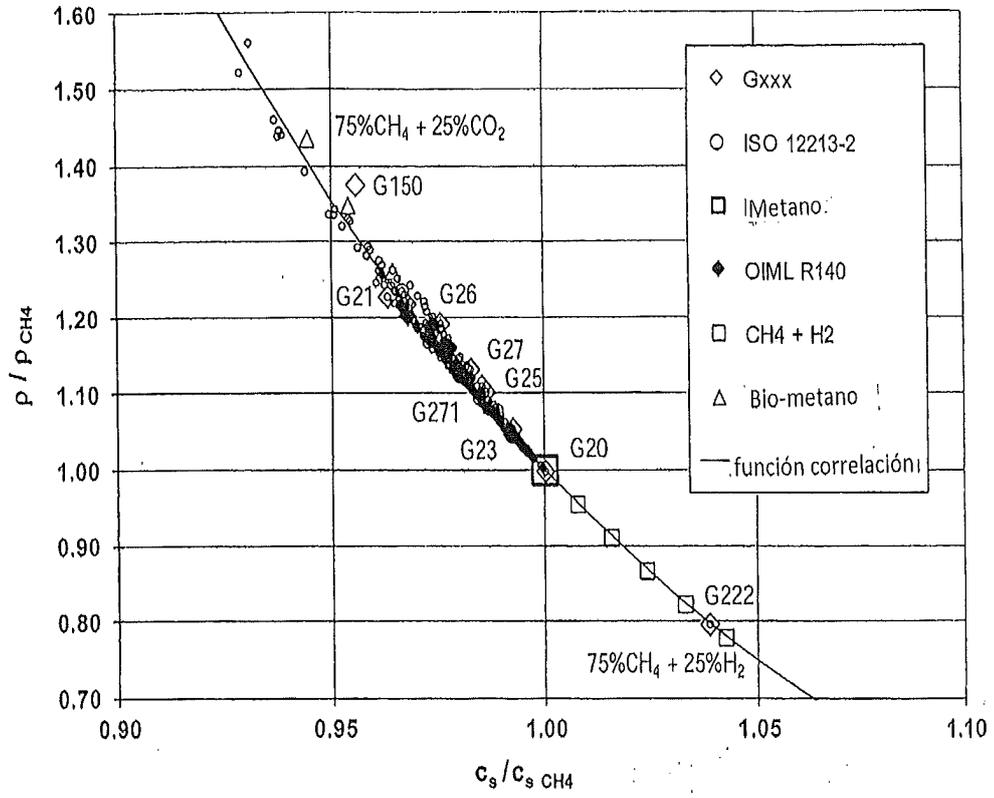


Fig. 2a

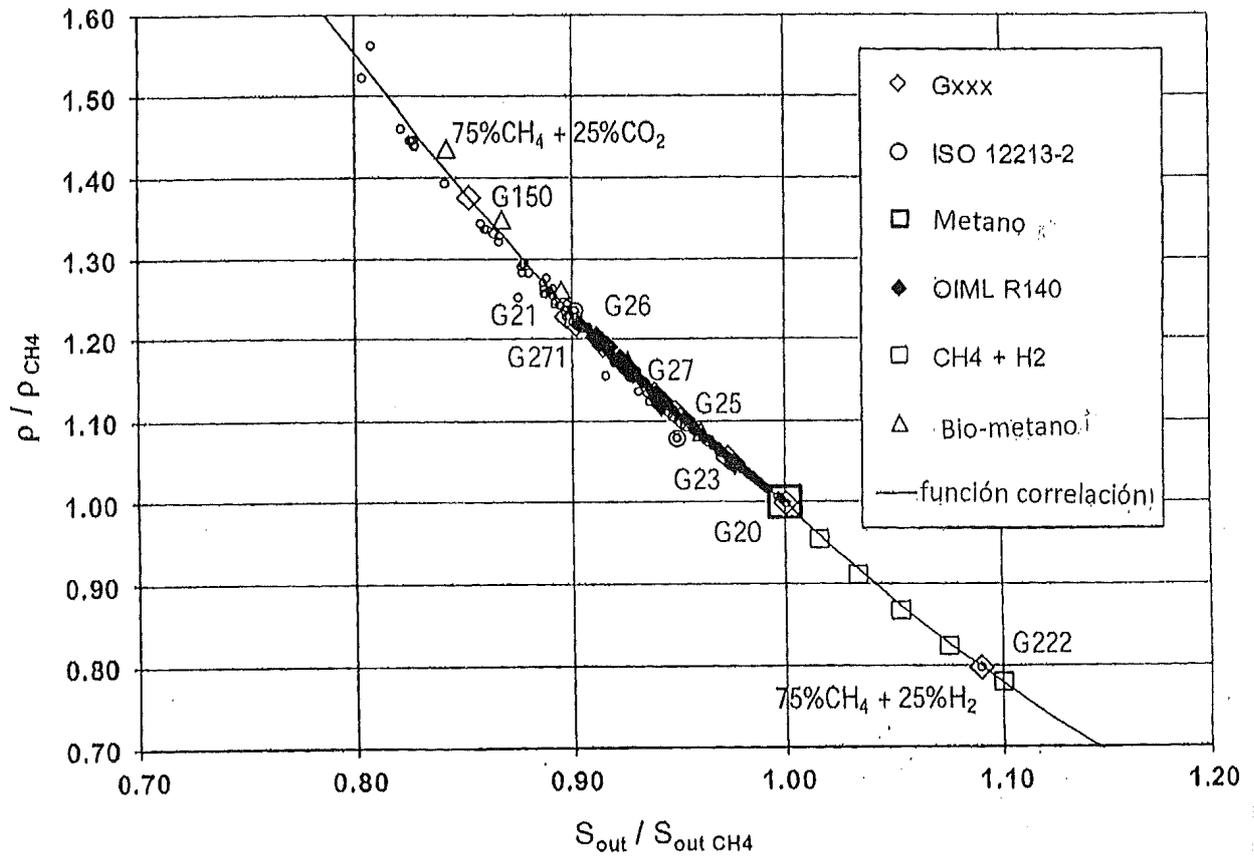


Fig. 2b

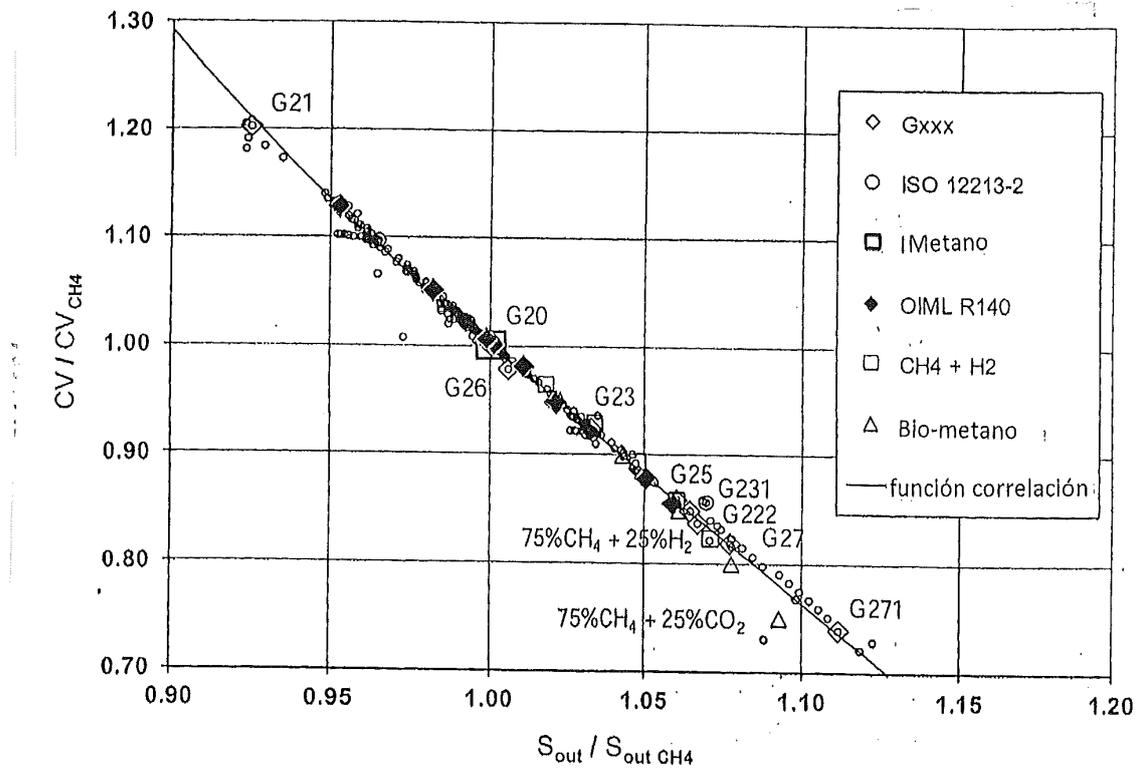


Fig. 3a

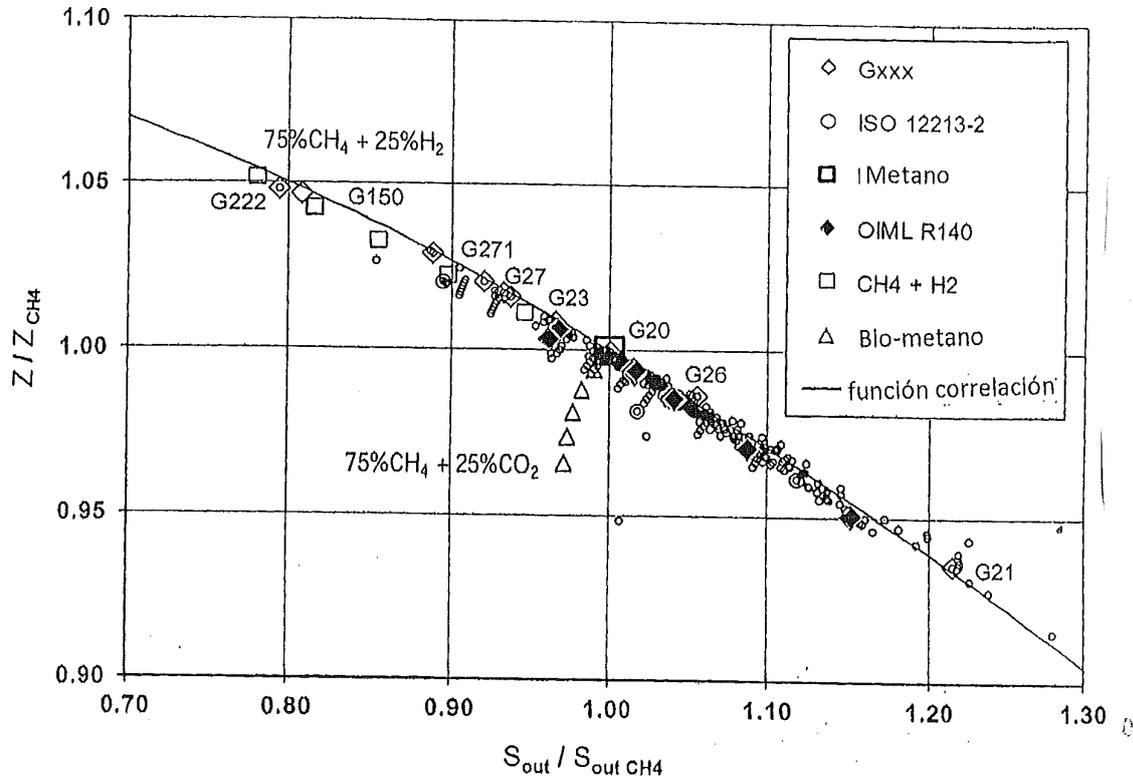


Fig. 3b

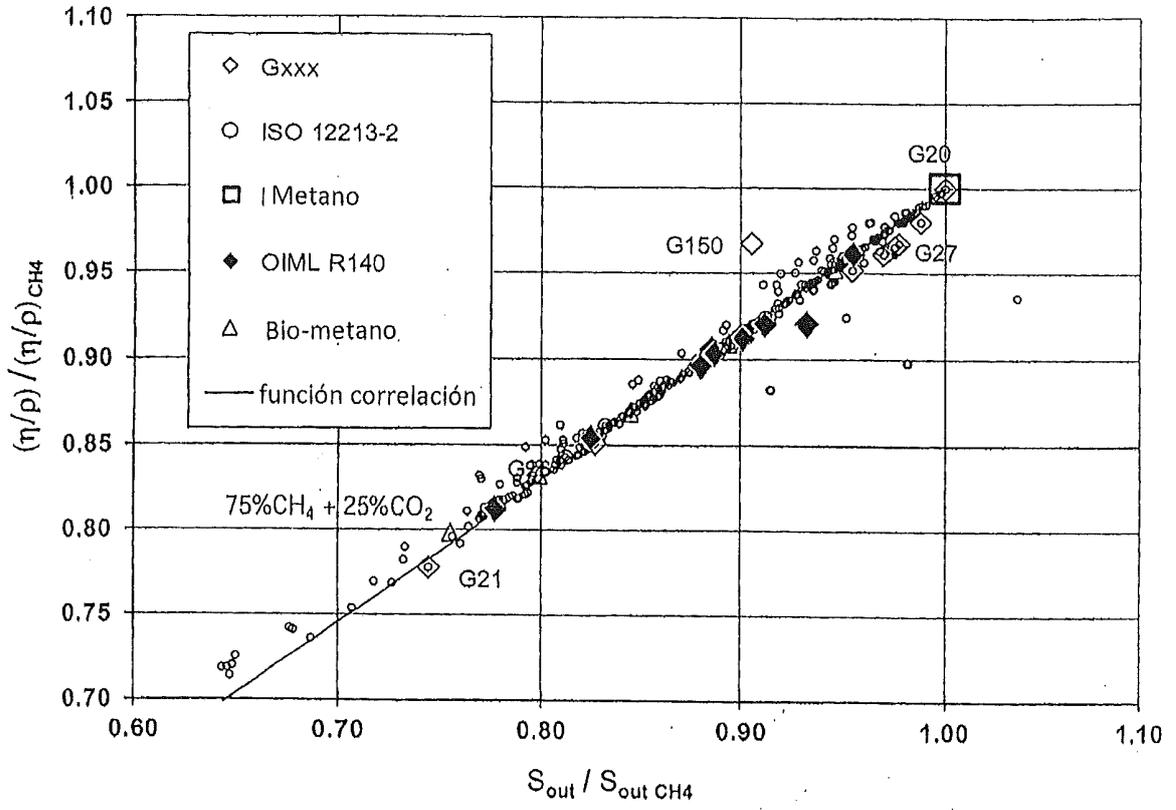


Fig. 3c

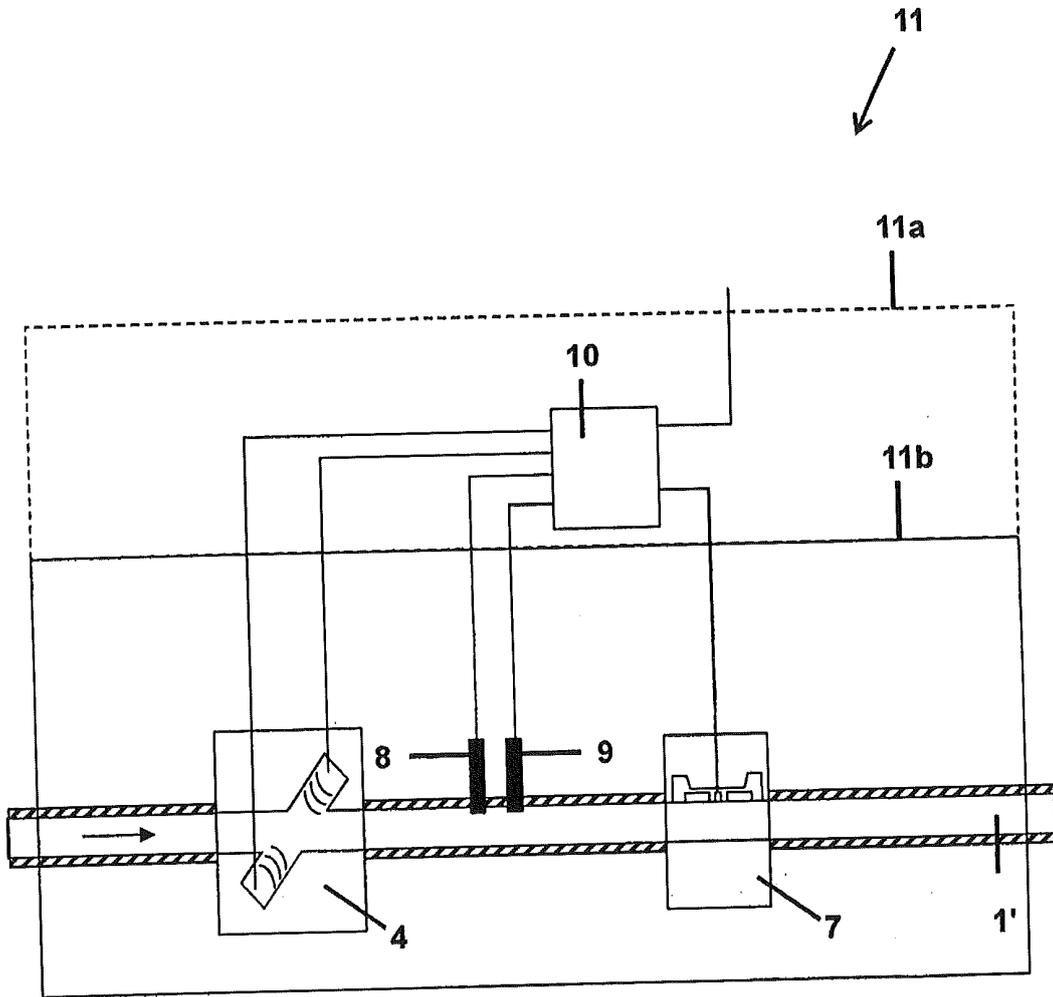


Fig. 4

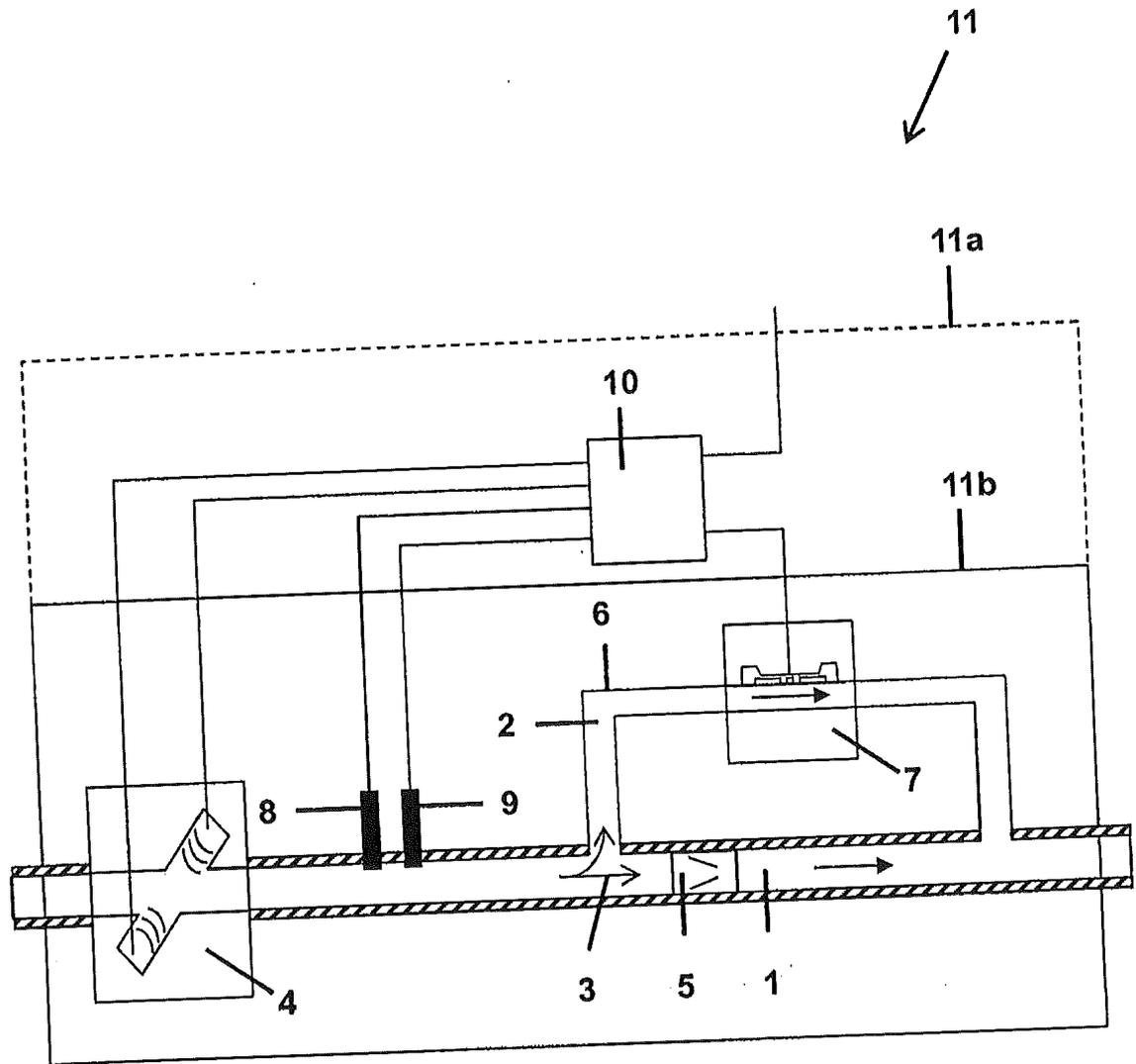


Fig. 5

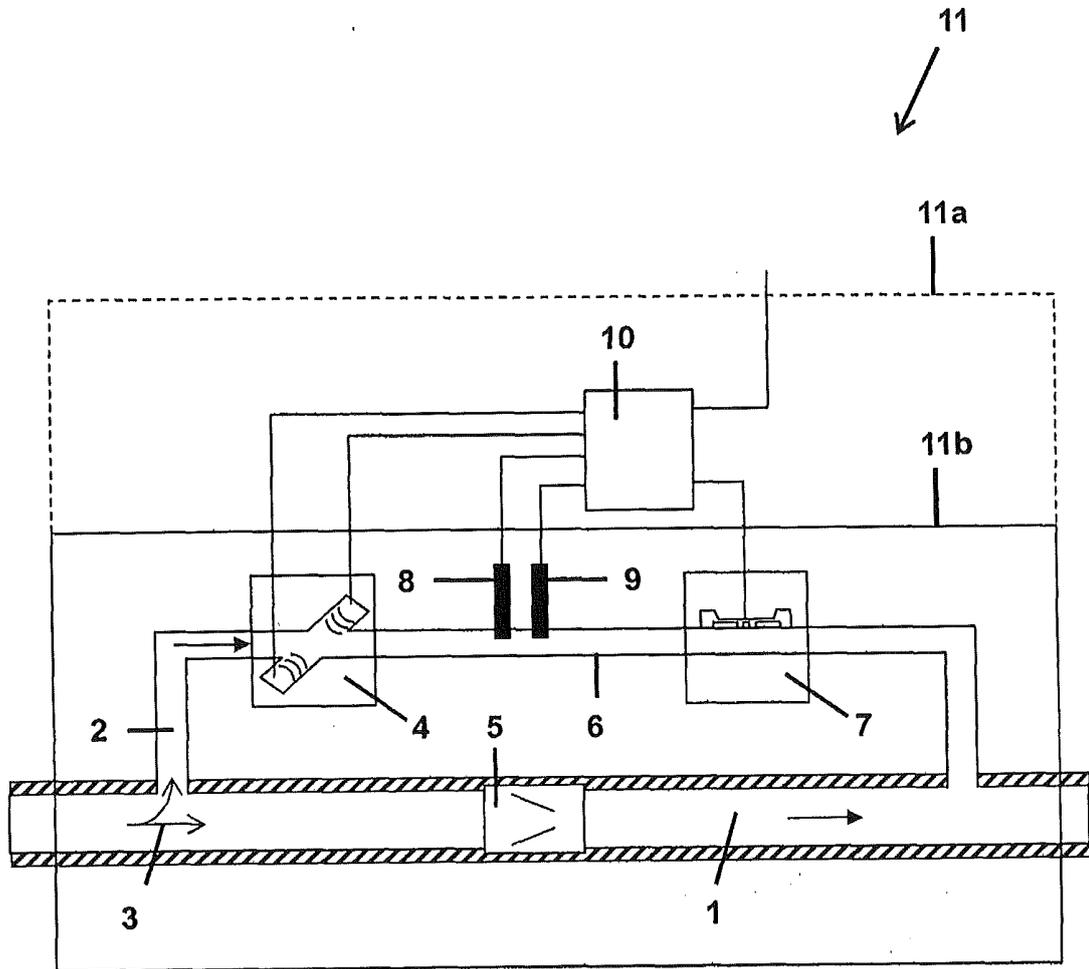


Fig. 6