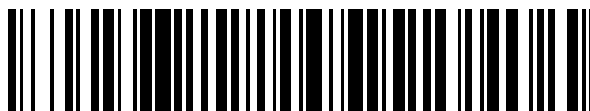


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 830**

51 Int. Cl.:

**G01N 33/22** (2006.01)

**G01N 33/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2015** **E 15003639 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019** **EP 3182118**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de medición para la determinación de propiedades del gas por medio de correlación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**16.07.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**PRÊTRE, PHILIPPE y  
KEMPE, ANDREAS**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 719 830 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).

**DESCRIPCION**

Procedimiento y dispositivo de medición para la determinación de propiedades del gas por medio de correlación

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo de medición para la determinación de propiedades del gas por medio de correlación.

10 La composición del gas (natural) y, por lo tanto, la naturaleza del gas se oscilará en el futuro, en virtud de nuevas fuentes de procedencia (biogas, gas natural licuado de todas las regiones del mundo, hidrógeno de la utilización de 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 el conocimiento de las propiedades del gas en el lugar se podrían ajustar los procesos a la calidad variable del gas, para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro. A las propiedades del gas relevantes en este contexto pertenecen, por ejemplo, el índice de Wobbe para controles de quemadores, el índice del aire en instalaciones de obtención de energía, como por ejemplo hornos industriales o células de combustible, el índice de metano para motores de gas o el índice de combustión para el cálculo de la cantidad de energía obtenida. La mayoría de las veces, estas propiedades del gas sólo se pueden medir directamente con mucho gasto, de manera que la determinado-en-el-lugar, no es rentable en general.

20 En el documento EP 2 015 056 A1 se describe un sensor de caudal de flujo térmico para la determinación de dos variables relevantes desde el punto de vista de la técnica de la combustión, sobre la base de una medición de la conductividad térmica con un flujo de masas casi conocido. A tal fin, se utiliza una tobera crítica, para mantener constante el flujo de masas.

25 En el documento EP 0 715 169 A1 se describe un procedimiento y un dispositivo, en los que se mide la densidad y/o la viscosidad del gas combustible para determinar a partir de los valores de medición el índice de combustión o el índice de Wobbe.

30 En el procedimiento descrito en el documento DE 199 21 167 A1 se calcula la velocidad del sonido o densidad así como la absorción de infrarrojos de un gas combustible para determinar a partir de ello por medio de correlación el valor de combustible o índice de Wobbe.

35 En el procedimiento conocido a partir del documento EP 0 939 317 A2 se determina a partir del valor de combustible o la constante de dielectricidad, por una parte, y la densidad o velocidad del sonido, por otra parte, la composición del gas.

40 Se conoce a partir del documento EP 2 806 271 A1 un procedimiento así como un dispositivo de medición para la determinación de propiedades físicas del gas, en el que a partir de varias magnitudes básicas físicas de un gas, como por ejemplo la conductividad térmica se calcula por medio de correlación una propiedad del gas buscada. Con este dispositivo de medición sencillo se posibilita entonces también una determinación-en-el-lugar de la propiedad del gas buscada. En efecto, en la ecuación 16 de la solicitud mencionada se menciona una función de correlación posible, pero no se indica con qué exactitud se aplica esta correlación para las mezclas de gas mostradas en la figura 4.

45 En función de la propiedad del gas y de la selección de mezclas de gas, para las que debe determinarse la propiedad del gas, puede ser difícil determinar con una sola correlación la propiedad del gas buscada con exactitud suficiente a partir de las variables de medición.

50 Por lo tanto, el objeto de la invención es indicar un procedimiento y un dispositivo de medición, con el que se puede mejorar la correlación de propiedades del gas y/o incrementar la selección de mezclas de gas, para las que la correlación presenta una exactitud deseada.

55 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 14.

60 El presente procedimiento parte de la observación de la solicitante de que dentro de una cantidad de mezclas de gas, para las que debe determinarse una propiedad del gas, existen grupos, en los que las mezclas de gas presentan un comportamiento físicamente similar. En relación con la determinación de propiedades del gas, esto significa que la correlación entre las variables de medición y la propiedad del gas buscada dentro de tal grupo de mezclas de gas es mejor que en toda la cantidad, y que las mezclas de gas de tal grupo se pueden separar por medio de variables de medición físicas, que son detectadas en el transcurso del procedimiento, de las restantes mezclas de gas de la cantidad.

Es evidente relacionar el comportamiento físicamente similar de las mezclas de gas de un grupo de mezclas de gas

con la uniformidad de la composición de las mezclas de gas. Así, por ejemplo, las mezclas de gas del tipo CH<sub>4</sub> + H<sub>2</sub> forman a partir de uno de los ejemplos de realización descritos a continuación un grupo de mezcla de gas. La uniformidad de la composición no es, sin embargo, una condición para el presente procedimiento. En este contexto sólo es importante que la correlación dentro de un grupo de mezclas de gas sea mejor que en la cantidad total, y que las mezclas de gas de un grupo de mezclas de gas se pueden separar de las restantes mezclas de gas de la cantidad.

En el procedimiento presentado a continuación se describe la correlación a través de una función de correlación  $f_{corr}$  para la propiedad del gas Q, siendo  $f_{corr}$  una función de la "salida de sensor"  $S_{out,i}$

$$Q = f_{corr}(\text{salida de sensor}) := f_{corr}(S_{out}), \quad (1)$$

El procedimiento se basa en un modo de proceder paso a paso o bien sección a sección, en el que se intenta definir la salida de sensor  $S_{out,1}$  en una primera etapa, de tal manera que un primer grupo de mezclas de gas de una cantidad se separan a lo largo del eje  $S_{out,i}$  de todas las otras mezclas de gas de la cantidad y se puede correlacionar con una primera función de correlación  $f_{corr,1}$ , para no tener que considerarla de esta manera en la etapa siguiente. Las restantes u otras mezclas de gas de la cantidad se comparan entonces en una segunda etapa con una segunda  $S_{out,2}$  a definir de nuevo, para poder correlaciones por separado un segundo grupo de mezclas de gas con una segunda función de correlación  $f_{corr,2}$ . El modo de proceder se puede repetir con frecuencia discrecional hasta que se alcance el grado deseado de calidad de la correlación.

La i "salida de sensor"  $S_{out,i}$  ( $i = 1, \dots, n$ ) es en este caso una función  $f_i$  de una o varias variables de medición físicas  $\mu_j$  ( $j = 1 \dots m$ ) de uno o varios sensores:

$$S_{out} = f_i(\mu_1, \dots, \mu_m), \quad (2)$$

Las funciones de correlación  $f_{corr,i}$  ( $i=1 \dots n$ ) pueden ser, con respecto a  $S_{out,i}$ , por secciones, otra modificación, en efecto, incluso es posible una modificación inestable de  $f_{corr,i}$  en los límites de la sección.

En este procedimiento es típico que a través de la introducción de la "salida de sensor"  $S_{out,i}$ , que es una función de variables físicas de medición, se posibilita encontrar con la ayuda de valores tabulados de estas variables de medición físicas para grupos de mezclas de gas, especialmente grupos de mezclas de gas dados, una selección opcional para las funciones  $f_i$ , que, como se ha descrito anteriormente, conduce a la separación de grupos de mezclas de gas. En efecto, si se registra la propiedad del gas Q sobre el eje frente a  $S_{out,1}$  sobre el eje-x, se desplazan los puntos de las mezclas de gas con la función  $f_i$  variable exclusivamente paralelos al eje-x, lo que facilita en una medida considerable el seguimiento visual de las repercusiones de la modificación de la función  $f_i$  (ver la figura 1b).

El seguimiento visual se puede automatizar también con un programa de ordenador como se indica a continuación: los parámetros funcionales  $p_{fi}$  de  $f_i$ , como por ejemplo coeficientes de polinomios, exponentes o constantes, se varían para cada función  $f_i$  en una cantidad de funciones de salida-de-sensor posibles dentro de calores límites para  $p_{fi}$  a introducir, por ejemplo por medio de un procedimiento de evaluación Monte-Carlo. Al mismo tiempo se cuenta el número de ambigüedades de doble sentido, es decir, el número de eventos, para las que dos o más mezclas de gas con "igual" salida de sensor"  $S_{out,1}$  muestran valores "diferentes" para la variable Q a correlacionar. "Igual" y "diferente" pueden significar en este caso también dentro o bien fuera de intervalos de valores a predeterminedar. En la figura 2a se representa de forma ejemplar un valor posible para la amplitud del intervalo  $\Delta$  de la salida de sensor"  $S_{out,2}$ . El objetivo es, por ejemplo, determinar aquella función  $f_i$  y aquel conjunto de parámetros funcionales  $p_{fi}$ , en los que aparecen al menos tales eventos de ambigüedad. Si se crea a lo largo del eje-x ( $S_{out,1}$ ) un histograma de estos eventos, se pueden calcular, como se muestra en la figura 2b, aquellas secciones a lo largo del eje-x, donde y para qué grupos de mezclas de gas es posible una correlación buena o bien mejorada (con una pluralidad n mínima de tales eventos de ambigüedad o bien dispersión mínima  $3\sigma$  de los valores-Q en el caso de eventos de ambigüedad en un intervalo). En lugar de la búsqueda mínima, se puede predeterminedar también para el comportamiento de selección, por ejemplo, el número n máximo permitido de los eventos de ambigüedad o bien la dispersión máxima permitida  $3\sigma$  de los valores-Q en el caso de eventos de ambigüedad en un intervalo.

Con el presente procedimiento para la determinación de propiedades de gas está implícita también una definición física del grupo de mezclas de gas. Las mezclas de gas, que son físicamente similares, se pueden separar de mezclas de gas, que pueden ser de la misma manera físicamente similares entre sí, pero se diferencian en un parámetro físico de la similitud del primer grupo de mezclas de gas.

Como ejemplo para un parámetro físico de la similitud se mencionan los grados de libertad térmica de moléculas de

gas. De acuerdo con el teorema de equipartición, en el equilibrio térmico sobre cada grado de libertad se suprime la misma energía media  $1/2Kt$ . Los gases combustibles como metano, etano y todos los otros hidrocarburos superiores se comportan como gases atómicos elevados con 6 grados de libertad, en cambio los ingredientes inertes del gas como nitrógeno, oxígeno y argón se pueden clasificar más bien como gases de un átomo con 5 grados de libertad, puesto que ciertos grados de libertad están todavía "congelados" a temperatura ambiente. Este hecho repercute sobre la capacidad térmica de estas moléculas (más grados de libertad = capacidad térmica más elevada). Al mismo tiempo, esta vez, sin embargo, condicionado químicamente, las moléculas inertes no contribuyen al valor de combustión (Q). En este caso, por lo tanto, a través de la medición de la capacidad térmica  $c_p = m$  se puede separar el grupo de gas con índice de combustión alto (gases-H) de del grupo de gas con valor de combustión bajo (gases-L).

Otros ejemplos de variables de medición físicas  $\mu_i$  son la densidad  $\rho$ , la conductividad térmica  $\lambda$ , la velocidad del sonido  $c_s$ , la constante de dielectricidad  $\epsilon$ , etc.

Ejemplos de la propiedad del gas Q a determinar son, por ejemplo, la viscosidad (importante en el diseño de sistemas de tuberías), el factor de gas real Z (importante para fines de cálculo en conductos de transporte de gas), pero también la velocidad de la llama (en aplicaciones de calor en la industria de procesos), pero también la velocidad de la llama (en aplicaciones de calor en la industria de procesos) o parámetros de procesos directos como tal vez el ángulo de encendido en motores de gas. Estos últimos tienen, por lo tanto, especial interés porque en este caso los parámetros físicos de la similitud son difíciles de detectar con la ayuda de la composición del gas, puesto que propiedades del gas en sentido "tradicional" se dan por el gas, en cambio los parámetros del proceso se dan por el proceso.

En un procedimiento para la determinación de propiedades del gas de acuerdo con la presente invención se correlaciona una propiedad del gas a determinar, por ejemplo, una propiedad física del gas, a partir de variables de medición físicas de los gases y/o de las mezclas de gas, de manera que las variables de medición físicas son agrupadas por medio de una función de salida del sensor en una salida del sensor, y la salida del sensor se compara con un valor límite  $S_{out}^{sep}$  para establecer si la salida del sensor dentro de la cantidad G de gases y/o de mezclas de gas, a los que se aplica el procedimiento, pertenece a un grupo de gases y/o de mezclas de gases, mencionado a continuación como grupo de mezclas de gas GG, en el que la correlación entre la salida del sensor y la propiedad de gas a determinar es mejor que en la cantidad total G. Cuando la salida de sensor pertenece al grupo de mezclas de gas GG mencionado, se correlaciona la propiedad del gas por medio de una función de correlación, que es específica para el grupo de mezclas de gas, a partir de la salida del sensor.

En una forma de realización ventajosa del procedimiento se verifica la pertenencia a un grupo de mezcla de gases en dos, tres, cuatro o más etapas, de manera que en cada caso se agrupan las variables físicas de medición por medio de una función de salida del sensor, que está especificada para los gases y/o mezclas de gases  $G_{rest,i}$  de la cantidad que permanecen después de la separación del grupo o grupos de mezclas de gases precedentes, llamados a continuación gases y/o gases y/o mezclas de gases  $G_{rest,i}$  remanentes, para formar otra salida de sensor, y la otra

salida de sensor se compara con otro valor límite  $S_{out,i}^{sep}$  para establecer si la otra salida de sensor dentro de los gases y/o mezclas de gases  $G_{rest,i}$  remanentes pertenece otro a grupo de mezcla de gases  $GG_i$ , en el que la correlación entre los gases y/o mezclas de gases  $G_{rest,i}$  remanentes de la otra salida de sensor y la propiedad del gas a determinar es mejor que dentro de los. Cuando la otra salida el sensor pertenece al otro grupo de mezcla de gases  $GG_i$  mencionado, se correlaciona la propiedad del gas por medio de una función de correlación específica para el otro grupo de mezcla de gases a partir de la otra salida del sensor.

Cuando la salida del sensor no pertenece a uno de los grupos de mezcla de gases mencionados, se puede correlacionar la propiedad del gas por medio de una función de correlación, que es específica para los gases y/o mezclas de gases remanentes, con la salida del sensor.

En algunos casos, puede ser ventajoso modificar la salida del sensor antes de la correlación con otra función de salida del sensor para preparar o mejorar la correlación entre la salida del sensor y la propiedad del gas y/o para simplificar la búsqueda de una función de correlación apropiada.

En otra forma de realización ventajosa del procedimiento, se establecen la función de salida del sensor y un valor límite  $S_{out}^{sep}$  para la salida del sensor, de tal manera que por medio del mismo se separa a partir de una cantidad G de gases y/o de mezclas de gases, para los que se determina la propiedad del gas, un grupo de mezcla de gases

GG, dentro del cual la correlación entre la salida del sensor y la propiedad del gas buscada es mejor que en la cantidad total G.

5 La separación de grupos de mezcla de gases se puede realizar también en dos, tres, cuatro o más etapas, de manera que en cada caso a partir de los gases y/o mezclas de gases  $G_{rest,i}$  remanentes después de la separación anterior se forma una cantidad nueva, a partir de la cual se separa otro grupo de mezcla de gases con una función

de salida de sensor propia y con un valor límite  $S_{out,i}^{sep}$  propio para la salida del sensor y en donde la correlación a partir de la salida del sensor para los gases y/o mezclas de gases para el otro grupo de mezcla de gases se realiza con una función de correlación propia.

Típicamente, para los gases y/o mezclas de gases del grupo de mezcla de gases GG se aplica la relación

10  $S_{out}^{GG} < S_{out}^{sep}$  y para los restantes gases y/o mezclas de gases  $G_{rest}$  de la cantidad se aplica la relación  $S_{out}^{Grest} \geq S_{out}^{sep}$ , o bien, dado el caso, en lugar de las relaciones mencionadas, se aplican las relaciones  $S_{out}^{GG} > S_{out}^{sep}$  y  $S_{out}^{Grest} \leq S_{out}^{sep}$ .

Independientemente de las formas de realización y variantes de realización descritas anteriormente, el procedimiento se puede realizar también automáticamente, por ejemplo en un dispositivo de medición.

15 Con ventaja, la función de salida del sensor o las funciones de salida del sensor y/o el o los valores límites  $S_{out}^{sep}$ ,  $S_{out,i}^{sep}$  para la salida del sensor y/o para las funciones de correlación, se establecen previamente, es decir, típicamente antes de la determinación de propiedades de los gases en el lugar, por ejemplo con la ayuda de valores de las variables físicas de medición y de la propiedad del gas a determinar a partir de valores de las tablas y/o de la literatura técnica y/o de bases de datos, y/o de mediciones, y se almacenan en caso necesario.

20 En otra forma de realización ventajosa del procedimiento, se calculan la función de salida del sensor o las funciones de salida del sensor y/o el o los valores límites  $S_{out}^{sep}$ ,  $S_{out,i}^{sep}$  para la salida del sensor con un programa de ordenador, variando para cada función  $f_i$  en una cantidad de funciones de salida del sensor posibles los parámetros funcionales  $p_{fi}$  de  $f_i$  respectivos, como por ejemplo coeficientes de polinomios, exponentes o constantes dentro de valores límites predeterminados para  $p_{fi}$ , por ejemplo por medio de un procedimiento de selección Monte-Carlo. La zona de salida del sensor se divide en este caso en intervalos y en particular en cada intervalo se cuenta el número de ambigüedades, es decir, el número de eventos para los que dos o más mezclas de gases muestran valores diferentes para la variable Q a correlacionar o los valores para la variable Q a correlacionar que están fuera de un intervalo de valores predeterminado. El objetivo es determinar aquella función  $f_i$  y aquel conjunto de parámetros funcionales  $p_{fi}$ , en los que aparecen al menos tales eventos de ambigüedades, o en los que la dispersión de los valores para la variable Q a correlacionar en eventos de ambigüedades en un intervalo es mínima, o no se alcanza un número máximo permitido predeterminado  $n_{max}$  de los eventos de ambigüedades o bien una dispersión máxima predeterminada  $3\sigma_{max}$  de los valores-Q en el caso de eventos de ambigüedades en un intervalo.

35 De manera más conveniente, además, se calcula a partir de qué valor límite  $S_{out,i}^{sep}$  no se excede un número  $n_{max}$  de eventos de ambigüedad predeterminada por cada intervalo para el cálculo del valor límite o bien una dispersión  $3\sigma_{max}$  de los valores-Q predeterminada para cada intervalo para el cálculo del valor límite en el caso de eventos de ambigüedad.

Típicamente al menos dos o todas las funciones de salida del sensor son diferentes entre sí y/o al menos dos o todos los valores límites para la salida del sensor son diferentes entre sí.

40 De manera preferida, los puntos de los gases y/o las mezclas de los gases del grupo o grupos de mezclas de gases se encuentran en cada caso sobre una línea descrita a través de una función de correlación inequívoca o en zonas de tolerancia, que se conectan a ambos lados de la función de correlación, y que no son, por ejemplo, mayores que 0,25 % o 0,75 % o 2 % del valor de la propiedad del gas (Q). Típicamente, al menos dos o todas las funciones de

correlación son diferentes entre sí.

En una variante de realización preferida, la función de salida del sensor o las funciones de salida del sensor sin del tipo

$$S_{out,i} = \mu_1^{p_{1,i}} \cdot \dots \cdot \mu_m^{p_{m,i}}$$

5 y exponentes  $p_{1,i}, \dots, p_{m,i}$  y/o

la función de correlación o funciones de correlación del tipo

$$Q = f_{corr,i}(S_{out,i}) = a_{0,i} + a_{1,i} \cdot S_{out,i} + a_{2,i} \cdot S_{out,i}^2$$

y constantes  $a_{0,i}, a_{1,i}, a_{2,i}$ .

10 Como medida para la exactitud de la correlación se puede utilizar, por ejemplo, el coeficiente de correlación de Pearson, en donde una correlación mejor significa que el coeficiente de correlación de Pearson está más cerca del valor +1 o -1, y, por ejemplo, el valor absoluto de la diferencia con respecto al valor +1 o bien -1 es menor que 0,3 ó 0,2 ó 0,1.

El coeficiente de correlación de Pearson

$$Kor(S_{out}, f_{corr}) = \frac{\sum_{k=1}^n (S_{out,k} - \bar{S}_{out})(f_{corr,k} - \bar{f}_{corr})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (S_{out,k} - \bar{S}_{out})^2 \cdot (f_{corr,k} - \bar{f}_{corr})^2}} \quad (3)$$

15

es una medida para la desviación de las dos variables  $S_{out}, f_{corr}$  de la linealidad, en donde

$$\bar{S}_{out} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n S_{out,k} \quad \text{y} \quad \bar{f}_{corr} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f_{corr,k}$$

20 gases. son los valores medios sobre todos los n gases y mezclas de

Si todos los n puntos de los gases y mezclas de gases se encuentran sobre una recta con gradiente positivo, entonces el coeficiente de correlación de Pearson tiene el valor +1. En cambio, si todos los n puntos se encuentran sobre una recta con gradiente negativo, entonces el valor es -1. Si todos los n puntos están distribuidos estocásticamente alrededor de un punto, entonces no existe ninguna correlación y el coeficiente de correlación de Pearson tiene el valor 0.

25

En general, las funciones de correlación, que reutilizan en el procedimiento descrito anteriormente y en las formas y variantes de realización descritas no son lineales, es decir, que la mayoría de las veces no se alcanzan los valores +1 y -1 del coeficiente de correlación de Pearson. Sin embargo, puesto que las desviaciones de la linealidad son moderadas en la mayoría de los casos, el coeficiente de correlación de Pearson es bien adecuado en la práctica

para fines de comparación, siendo la correlación o función de correlación entre las variables  $S_{out}$ ,  $f_{corr}$  tanto mejor o más exacta, cuando más cerca está el coeficiente de correlación de Pearson del valor +1 o -1.

5 Las variables físicas de medición se detectan de manera más ventajosa con uno o varios sensores. Como variables físicas de medición se detectan, por ejemplo, al menos dos de las siguientes variables de medición: conductividad térmica, capacidad térmica, difusividad térmica, densidad, velocidad de la circulación, flujo de masas, velocidad del sonido, constante de dielectricidad, viscosidad, absorción de infrarrojos, presión o temperatura, no siendo exhaustiva la enumeración.

10 Además, la invención comprende un dispositivo de medición para la determinación de propiedades del gas con uno o varios sensores para la detección de variables físicas de medición y con una unidad de evaluación, que está instalada para la realización de un procedimiento de acuerdo con una o varias de las formas y variantes de realización descritas anteriormente.

La unidad de evaluación puede formar, por ejemplo, junto con el o los sensores una unidad de construcción o la unidad de evaluación está configurada en una unidad de cálculo separada o de orden superior.

15 El procedimiento y el dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención para la determinación de las propiedades de gases tienen la ventaja de que gracias a la correlación en varias etapas se puede mejorar la exactitud de la determinación de propiedades de gases a partir de valor físicos de medición de los gases y/o de las mezclas de gases y de que la cantidad de los gases y/o de las mezclas de gases, para los que se puede aplicar el procedimiento con la exactitud deseada, es mayor que en procedimientos de correlación sencillos. Gracias a la correlación en varias etapas se pueden incorporar también mezclas de gases con composiciones, para las que una  
20 determinación de propiedades de los gases sólo se podía realizar hasta ahora de manera costosa o no con la exactitud necesaria, en el procedimiento.

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

La figura 1a muestra un primer ejemplo de realización con una representación gráfica para la correlación del factor de gas real Z de acuerdo con un procedimiento según la presente invención.

25 La figura 1b muestra un ejemplo para el desplazamiento horizontal mutuo de los puntos de las mezclas de gas individuales como consecuencia de la modificación de la función de salida del sensor en el primer ejemplo de realización.

La figura 2a muestra un ejemplo para la selección de la función de salida del sensor en el primer ejemplo de realización para la separación de gases ricos de hidrógenos (llamados "Hythanes").

30 La figura 2b muestra un ejemplo de un histograma de ambigüedad y del error de correlación previsible para un procedimiento de selección basado en ordenador para la determinación de la función de salida del sensor en el ejemplo de realización mostrado en la figura 2a.

La figura 3 muestra un ejemplo para la selección de la función de salida del sensor en el primer ejemplo de realización para la separación de gases H y L.

35 La figura 4 muestra un ejemplo para la selección de la función de salida del sensor en el primer ejemplo de realización para la correlación del factor de gas real dentro de los gases-H.

La figura 5 muestra un ejemplo para la selección de la función de salida del sensor en el primer ejemplo de realización para la correlación del factor de gas real dentro de los gases-L.

40 La figura 6 muestra un segundo ejemplo de realización con una representación gráfica para la correlación del índice de Prandtl de acuerdo con un procedimiento según la presente invención.

La figura 7 muestra un ejemplo para la selección de la función de salida del sensor en un segundo ejemplo de realización para la separación de los gases-H.

La figura 8 muestra un ejemplo para la selección de la función de salida del sensor en el segundo ejemplo de

realización para la preparación de la correlación del índice de Prandtl dentro de los gases-H.

La figura 9 muestra un ejemplo para la selección de la función de salida del sensor en el segundo ejemplo de realización para la separación de gases ricos de hidrógenos (llamados "Hythanes").

5 La figura 10 muestra un ejemplo para la selección de la función de salida del sensor en el segundo ejemplo de realización para la preparación de la correlación del índice de Prandtl dentro de los gases-L.

La figura 11 muestra un ejemplo de realización de la estructura esquemática de un dispositivo de medición de acuerdo con la presente invención.

En todas las representaciones mostradas en las figuras 1a-10 se utiliza metano (G20) como sigue como referencia

$$\mu_i := \mu_{i, Gas} / \mu_{i, CH_4}$$

10 para todas las variables de medición  $\mu_i$  en la ecuación (2) y en todas las secciones siguientes.

Un primer ejemplo de realización del procedimiento de acuerdo con la presente invención para la correlación del factor de gas real Z se describe a continuación con la ayuda de las figuras 1a-5.

El procedimiento parte de una selección o cantidad de gases y/o mezclas de gases, para los que debe determinarse una propiedad del gas Q.

15 En primer lugar se trata de seleccionar la función de salida del sensor  $S_{out}$  de tal manera que se puede reproducir la salida del sensor para todos los gases y/o mezclas de gases de la cantidad de una manera inequívoca sobre la propiedad del gas Q, es decir, en el primer ejemplo de realización sobre el factor de gas real Z, por ejemplo como se muestra en la figura 1aa por medio de la función de salida del sensor

$$S_{out} = f(c_p, c_s, \lambda) = c_p^1 \cdot c_s^1 \cdot \lambda^{-1}.$$

20 En una representación gráfica de Q en función de  $S_{out}$ , esto significa que los puntos de los gases y/o las mezclas de los gases se encuentran sobre una línea o al menos aproximadamente sobre una línea, que se puede describir por medio de una función inequívoca. Si esto no es posible, como se muestra en la figura 1a, para todos los gases y/o mezclas de gases de la cantidad al mismo tiempo, se puede seguir visualmente a través de la modificación de la función de salida del sensor  $S_{out,1}$  cómo se desplazan los puntos de los gases y/o las mezclas de los gases relativamente entre sí. La figura 1 muestra el desplazamiento de los puntos desde la figura 1aa (flechas de desplazamiento representadas), cuando se modifica la función de salida del sensor, por ejemplo, en

25

$$S_{out,1} = f_1(c_p, c_s, \lambda) = c_p^1 \cdot c_s^1 \cdot \lambda^0$$

(símbolos vacíos antes, símbolos llenos después del desplazamiento).

30 En el procedimiento de acuerdo con la presente invención, se modifica  $S_{out}$  de tal manera que se separa un grupo de gases y/o de mezclas de gases, llamado a continuación grupos de mezclas de gases, a lo largo del eje de la salida del sensor totalmente de los gases y/o mezclas de gases restantes, por ejemplo en el primer ejemplo de realización por medio de la función de salida del sensor



$$S_{out,2} = f_2(c_p, c_s, \lambda) = c_p^1 \cdot c_s^1 \cdot \lambda^0$$

5 La figura 2a muestra una representación del factor de gas real Z en función de  $S_{out,2}$  con metano (G20) como referencia. Para el grupo de mezclas de gases separado en la figura 2 (llamados "Hythanes" de la forma  $CH_4 + H_2$ ) se aplica la salida del sensor  $S_{out,2} > 1$  y se puede hallar fácilmente, como se deduce a partir de la figura 2a, una función de correlación para este grupo de mezclas de gases, por lo que éste no debe considerarse ya a continuación.

En cambio, si la medición da como resultado  $S_{out,2} \leq 1$ , se separan, por ejemplo, en una etapa siguiente a través de nueva modificación de la función de salida del sensor, por ejemplo en

$$S_{out,3} = f_3(c_p, c_s, \lambda) = c_p^1 \cdot c_s^{-0.5} \cdot \lambda^{-1}$$

10 los gases H y L unos de los otros a lo largo del eje  $S_{out,3}$ . La figura 3 muestra la separación de los gases-H de los gases-L. Si se aplica la salida del sensor  $S_{out,3} > 0,975$ , se trata de un gas H. Para  $S_{out,3} \leq 0,975$ , se trata de un gas-L. En el primer caso, se pasa a la correlación del factor de gas real Z para gases-H. En el último caso, se pasa a la correlación del factor de gas real Z para gases-L.

15 Para la correlación del factor de gas real Z para gases-H se puede utilizar, por ejemplo, la función de salida del sensor

$$S_{out,4} = f_4(c_p, c_s, \lambda) = c_p^1 \cdot c_s^{-1} \cdot \lambda^{-1}$$

La figura 4 muestra la correlación del factor de gas real Z en función de  $S_{out,4}$ .

Para la correlación del factor de gas real Z para gases-L se puede utilizar, por ejemplo, la función de salida del sensor

$$20 \quad S_{out,5} = f_5(c_p, c_s, \lambda) = c_p^{0.02} \cdot c_s^{-1.5} \cdot \lambda^2$$

La figura 5 muestra la correlación del factor de gas real Z en función de  $S_{out,5}$ .

Todas las funciones de correlación  $f_{corr,i}$  del primer ejemplo de realización son para  $i = 2, 4$  y  $5$  del tipo

$$Z = f_{corr,i}(S_{out,i}) = a_{0,i} + a_{1,i} \cdot S_{out,i} + a_{2,i} \cdot S_{out,i}^2 \quad (4),$$

es decir, polinomios de segundo grado.

25 Qué grupos de mezclas de gases deben separarse unos de los otros, cómo funcionan las funciones de salida del sensor  $S_{out,1}$ , cuántas etapas se necesitan, y dónde se pueden trazar las líneas de separación  $S_{out,i}^{sep}$  depende de las variables de medición  $\mu_j$  disponibles y de las propiedades de los gases a correlacionar. Los valores mencionados

anteriormente son sólo ejemplares.

5 Para mostrar que el procedimiento no está limitado al factor de gas real Z, que las variables de medición  $\mu_j$  disponibles pueden ser también otras que la capacidad térmica, la velocidad del sonido y la conductividad térmica, y que la función de salida del sensor utilizada  $S_{out,1}$  o bien la función de correlación  $f_{corr,i}$  no tienen que tener forzosamente la forma del ejemplo anterior, se indica aquí en un segundo ejemplos de realización de aplicación general la correlación del índice de Prandtl Pr. Pr es un índice adimensional de fluidos designado según Ludwig Prandtl, es decir, de gases o líquidos, es indica la relación del espesor de la capa límite de la circulación con relación a la capa límite de la temperatura en problemas de transmisión de calor.

10 Con respecto a las variables de medición  $\mu_j$  en el segundo ejemplo de realización se remite a la publicación EP 2 806 271 A1. En esta publicación se describe un procedimiento para la determinación de propiedades físicas del gas, en el que el gas o mezcla de gases fluyen desde un depósito de gas bajo presión a través de una tobera crítica y a través de un sensor microtérmico, y se mide la caída de la presión en el depósito de gas como función del tiempo. A partir de la medición de la caída de la presión se determina un primer factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  y a partir de la señal del flujo de paso del sensor microtérmico se determina un segundo factor de propiedad del gas  $\Gamma$ .

15 El primer factor de propiedad del gas  $\Gamma^*$  se define como

$$\Gamma^* := C_d \cdot \psi_{max} \cdot \sqrt{\frac{1}{M}}, \quad (5)$$

en donde  $C_d$  designa el "Coeficiente de descarga", es decir, el factor de pérdida de una tobera crítica real frente a una tobera crítica ideal, M designa el peso molecular del gas y  $\psi_{max}$  designa el valor máximo de la función del flujo de salida.

20 El segundo factor de propiedad del gas  $\Gamma$  se define como

$$\Gamma = \frac{c_p}{\lambda} \cdot C_d \cdot \psi_{max} \cdot \sqrt{M}, \quad (6)$$

en donde  $c_p$  es la capacidad térmica y  $\lambda$  es la conductividad térmica.

25 Además, con la ayuda del sensor microtérmico se determina la conductividad térmica factor de propiedad del gas  $\lambda$  del gas o de la mezcla de gases y a partir del primero y del segundo factores de propiedades de gas  $\Gamma^*$ ,  $\Gamma$  y de la conductividad térmica  $\lambda$  se calcula por medio de correlación una propiedad física del gas buscada.

En el segundo ejemplo de realización se utiliza como función de salida del sensor

$$S_{out} = f(\Gamma^*, \Gamma, \lambda) = \alpha_1 \cdot (\Gamma^*)^{\beta_1} + \alpha_2 \cdot e^{(\Gamma - \Gamma_0)/\beta_2} + \alpha_3 \cdot \tanh((\lambda - \lambda_0)/\beta_3) \quad (7)$$

respectivamente, con diferentes constantes  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \Gamma_0$  y  $\lambda_0$ .

La función de correlación tiene la forma

$$Pr = f_{corr}(S_{out}) = a_1 + a_2 \cdot (S_{out} - S_{out,0})^b, \quad (8)$$

30

es decir, una llamada función de Potencia con salida  $a_1$ , coeficiente  $a_2$  y exponentes  $b$ .

En una 1ª etapa del segundo ejemplo de realización se trata de representar la salida del sensor  $S_{out}$  de una manera inequívoca sobre el índice de Prandtl Pr, como se muestra en la figura 6, por medio de la función de salida del sensor.

5

$$S_{out} = \Gamma^* - e^{(\Gamma-1)} + \tanh(\lambda - 1).$$

Si esto no es posible, como se muestra en la figura 6, para todos los gases y/o mezclas de gases de la cantidad al mismo tiempo, se pueden separar en una 2ª etapa del procedimiento los gases-H de más alto valor calórico por medio de la función de salida del sensor

$$S_{out,1} = f(\Gamma^*, \Gamma, \lambda) = (\Gamma^*)^5 + 0.125 \cdot e^{(\Gamma-0.5)/0.5} + 0.125 \cdot \tanh(\lambda - 1)$$

10 y del valor límite  $S_{out,1}^{sep} = 1.34$ . La figura 7 muestra la separación de los gases-H de los gases y mezclas de gases restantes.

En una 3ª etapa del procedimiento se prepara, por ejemplo, por medio de

$$S_{out,2} = -0.46 \cdot (\Gamma^*)^{3.74} - 0.865 \cdot e^{(\Gamma-0.25)/0.83} - 2.26 \cdot \tanh((\lambda - 0.73)/1.43)$$

15 la correlación del índice de Prandtl Pr dentro de gases-H y éste se correlaciona, por ejemplo, por medio de la función de correlación

$$Pr = f_{corr}(S_{out,2}) = 0.98 + 0.012 \cdot (S_{out,2} + 3.82)^{-3.37}$$

La figura 8 muestra la correlación del índice de Prandtl Pr dentro de los gases-H en función de  $S_{out,2}$ .

En una 4ª etapa del procedimiento se separan, por ejemplo, por medio de la función de salida del sensor

$$S_{out,3} = f(\Gamma^*, \Gamma, \lambda) = -4.44 \cdot (\Gamma^*)^0 + 2 \cdot e^{(\Gamma-0.5)/0.5} + \tanh(\lambda - 1)$$

20 y del valor límite  $S_{out,3}^{sep} = 0.997$  los gases ricos en hidrógeno (llamados "Hythanes") y se correlaciona el índice de Prandtl dentro de los Hythanes por medio de la función de correlación

$$Pr = f_{corr}(S_{out,3}) = 1.01 \cdot S_{out,3}^{-0.267}$$

La figura 9 muestra la correlación del índice de Prandth Pr dentro de los Hythanes en función de  $S_{out,3}$ .

En una 5ª etapa del procedimiento se prepara, por ejemplo, por medio de

$$S_{out,4} = f(\Gamma^*, \Gamma, \lambda) = (\Gamma^*)^2 + 0.5 \cdot e^{(\Gamma-1)/0.1} + 0.5 \cdot \tanh(\lambda + 1)$$

la correlación del índice de Prandtl dentro de los gases-L y se correlaciona ésta, por ejemplo, por medio de la función de correlación

$$Pr = f_{corr}(S_{out,4}) = 0.77 + 0.25 \cdot (S_{out,4} - 1.22)^{0.3}$$

5 La figura 10 muestra la correlación del índice de Prandtl Pr dentro de los gases-L en función de  $S_{out,4}$ .

La figura 11 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 10 comprende uno o varios sensores 3, 4, 5, 6 para la detección de variables físicas de medición  $\mu_j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) y una unidad de evaluación 9, que está instalada para la realización de un procedimiento de acuerdo con la presente invención o de un a de las formas o variantes de realización descritas anteriormente del procedimiento. Como sensores pueden estar previstos uno o varios de los siguientes sensores, un sensor microtérmico 6, un sensor de flujo de paso ultrasónico 5, un sensor de temperatura 4, un sensor de presión 3 u otro sensor adecuado. En una variante de realización ventajosa, los sensores están dispuestos en un conducto de gas 1.

15 Algunos de estos componentes o todos estos componentes se pueden agrupar en una unidad de construcción, en donde la unidad de construcción 9 puede ser componente de esta unidad de construcción (variante 10a), o la unidad de construcción se puede preparar separada de ella (variante 10b), por ejemplo en una unidad de cálculo de orden superior.

20 En caso necesario, el dispositivo de medición 10 puede contener componentes adicionales, como por ejemplo una o varias válvulas de bloqueo 2.1, 2.2. Con la ayuda de las válvulas de bloqueo es posible detectar una o varias de las variables físicas de medición bajo flujo o en reposo.

El procedimiento descrito anteriormente y las formas y variantes de realización descritas anteriormente así como el dispositivo de medición descrito anteriormente son adecuados, por ejemplo, para la determinación de propiedades de gases y/o de mezclas de gases combustibles y/o de gases y/o mezclas de gases del sector de la energía.

25 El procedimiento y el dispositivo de medición de acuerdo con la invención tienen la ventaja de que gracias a la correlación en varias etapas se puede mejorar la exactitud de la determinación de propiedades de gases a partir de valores físicos de medición de los gases y/o de mezclas de gases y de que la cantidad de los gases y/o mezclas de gases, para los que se aplica el procedimiento con la exactitud deseada, es mayor que en procedimientos de correlación sencillos. Otra ventaja consiste en que el dispositivo de medición presentado se puede fabricar de manera comparativamente favorable, lo que posibilita una determinación económica de propiedades del gas.

30

**REIVINDICACIONES**

1.- Procedimiento para la determinación de propiedades de los gases por medio de correlación, en el que

- se determina una propiedad (Q) del gas a determinar a partir de variables físicas de medición ( $\mu_j$  ( $j = 1, \dots, m$ )) de los gases y/o de las mezclas de gases por medio de correlación, **caracterizado** porque
- las variables físicas de medición ( $\mu_j$  ( $j = 1, \dots, m$ )) se agrupan por medio de una función de salida del sensor (f) en una salida del sensor ( $S_{out} = f(\mu_1, \dots, \mu_m)$ ),
- la salida del sensor ( $S_{out}$ ) se compara con un valor límite  $S_{out}^{sep}$  para determinar si la salida del sensor dentro de la cantidad (G) de gases y/o mezclas de gases, a los que se aplica el procedimiento, pertenece a un grupo de gases y/o mezclas de gases, llamado a continuación grupo de mezclas de gases (GG), en el que la correlación entre la salida del sensor ( $S_{out}$ ) y la propiedad (Q) del gas a determinar es mejor que en la cantidad total (G), y
- cuando la salida del sensor ( $S_{out}$ ) pertenece a dicho grupo de mezclas de gases (GG), se determina la propiedad del gas (G) por medio de una función de correlación ( $f_{corr}$ ), que es específica para el grupo de mezclas de gases, a partir de la salida del sensor.

2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la pertenencia a un grupo de mezclas de gases se verifica en dos, tres, cuatro o más etapas,

- agrupando en cada caso las variables físicas de medición ( $\mu_j$  ( $j = 1, \dots, m$ )) por medio de una función de salida del sensor ( $f_i$ ), que es específica para los gases y/o mezclas de gases ( $G_{rest,i}$ ) de la cantidad que permanecen después de la separación del grupo o grupos de mezclas de gases anteriores, llamados a continuación gases y/o mezclas de gases remanentes, en otra salida del sensor  $S_{out,i} = f_i(\mu_1, \dots, \mu_m)$  y la otra salida del sensor ( $S_{out,i}$ ) se compara con otro valor límite  $S_{out,i}^{sep}$  para establecer si la otra salida de sensor dentro de los gases y/o mezclas de gases  $G_{rest,i}$  remanentes pertenece a otro grupo de mezcla de gases (GG<sub>i</sub>), en el que la correlación entre la otra salida del sensor ( $S_{out,i}$ ) y la propiedad (Q) del gas a determinar es mejor que dentro de los gases y/o mezclas de gases ( $G_{rest,i}$ ) remanentes, y
- cuando la otra salida del sensor ( $S_{out,i}$ ) pertenece al otro grupo de mezclas de fases mencionado (GG<sub>i</sub>), se determina la propiedad (Q) del gas por medio de una función de correlación ( $S_{corr,i}$ ) a partir de la otra salida del sensor.

3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el que cuando la salida del sensor ( $S_{out}$ ,  $S_{out,i}$ ) no pertenece a uno de los grupos de mezclas de gases (GG, GG<sub>i</sub>) mencionados, se determina la propiedad (Q) del gas por medio de una función de correlación ( $S_{corr,i}$ ), que está especificada para los gases y/o mezclas de gases ( $G_{rest}$ ,  $G_{rest,i}$ ) remanentes, a partir del sensor de salida.

4.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la salida del sensor ( $S_{out}$ ,  $S_{out,i}$ ) se modifica antes de la correlación con otra función de salida del sensor ( $f_i$ ).

5.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la función de salida del sensor (f) y un valor límite  $S_{out}^{sep}$  para la salida del sensor se establecen de tal manera que por medio del mismo a partir de una cantidad (G) de gases y/o de mezclas de gases, para la que se determina la propiedad del gas (Q), se separa un grupo de mezclas de gases (GG), dentro del cual la correlación entre la salida del sensor ( $S_{out}$ ) y la propiedad (Q) del gas es mejor que en la cantidad total (G).

6.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que para los gases y/o mezclas de gases del grupo de mezclas de gases (GG) se aplica la relación

$$S_{out}^{GG} < S_{out}^{sep}$$

y para los gases y/o mezclas de gases ( $G_{rest}$ ) restantes de la cantidad se aplica la relación

$$S_{out}^{Grest} \geq S_{out}^{sep}$$

o, dado el caso, en lugar de las relaciones mencionadas se aplican las relaciones

$$S_{out}^{GG} > S_{out}^{sep} \quad \text{y} \quad S_{out}^{Grest} \leq S_{out}^{sep}$$

7.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, que se ejecuta automáticamente, por ejemplo automáticamente en un dispositivo de medición.

8.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la función de salida del sensor o las funciones de salida del sensor ( $f, f_i$ ) y/o el o los valores límites ( $S_{out}^{sep}, S_{out,i}^{sep}$ ) para la salida del sensor y/o para las funciones de salida del sensor ( $f_{corr}, f_{corr,i}$ ) se establecen previamente, por ejemplo con la ayuda de valores de las variables físicas de medición y de la propiedad del gas a determinar a partir de valores de las tablas y/o de la literatura técnica y/o de bases de datos y/o de mediciones.

9.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la función de salida del sensor o las funciones de salida del sensor ( $f, f_i$ ) y/o el o los valores límites ( $S_{out}^{sep}, S_{out,i}^{sep}$ ) para la salida del sensor se calculan con un programa de ordenador

- variando para cada función ( $f_i$ ) en una cantidad de funciones de salida del sensor posibles los parámetros respectivos de las funciones ( $p_{fi}$ ) de ( $f_i$ ), como por ejemplo coeficientes de polinomios, exponentes o constantes, dentro de valores límites predeterminados para ( $p_{fi}$ ), por ejemplo por medio de un procedimiento de selección de Monte-Carlo,
- dividiendo la zona de salida del sensor en intervalos y contando en particular en cada intervalo el número de ambigüedades, es decir, en número de eventos para los que dos o más mezclas de gases muestran valores diferentes para la variable (Q) a correlacionar o los valores para la variable (Q) a correlacionar se encuentran fuera de un intervalo de valores predeterminado para (Q),
- determinando aquella función ( $f_i$ ) y aquel conjunto de parámetros funcionales ( $p_{fi}$ ), en los que aparecen al menos tales eventos de ambigüedad, o la dispersión de los valores para la variable (Q) a correlacionar en el caso de eventos de ambigüedad en un Intervalo es mínima o no se excede un número ( $n_{max}$ ) máximo permitido predeterminado de los eventos de ambigüedad o bien una dispersión permitida máxima predeterminada de los valores-Q en el caso de eventos de ambigüedad en un intervalo, y
- determinando, en particular, a partir de qué valor límite  $S_{out,i}^{sep}$  no se excede un número  $n_{max}$  de eventos de ambigüedad predeterminado por cada intervalo para el cálculo del valor límite o bien una dispersión de los valores-Q predeterminada para cada intervalo para el cálculo del valor límite en el caso de eventos de ambigüedad.

10.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que al menos dos o todas las funciones de correlación son diferentes entre sí y/o en el que los puntos de los gases y/o de las mezclas de gases del grupo o grupos de mezclas de gases se encuentran, respectivamente, sobre una línea descrita a través de una función de correlación inequívoca o se encuentran en zonas de tolerancia, que se conectan a ambos lados en tal línea, y que no son mayores que 0,25 % o 0,75 % o 2 % del valor de la propiedad (Q) del gas.

11.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la función de salida del sensor (f) o las funciones de salida del sensor ( $f_i$ ) son del tipo

$$S_{out,i} = \mu_1^{p_{1,i}} \cdot \dots \cdot \mu_m^{p_{m,i}}$$

y exponentes  $p_{1,i}, \dots, p_{m,i}$  y/o

en el que la función de correlación ( $f_{corr}(S_{out})$ ) o funciones de correlación ( $f_{corr,i}(S_{out,i})$ ) son del tipo

$$Q = f_{corr,i}(S_{out,i}) = a_{0,i} + a_{1,i} \cdot S_{out,i} + a_{2,i} \cdot S_{out,i}^2$$

y constantes  $a_{0,i}$ ,  $a_{1,i}$ ,  $a_{2,i}$ .

5 12.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que como medida para la exactitud de la correlación se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson ( $Kor(S_{out}, Q)$ ), y en el que una correlación mejorada significa que el coeficiente de correlación de Pearson está más cerca del valor 1 ó -1, en particular que el valor absoluto de la diferencia con respecto al valor 1 ó -1 es menor que 0,3 ó 0,2 ó 0,1.

10 13.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 12, en el que las variables físicas de medición ( $\mu_j$  ( $j = 1, \dots, m$ )) son detectadas con uno o varios sensores y/o en el que como variables físicas de medición ( $\mu_j$  ( $j = 1, \dots, m$ )) se detectan al menos dos de las variables de medición conductividad térmica, capacidad térmica, difusividad térmica, densidad, velocidad de la circulación, flujo de masas, velocidad del sonido, constante de dielectricidad, viscosidad, absorción de infrarrojos, presión o temperatura.

15 14.- Dispositivo de medición para la determinación de propiedades del gas con uno o varios sensores (3, 4, 5, 6) para la detección de variables físicas de medición ( $\mu_j$  ( $j = 1, \dots, m$ )) y con una unidad de evaluación (9), **caracterizado** porque la unidad de evaluación está instalada para la realización de un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 13.

15.- Dispositivo de medición de acuerdo con la reivindicación 14, en el que la unidad de evaluación forma junto con el o los sensores una unidad de construcción, o en la que la unidad de evaluación está configurada en una unidad de cálculo separada.

20

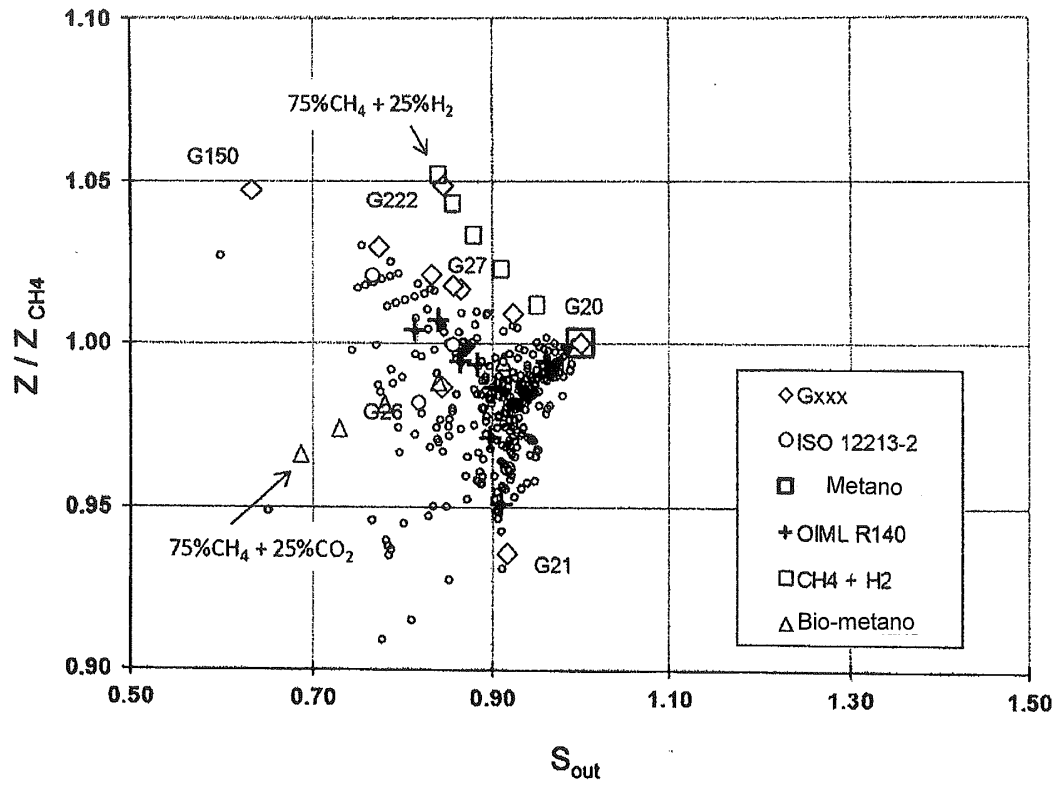


Fig. 1a



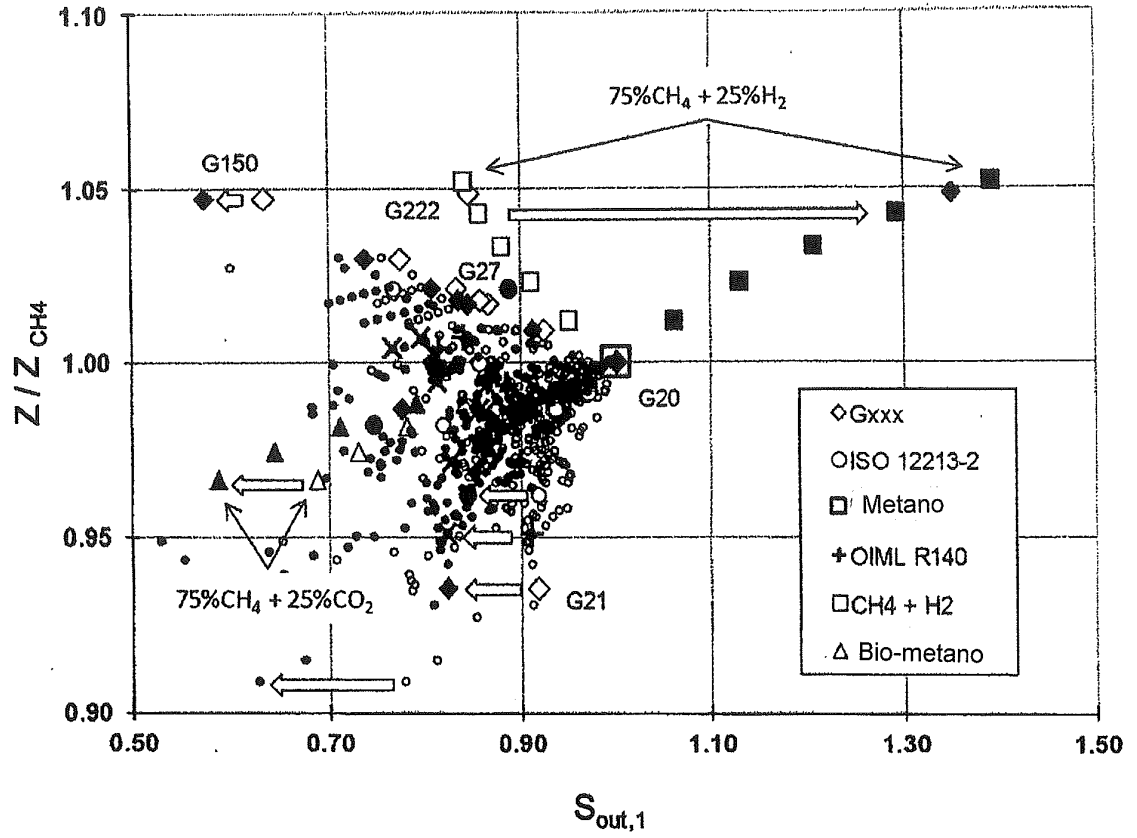


Fig. 1b

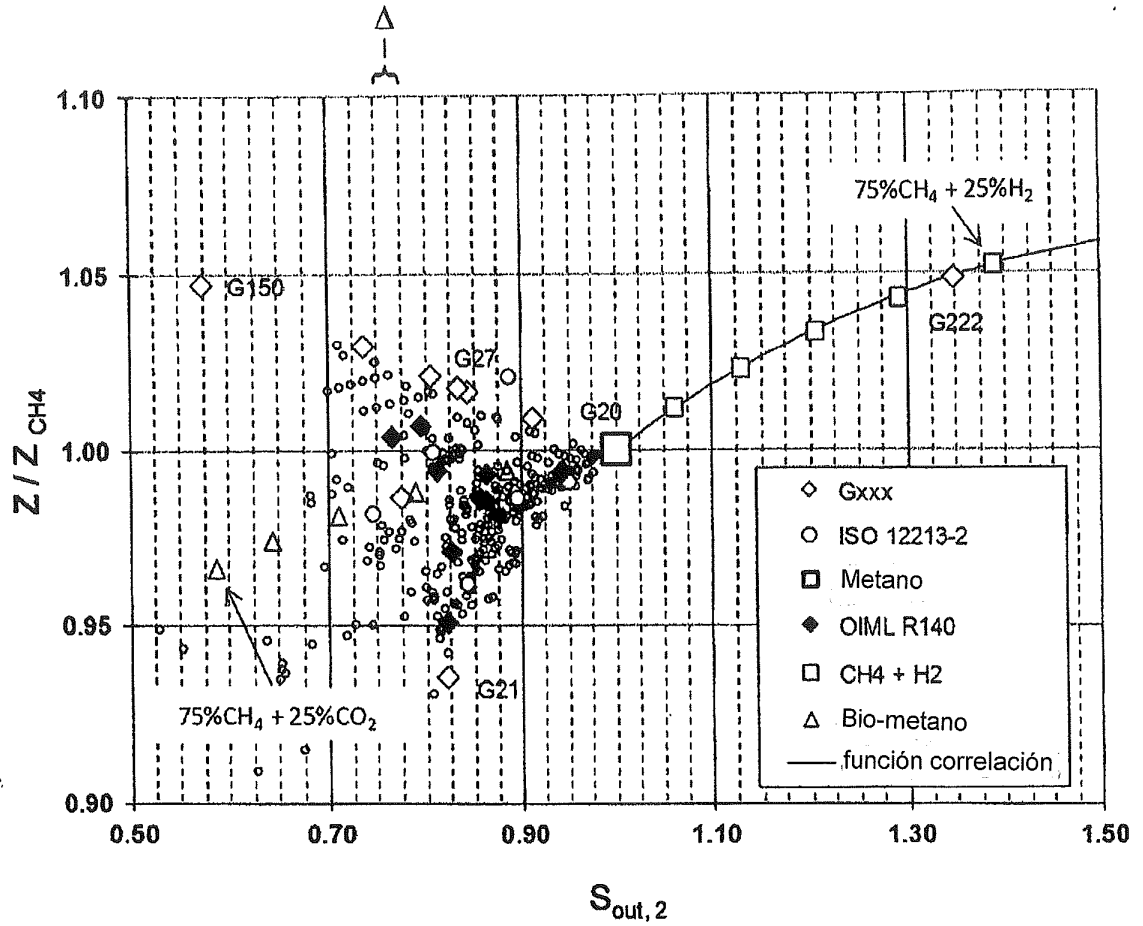


Fig. 2a

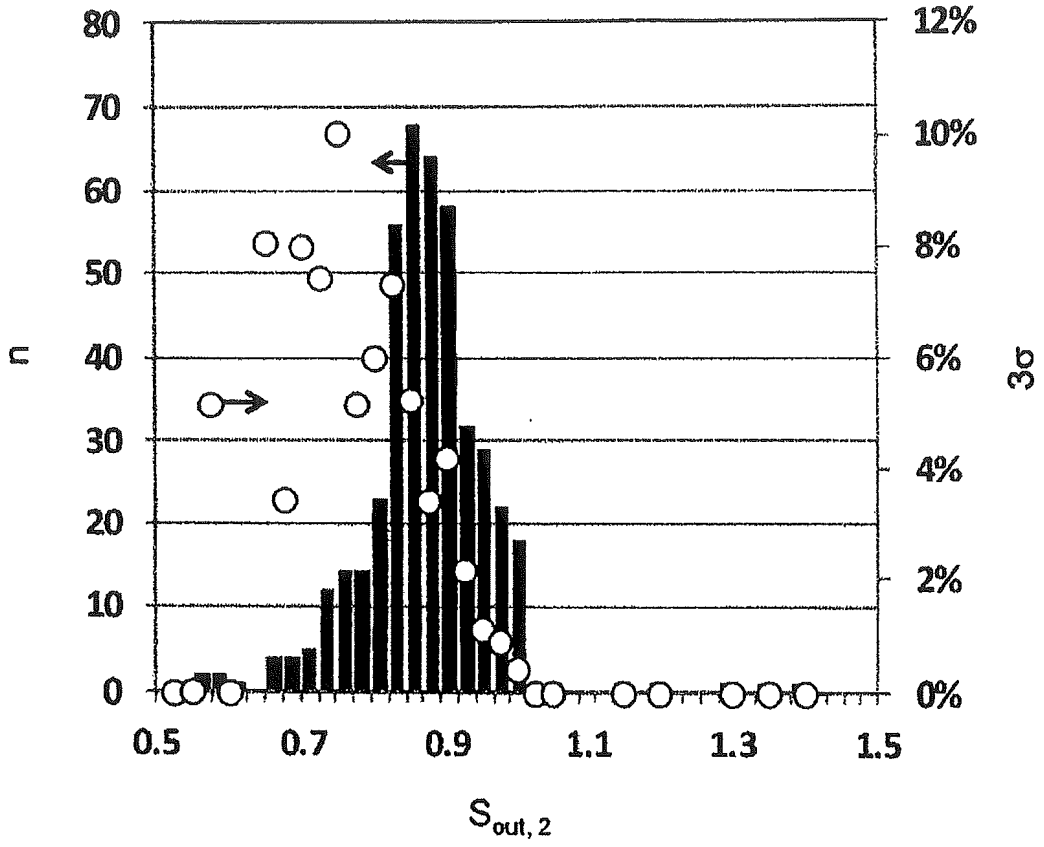


Fig. 2b

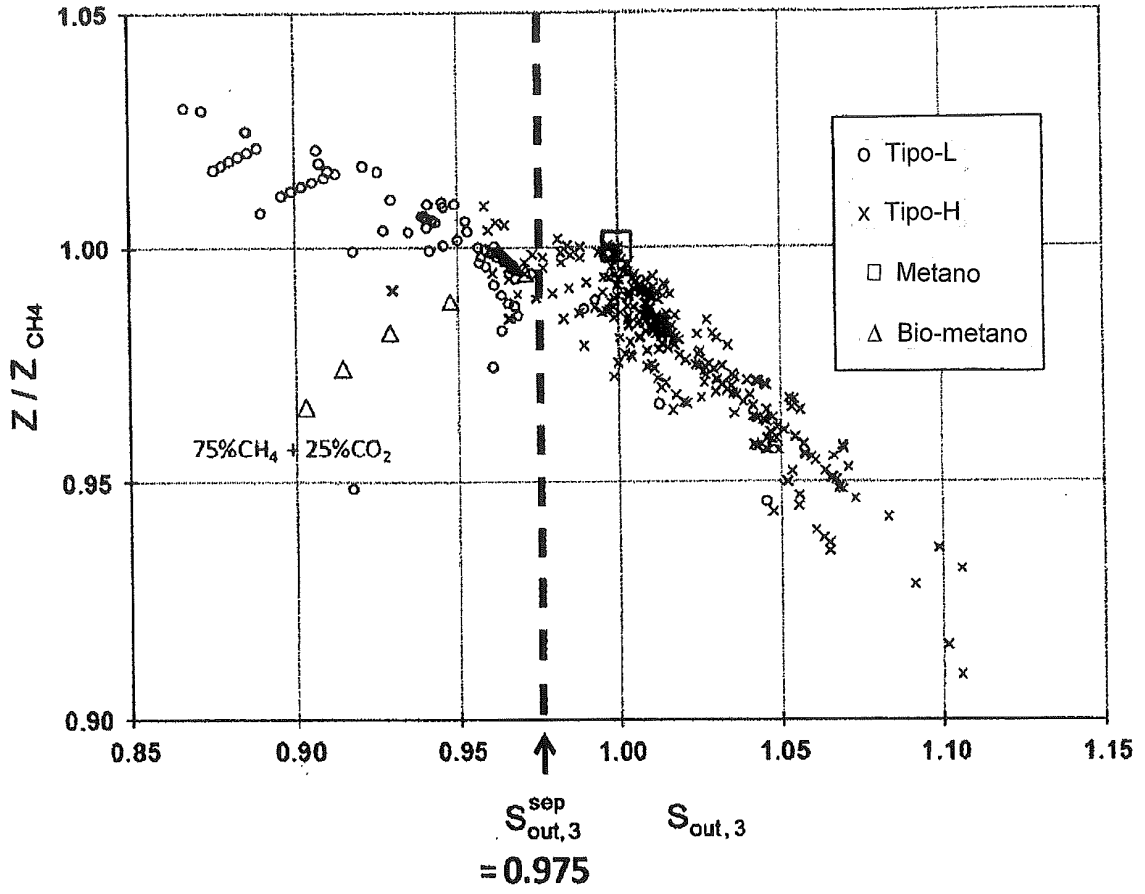


Fig. 3

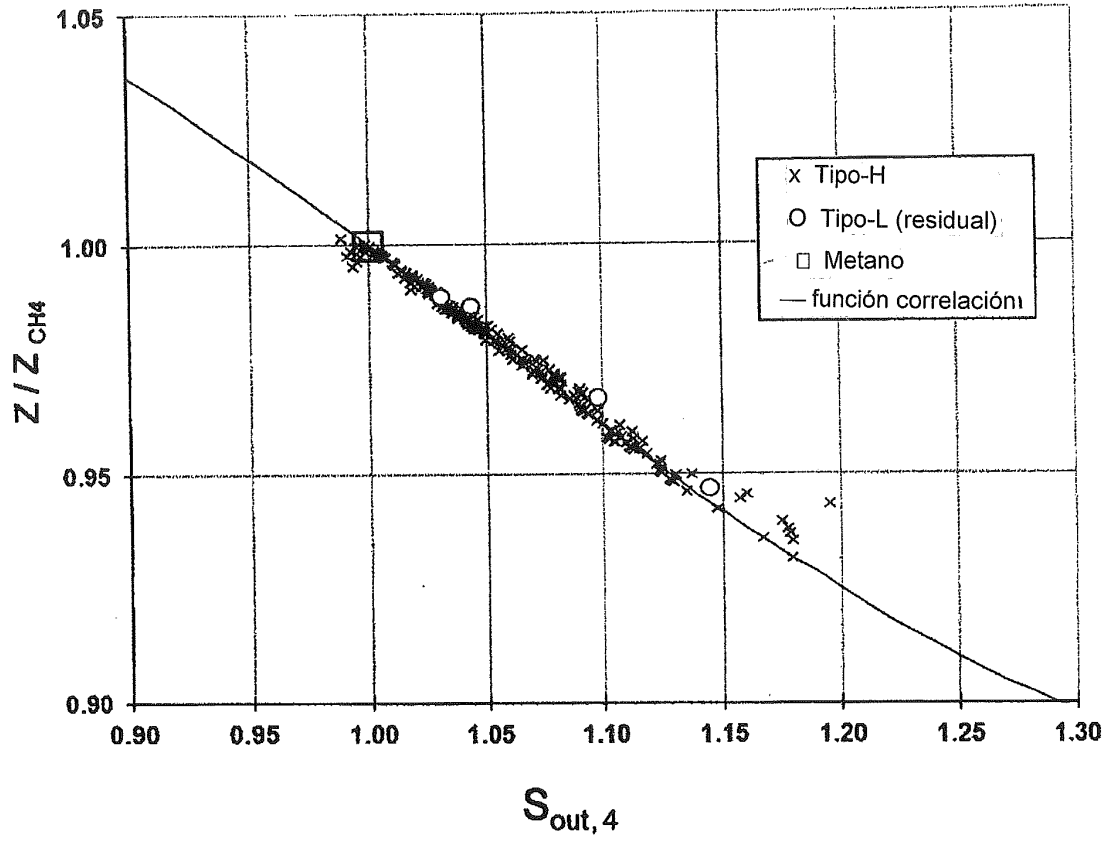


Fig. 4

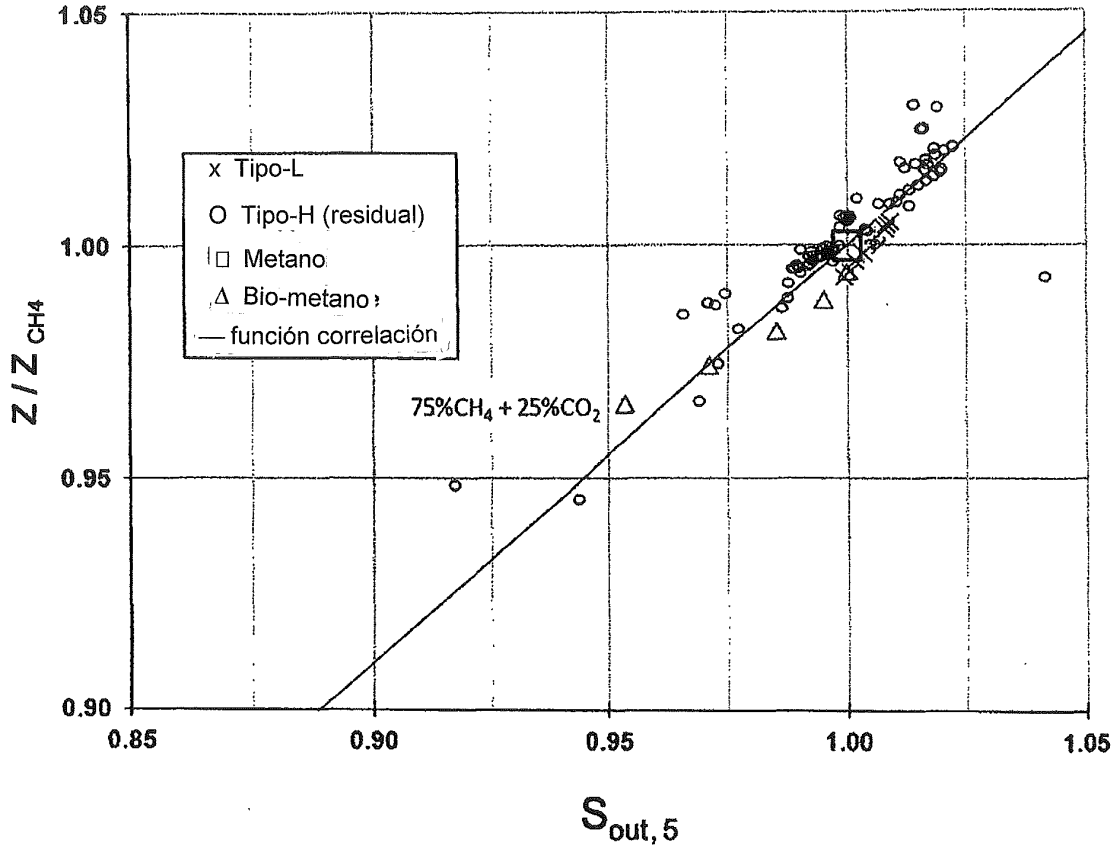


Fig. 5

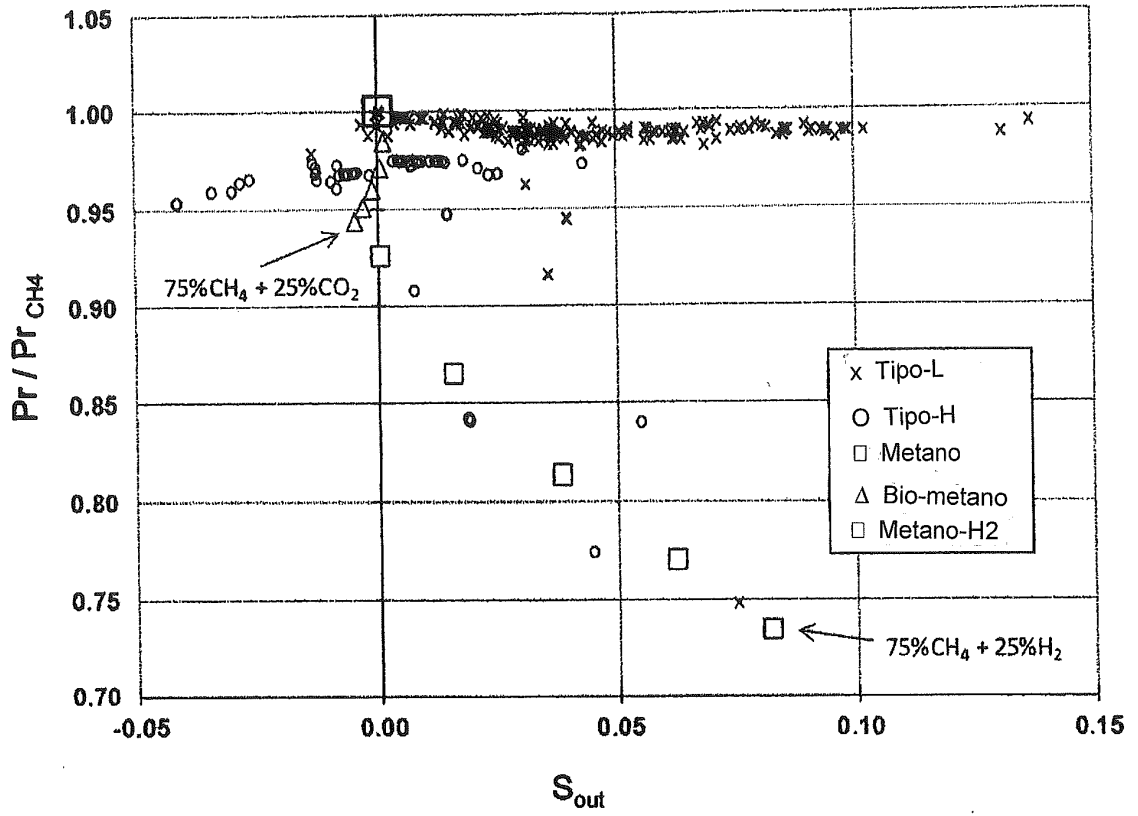


Fig. 6

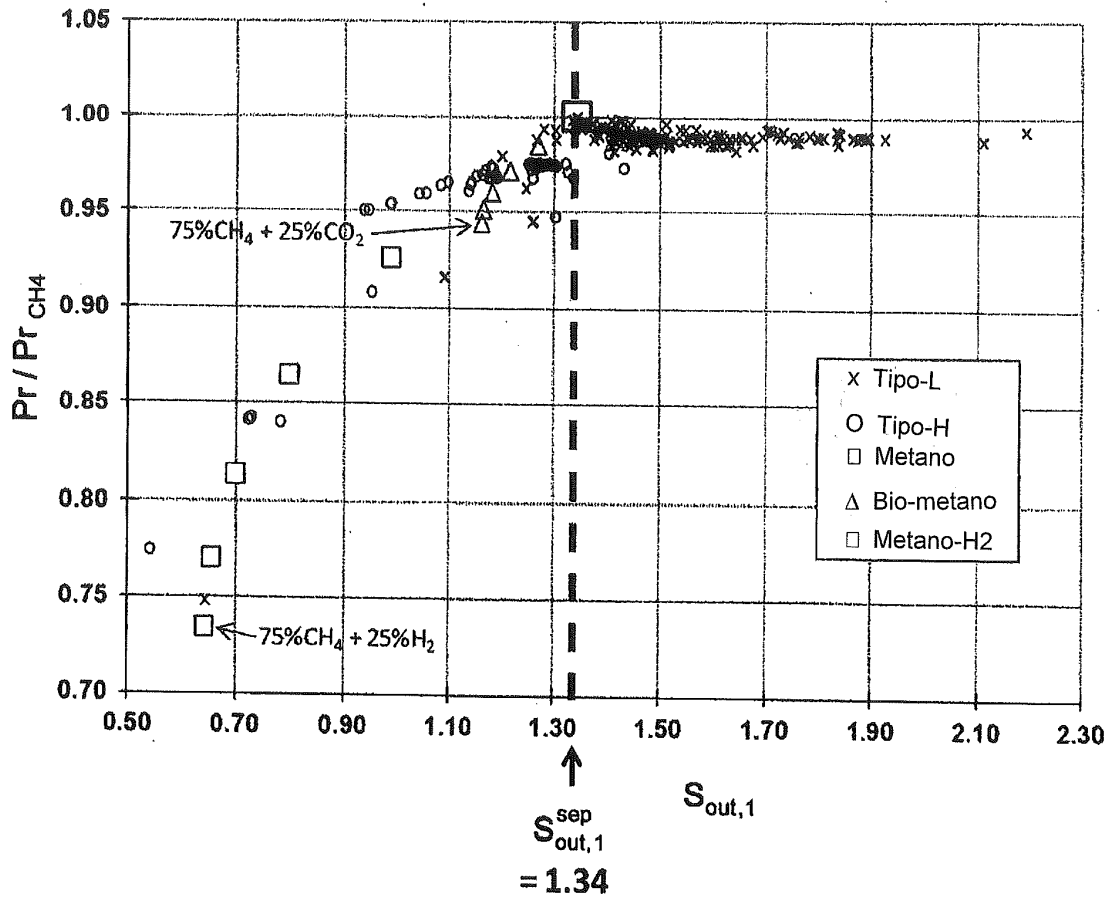


Fig. 7



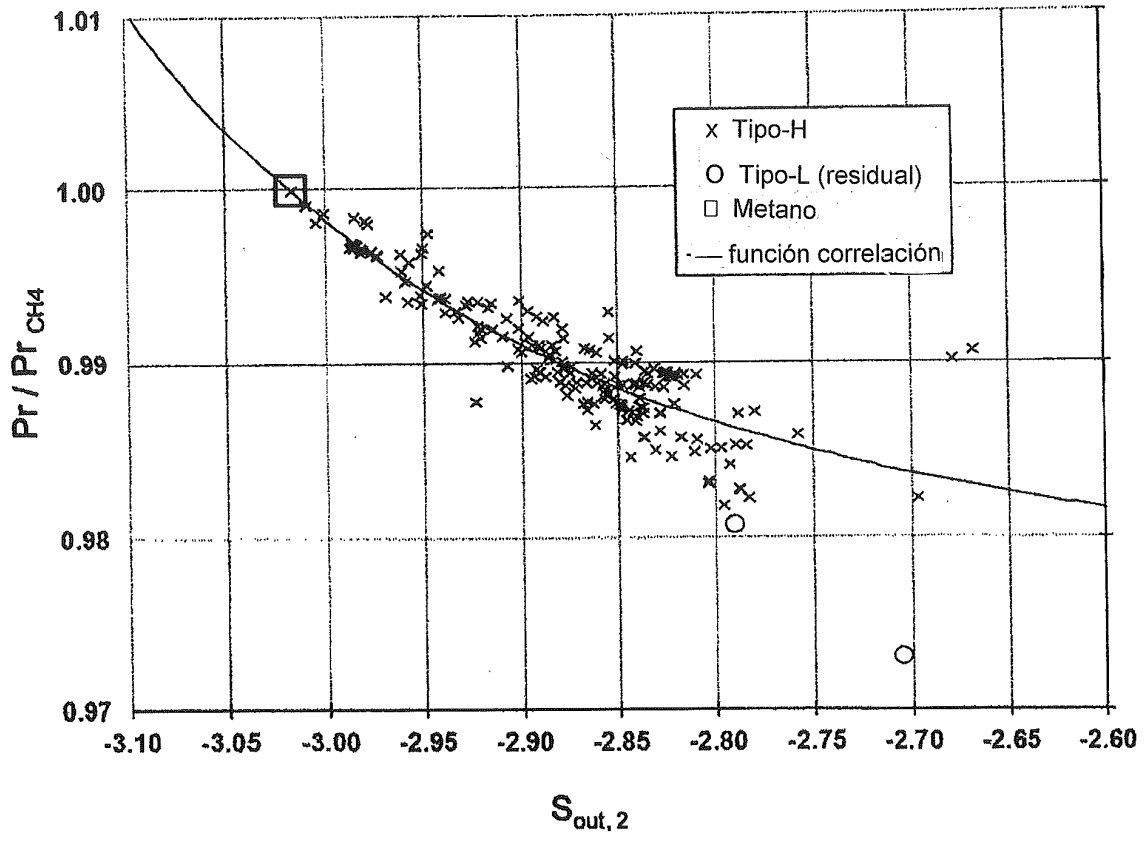


Fig. 8

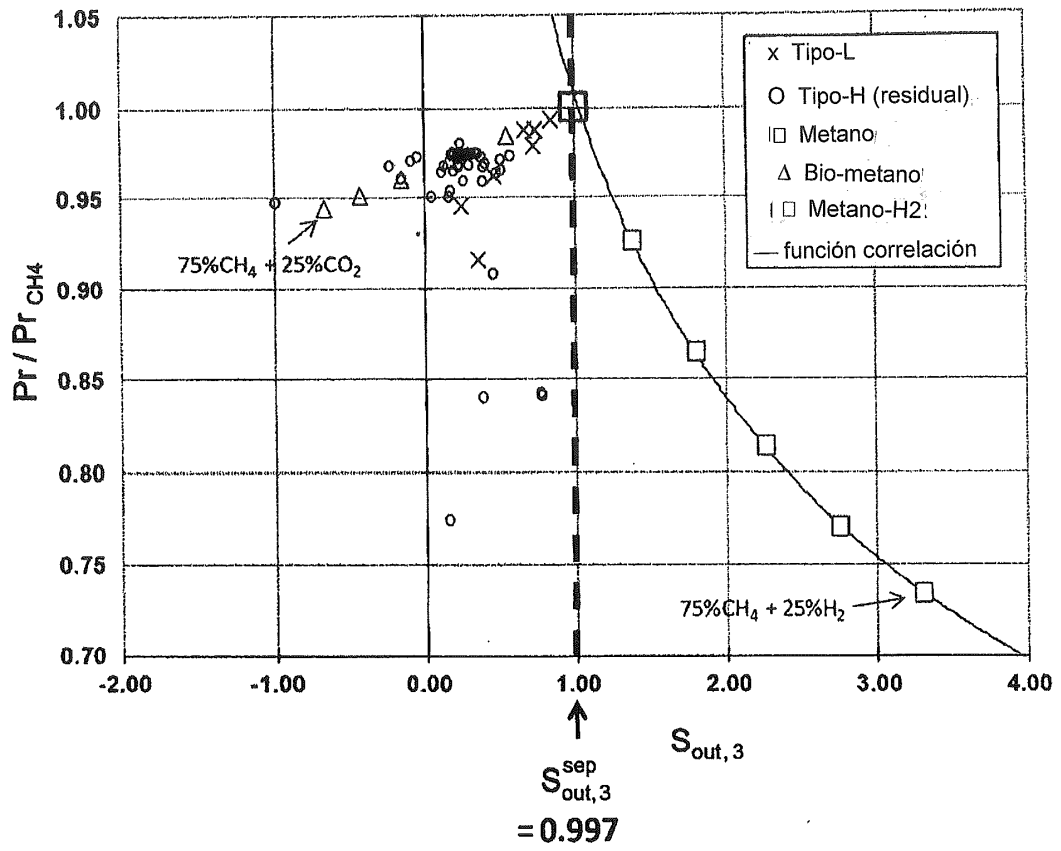


Fig. 9

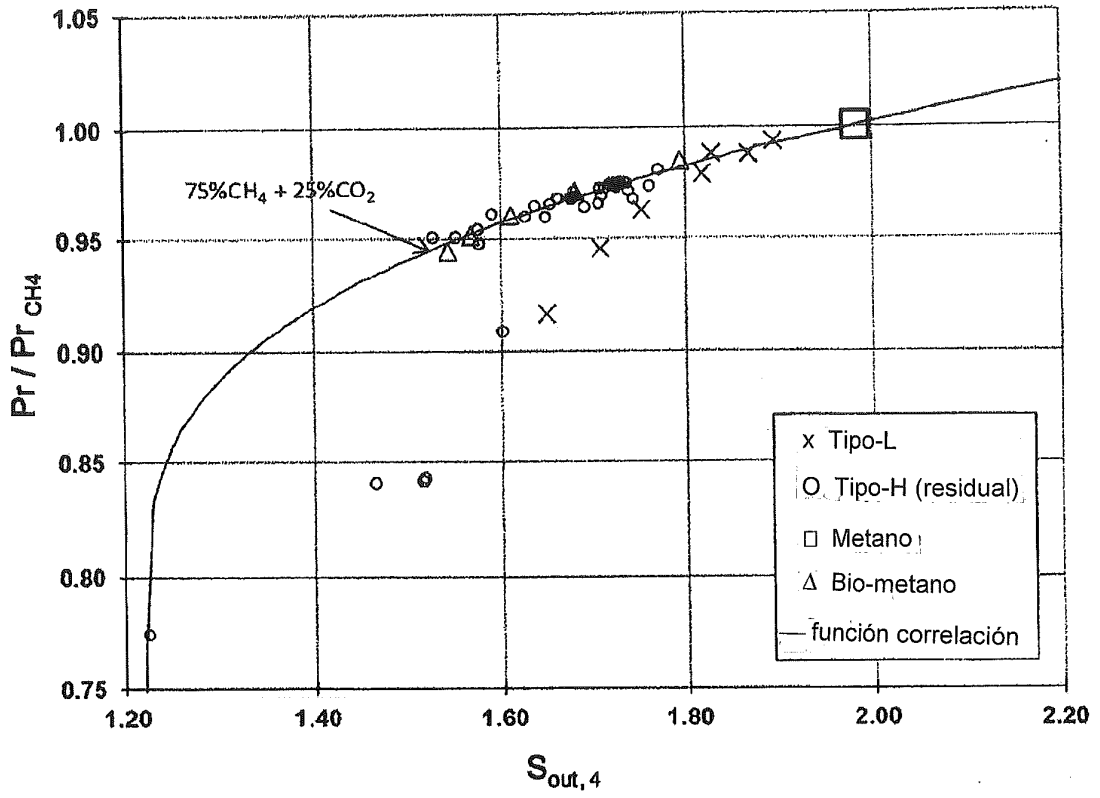


Fig. 10

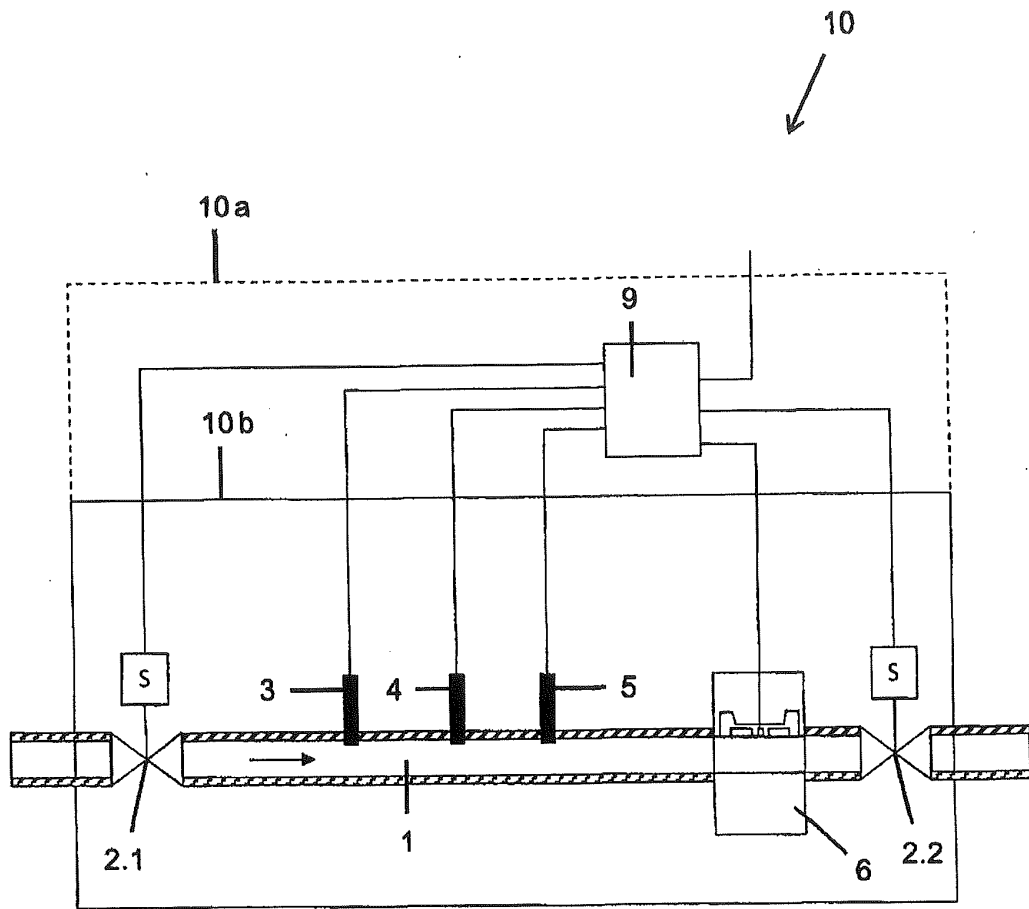


Fig. 11