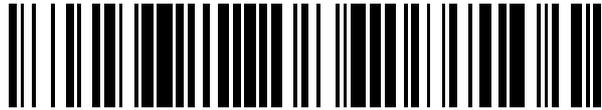


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 352 619**

21 Número de solicitud: 200901739

51 Int. Cl.:

**G01N 25/18**

(2006.01)

**G01F 1/68**

(2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación: **31.07.2009**

43 Fecha de publicación de la solicitud: **22.02.2011**

Fecha de la concesión: **22.12.2011**

45 Fecha de anuncio de la concesión: **03.01.2012**

45 Fecha de publicación del folleto de la patente:  
**03.01.2012**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE BARCELONA  
CENTRO DE PATENTES DE LA UB  
BALDIRI REIXAC, 4  
08028 BARCELONA, ES**

72 Inventor/es:

**UDINA OLIVA, SERGI y  
MARCO COLAS, SANTIAGO**

74 Agente: **Segura Camara, Pascual**

54 Título: **MÉTODO Y SISTEMA PARA LA DETERMINACIÓN DEL FLUJO ENERGÉTICO DE UN GAS  
COMBUSTIBLE CONSTITUIDO POR MAS DE DOS COMPONENTES.**

57 Resumen:

Método y sistema para la determinación del flujo energético de un gas combustible constituido por más de dos componentes, tal como gas natural.

El método comprende calcular, mediante la utilización de un sistema electrónico, dicho flujo energético a partir de:a) unos valores de poder calorífico obtenidos mediante la realización, por parte de un sistema de procesamiento, de un análisis multivariante de unas señales de salida (S1) de un sensor de poder calorífico (10) en contacto con dicho gas combustible (12), fruto de unas detecciones realizadas con el mismo en el interior de una conducción (13) por la que circula el gas combustible (12); b) una medida del flujo del gas mediante un sensor de flujo másico (11).

El sistema propuesto comprende dicho sistema electrónico adaptado para calcular dicho flujo energético a partir de dichos valores de poder calorífico, y de flujo másico, mediante la aplicación del método propuesto.

ES 2 352 619 B1

## DESCRIPCIÓN

Método y sistema para la determinación del flujo energético de un gas combustible constituido por más de dos componentes.

La presente invención se refiere a un método y un sistema para la determinación del flujo energético de un gas combustible formado por más de dos componentes, que implica un método y un sistema para la medida del poder calorífico del gas natural en tiempo real y la medida precisa del suministro energético del gas en tiempo real y con alta precisión.

### Estado de la técnica

En cuanto a la medida del consumo energético en gases, se conocen las siguientes propuestas:

En la patente US2006/0172936 se presenta un método y dispositivo para la medida del flujo de un gas, en combinación con una detección del tipo de gas para determinar si el mismo es combustible o no.

En la patente US2006/0212249, relacionada con la anterior, basándose en información conocida *a priori* sobre la composición del gas en el punto de medida (necesario para calcular los factores  $f_i$  que se detallan en la patente), así como el perfil de consumo de gas esperado en el mismo punto, se calcula unos valores corregidos de la energía suministrada.

En cuanto a la medida del poder calorífico del gas natural actualmente son bien conocidos y ampliamente utilizados los métodos para el cálculo del poder calorífico del gas natural basados en técnicas de cromatografía de proceso, sin embargo los problemas asociados a este tipo de técnicas han motivado la eclosión de técnicas de instrumentación alternativas, ya sea por medidas de absorción en el IR, tales como los métodos descritos en WO2005/078413, EP1174705 y EP1154258; complementando la determinación mediante medidas de conductividad térmica, como se describe en EP1193488, o mediante medidas obtenidas en sistemas multisensor en general, como se describe por ejemplo en WO0050874.

Por otro lado se conocen también propuestas técnicas para análisis de mezclas genéricas de gases basadas en medidas relacionadas con la conductividad térmica del gas utilizando un solo sensor, tales como las descritas en US4902138 y US6688159.

A la vista del estado de la técnica, resulta conveniente ofrecer una alternativa que aporte de un método y un sistema para la determinación del flujo energético de un gas combustible formado por más de dos componentes, en tiempo real y/o con mayor precisión que en las propuestas conocidas.

### Explicación de la invención

La presente invención se relaciona con los instrumentos y sistemas que combinan un sensor de flujo de gas junto con un sensor de calidad del gas para medir el flujo o consumo energético suministrado por un gas combustible en líneas de distribución o suministro de gas en cualquier ámbito (públicas, privadas o industriales). El sensor de calidad del gas (referido más adelante como sensor de poder calorífico) presentado se relaciona a su vez con aquellos sistemas que constando de uno o múltiples sensores, permiten la cuantificación del poder calorífico a través del procesado de las medidas obtenidas por dichos sensores. También se relaciona parcialmente con sistemas más genéricos de determinación de la composición de mezclas gaseosas en general basados en la variación de la conductividad térmica del gas en función de su composición.

Aunque en US4902138 se propone un sensor micromecanizado en tecnología de silicio, la presente invención se relaciona más con microsensores de construcción distinta tales como el TCG-3880 de Xensor o el publicado por los presentes inventores y otros autores en "Thermoelectric MEMS sensors for natural gas analysis" IEEE 2008 Sensors conference, 28-30 October 2009, Lecce, Italy., Como abreviatura en adelante se refiere este último sensor como sensor Calaza-Udina-Marco. La presente invención consiste en la integración en un mismo sistema de medida de un sensor de poder calorífico con un segundo sensor de flujo másico integrado, preferentemente mediante la misma tecnología de fabricación.

Así pues la invención se relaciona también con sensores de flujo másico integrados en tecnología de silicio, conocidos desde finales de la década de 1980. En concreto a modo de ejemplo se puede consultar la patente WO8905968-A (1989). La realización preferida propuesta se relaciona con una publicada (cf. N. Sabaté *et al.* "Multi-range Silicon micromachined flow", sensor". *Sensors and Actuators A* 2004. vol. 110, pp. 282-288).

Así pues la presente invención concierne, en un primer aspecto, a un método para la determinación del flujo energético de un gas combustible formado por más de dos componentes, circulante por una conducción, del tipo que comprende calcular, mediante la utilización de un sistema electrónico, unos valores de energía representativos de dicho flujo energético a partir de al menos unos valores de poder calorífico medidos en la misma conducción o alternativamente en una cámara de medida interpuesta en el recorrido de la conducción. En adelante se considerará que el punto de medida puede hallarse en una derivación de la canalización de gas principal. Cuando se hace referencia

a “la conducción de gas” se puede hacer referencia tanto a la conducción principal de gas como a una posible derivación auxiliar que pudiera disponerse con fines de medida.

A diferencia de los métodos convencionales, el método propuesto como primer aspecto de la invención comprende obtener dichos valores de poder calorífico de dicho gas mediante el procesado multivariante de las señales obtenidas de un sensor sensible a la conductividad térmica del gas con el que contacta, constituyendo así un sensor de poder calorífico, fruto de unas detecciones realizadas con el mismo en el interior de dicha conducción. En adelante dicho sensor que opera por principios térmicos, y que en particular es sensible a la conductividad térmica del gas que lo rodea, se refiere como “sensor de poder calorífico”. El procesado multivariante, puede referirse también como análisis, y comprende tanto una etapa de regresión multivariante como de predicción multivariante. En adelante se refiere como “análisis multivariante”. El método propuesto comprende calcular, mediante la utilización de un sistema electrónico, los valores de energía representativos del flujo energético a partir también de unos valores de flujo másico obtenidos a partir de unas señales de salida fruto de unas detecciones realizadas con un sensor de flujo másico en contacto con dicho gas.

El método propuesto comprende disponer el sensor de poder calorífico y el sensor de flujo másico de manera adyacente, al menos en parte y en contacto con el gas a analizar, con el fin de realizar unas medidas en un mismo punto interior de una conducción de gas, es decir de manera local, evitando un error común en la medida convencional del consumo energético debido al desalineamiento entre el punto donde se mide el flujo másico y el punto donde se mide (o calcula) el poder calorífico.

Preferentemente el método comprende utilizar un único dispositivo sensor que integra a dichos sensores de poder calorífico y de flujo másico, para llevar a cabo dichas detecciones en sustancialmente un mismo punto o región interior de dicha conducción de gas.

En cuanto al sensor de poder calorífico utilizado por el método propuesto, éste es para un ejemplo de realización preferido un sensor termoelectrico carente de celda de medida integrada en tecnología de silicio (a diferencia por ejemplo de US4902138), adaptado para llevar a cabo una excursión térmica desde una temperatura ambiente hasta un valor de sustancialmente 450°C.

Para llevar a cabo el análisis multivariante el método propuesto por la invención comprende una etapa inicial de calibración de dicho sensor de poder calorífico, para obtener un vector de proyección (o en general los parámetros de una función de proyección), y un modo de operación normal o de predicción en la cual se aplica dicho vector de proyección a dichas señales de salida del sensor de poder calorífico, para proyectar las lecturas del sensor de poder calorífico a valores de poder calorífico.

Dicha etapa previa de calibración se lleva a cabo para un ejemplo de realización preferido mediante la realización de las siguientes etapas por parte de dicho sistema de procesamiento:

- almacenar en una memoria de calibración de dicho sistema electrónico, unos datos correspondientes a una pluralidad de gases y/o mezclas de gases de referencia representativos de una operación del sensor de poder calorífico predeterminada considerada como normal, consistiendo dichos datos en la respuesta del sensor de poder calorífico para cada caso de referencia, y el valor de poder calorífico correspondiente; para a continuación,

- calibrar el sensor de poder calorífico efectuando una regresión multivariante, hasta obtener dicho vector de proyección (para más información sobre regresión multivariante puede consultarse por ejemplo el libro de Kim H. Esbensen, “Multivariate data analysis in practice”, Oslo, CAMO, 2000).

En cuanto al tipo de regresión multivariante a utilizar, la realización preferida del método comprende la utilización de una regresión lineal o una regresión de mínimos cuadrados parciales, o PLS, o una regresión CLS, o PCR, o SVR, o una combinación de las mismas.

El método propuesto comprende, para un ejemplo de realización, excitar un calefactor del sensor de poder calorífico de principio térmico mediante la utilización de un bloque de excitación suministrador de señales eléctricas de muy alta repetibilidad ( $\approx 0,1\%$  o mejor), en la forma de un tren de valores discretos de la señal eléctrica en respuesta a los cuales se obtienen unos valores estacionarios de dichas señales de salida del sensor de poder calorífico, con los que se construye un vector de medidas de un número de componentes igual al de valores discretos aplicados.

Para un ejemplo de realización preferido el gas combustible cuyo flujo energético se determina mediante el método propuesto por el primer aspecto de la invención es un gas natural.

Un segundo aspecto de la presente invención se refiere a un sistema para la determinación del flujo energético de un gas combustible formado por más de dos componentes, circulante por una conducción, que comprende un sistema electrónico adaptado para calcular unos valores de energía representativos del flujo energético a partir de cómo mínimo unos valores de poder calorífico.

El sistema propuesto comprende un sensor de poder calorífico conectado al sistema electrónico y dispuesto en contacto con dicho gas combustible para llevar a cabo unas detecciones y proporcionar unas correspondientes señales

de salida, y el sistema electrónico comprende un sistema de procesamiento adaptado para obtener dichos valores de poder calorífico del gas combustible mediante la realización de un análisis multivariante de las señales de salida del sensor de poder calorífico. Asimismo el sistema comprende además un sensor de flujo másico conectado a dicho sistema electrónico y dispuesto en contacto con dicho gas combustible para llevar a cabo unas detecciones de flujo másico y proporcionar unas correspondientes señales de salida, y porque el sistema electrónico está adaptado para calcular los valores de energía representativos del flujo energético a partir también de unos valores de flujo másico obtenidos a partir de las señales de salida del sensor de flujo másico.

En general el sensor de poder calorífico y el sensor de flujo másico están dispuestos de manera adyacente, como mínimo en parte en el interior de la conducción o alternativamente en una cámara de medida interpuesta en la conducción de gas. Con preferencia ambos sensores se hallan integrados en un único dispositivo sensor con como mínimo una cara sensible dispuesta en el interior de dicha conducción o la cámara de medida interpuesta, para llevar a cabo dichas detecciones sustancialmente en un mismo punto o región interior de la conducción.

Mediante el método y el sistema propuestos por el primer y el segundo aspectos de la invención, respectivamente, se consigue un método y un sistema de medida del flujo energético (o consumo energético) en una conducción de gas combustible de más de dos componentes, en general gas natural, que permite:

- 1) Medir las variaciones del poder calorífico y el flujo energético del gas combustible (en una realización preferida, gas natural) de acuerdo a unos rangos típicos de variación.
- 2) Realizar mediciones en un punto de la propia conducción (dentro de un rango acotado de flujos).
- 3) Obtener en las mediciones unas precisiones del orden del 1% e incluso inferiores.

El método y el sistema resultan adecuados para la medida del consumo energético en redes de distribución tanto públicas como privadas, industriales o particulares.

Mediante el método y el sistema propuestos se mide por un lado el poder calorífico del gas que circula mediante un sensor de poder calorífico, en la realización preferida un sensor de tipo termoelectrónico, similar a algunos sensores de conductividad térmica (TCG-3880, Calaza-Udina-Marco), con algunas adaptaciones que se explicarán más adelante. El poder calorífico se calcula a partir de un conjunto de señales obtenidas del sensor. Del mismo modo se obtiene el flujo másico del gas a partir de un sensor de flujo conocido integrado en tecnología de silicio.

#### Respecto al sensor poder calorífico

Hasta ahora calcular el poder calorífico de gases combustibles de más de dos componentes (particularmente en el caso de gas natural) empleando únicamente medidas basadas en la conductividad térmica entraña ciertas dificultades técnicas debido a los siguientes factores:

- a) la dependencia en temperatura de la conductividad térmica de algunos gases presentes en el gas natural está fuertemente correlacionada, lo que convierte las medidas en particularmente vulnerables al ruido
- b) A menudo los sensores de conductividad térmica resultan excesivamente lentos para una medida en tiempo real
- c) A menudo resolver el conjunto de ecuaciones físicas que conforman el cálculo del poder calorífico a partir de la medida de la conductividad térmica resulta extremadamente costoso desde el punto de vista computacional.
- d) Para poder resolver el cálculo físico a partir de la conductividad térmica es necesario conocer de forma precisa a que temperatura del gas corresponde la conductividad térmica que se está midiendo, algo que puede resultar muy complejo, especialmente si se desea hacer de forma rápida.

Cabe buscar en estas limitaciones la ausencia actual de un sistema conocido que sea capaz de medir el poder calorífico del gas natural de forma satisfactoria empleando únicamente medidas de conductividad térmica.

En la presente invención la limitación "b" se supera empleando preferentemente un sensor termoelectrónico que no dispone de celda de medida integrada en tecnología de silicio, lo que lo diferencia de otros sensores conocidos (US4902138). Sin embargo puesto que no es posible con este tipo de sensor conocer exactamente a que temperatura del gas corresponde una medida concreta, no es posible resolver un conjunto de ecuaciones físicas como se insta en la descripción de US4902138. La arquitectura de este tipo de sensores permite realizar medidas muy rápidas (al menos, del orden del segundo) y una elección de materiales adecuada permite trabajar a estos sensores en rangos de temperatura extendidos, lo que posibilita al sistema obtener mayor precisión en el cálculo del poder calorífico.

En la presente invención, a diferencia del estado de la técnica, se emplean técnicas de análisis multivariante para correlacionar de forma óptima la respuesta del sensor con la medida del poder calorífico. Este análisis tiene además la particularidad de que permite rechazar en gran medida la influencia que sobre el sensor tiene el hecho de realizar la

medida en distintas condiciones de flujo o incluso, en el caso de ser necesario, incluyendo la medida del flujo como variable de entrada en la propia calibración del sensor; de este modo se consigue que el sensor responda únicamente al poder calorífico. Esta técnica, además, permite superar los problemas “c” y “d” indicados, al no ser necesaria la resolución del complejo sistema de ecuaciones físicas.

5 Tal como se ha descrito anteriormente el método y el sistema constan de dos modos de funcionamiento, un modo de operación normal y un modo de calibración. En el modo de calibración el sistema almacena los datos correspondientes a unas muestras de calibración representativas de la operación normal esperada. Una vez almacenados los datos de los sensores y unos valores de referencia del poder calorífico, el sistema es capaz de calibrar el sensor efectuando  
10 una regresión multivariante, que puede ser lineal o de otro tipo (en la implementación preferida, mínimos cuadrados parciales: PLS). En el modo de operación normal (o de predicción) la memoria de calibración no se utiliza, puesto que ya se ha obtenido un vector de proyección “p” que proyecta las lecturas del sensor de poder calorífico, dando como resultado el poder calorífico.

15 Finalmente, la invención incluye un bloque de excitación del calefactor del sensor de de muy alta repetibilidad, que es un aspecto crítico para el rendimiento del sensor en la aplicación concreta de medida del consumo energético en el gas natural.

### 20 Breve descripción de los dibujos

Las anteriores y otras ventajas y características se comprenderán más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada de unos ejemplos de realización con referencia a los dibujos adjuntos, que deben tomarse a título ilustrativo y no limitativo, donde:

25 La Figura 1 es un diagrama esquemático detallado del sensor de poder calorífico utilizado por el método e incluido en el sistema en una realización preferida de la invención.

La Figura 2a es una representación esquemática del sistema propuesto por la invención aplicado a una tubería de gas, para un ejemplo de realización para el que el sensor de poder calorífico y el sensor de flujo másico forman parte  
30 de un único dispositivo sensor.

La Figura 2b es una representación esquemática del sistema propuesto por la invención aplicado a una tubería de gas, donde se halla presente una derivación de la conducción principal con fines de medida y una cámara interpuesta en dicha derivación con fines de medida, para un ejemplo de realización para el que el sensor de poder calorífico y el  
35 sensor de flujo másico forman parte de un único dispositivo sensor.

La Figura 3 es una gráfica que muestra las lecturas del sensor de poder calorífico utilizado en la presente invención para veintidós gases naturales de composición distinta dentro de un rango habitual de variaciones.

40 La Figura 4 es una gráfica que muestra las curvas de conductividad térmica en función de la temperatura  $k(T)$  para los gases naturales medidos en la Figura 3.

La Figura 5 muestra en detalle un bloque generador de potencias ilustrado en la Figura 1, para un ejemplo de  
45 realización.

### Exposición detallada de un ejemplo de realización

Haciendo en primer lugar referencia a la Figura 1, en ella se pueden observar un ejemplo del sensor de poder calorífico empleado en una realización preferida del sistema propuesto por la invención, donde dicho sensor de poder  
50 calorífico 10 es un sensor termoeléctrico que comprende:

- una termopila formada por unos termopares 2 (se marcan las uniones frías),

55 - un elemento frío 1 que actúa como sumidero de calor, en contacto con unos primeros extremos, o uniones frías, de dichos termopares 2,

- un elemento caliente 3b en contacto con un calefactor 3a y con unos segundos extremos de dichos termopares 2 (uniones calientes), y con dicho gas combustible 12, y

60 - una membrana aislante térmica 4 dispuesta entre dicho elemento frío 1 y dicho elemento caliente 3b.

En general el mencionado elemento frío 1 es el cuerpo de silicio del sensor de poder calorífico que actúa como sumidero de calor, donde se hallan las uniones frías de los termopares 2 que conforman la termopila. El otro extremo de los termopares se ubica en la zona caliente 3b donde se halla el calefactor 3a, esta zona caliente se halla aislada del  
65 elemento frío 1 mediante la mencionada membrana aislante 4 realizada bien en con un material de baja conductividad térmica o bien vaciada de material.

Los termopares 2 y el calefactor 3a están compuestos por un material capaz de permitir llevar a cabo una excursión térmica desde una temperatura ambiente hasta un valor de sustancialmente 450°C.

5 Tal material puede ser cualquiera de los siguientes: platino, polisilicio, paladio, rodio, iridio y tungsteno, o una combinación de los mismos.

10 En dicha Figura 1 puede verse también cómo el sistema electrónico incluido en el sistema propuesto por el segundo aspecto de la invención comprende, en conexión con un sistema de procesamiento 6, o unidad de microproceso, un generador de potencias 8 de muy alta repetibilidad conectado a dicho calefactor 3a para excitarlo mediante unas correspondientes señales eléctricas de valores escalonados, bajo el control del sistema de procesamiento 6.

15 El bloque 14 ilustra el acondicionamiento de señal de la termopila, donde principalmente se amplifica, se filtra y se aísla las señales de salida de la misma, o señales S1, para enviarlas a la unidad de microproceso 6, siendo las señales proporcionadas por la termopila unas señales representativas de las diferencias de temperatura entre el elemento frío 1 y el elemento caliente 3b.

20 Para la calibración del sistema descrita con anterioridad, es necesaria una memoria para datos de calibración 7. Especialmente crítica resulta la estimulación del sensor de poder calorífico 10 mediante el mencionado generador de potencias 8 que debe ser de muy alta repetibilidad para garantizar una buena precisión en las medidas.

25 En la Figura 2a puede verse el sistema completo propuesto por la invención aplicado a una tubería de gas 13, para un ejemplo de realización para el que el sensor de poder calorífico 10 y el sensor de flujo másico 11 forman parte de un único dispositivo sensor 9, integrados en un sustrato común, de manera que ambos sensores 10, 11 se encuentran en contacto con el flujo del gas combustible 12.

30 Las señales  $S_1$  y  $S_2$  de los sensores son acondicionadas mediante unos respectivos módulos de acondicionamiento de señales 14, 15 y enviadas al sistema de procesado 6. En ese punto las señales  $S_1$  y  $S_2$  de los sensores 10, 11 son convertidas en un valor de poder calorífico  $H_s$  y un valor de flujo  $f$ , y finalmente se procesan para obtener el valor de la energía  $E$  16 y el flujo energético  $\varnothing_E$  que fluye a través de la canalización 13.

35 En dicha Figura 2a también puede observarse la mencionada memoria de calibración 7, en la cual el sistema de procesamiento 6 está adaptado para almacenar unos datos correspondientes a una pluralidad de gases y/o mezclas de gases de referencia representativos de una operación del sensor de poder calorífico 10 predeterminada considerada como normal, consistiendo dichos datos en la respuesta del sensor de poder calorífico 10 para cada caso de referencia, y el valor de poder calorífico correspondiente.

40 Asimismo se muestran en dicha Figura 2a, en conexión con dicha memoria 7, un primer módulo de calibración apto para calibrar el sensor de poder calorífico 10 efectuando una regresión multivariante, hasta obtener un vector de proyección P que proyecta las lecturas del sensor de poder calorífico 10 a valores de poder calorífico, y un segundo módulo de calibración apto para calibrar el sensor de flujo másico 11 efectuando una regresión univariante.

45 Tal como se ha explicado con anterioridad el sistema y el método propuesto por la invención, llevan a cabo la mencionada calibración multivariante para obtener un vector de proyección P que proyecta las lecturas del sensor de poder calorífico 10 a valores de poder calorífico. Dicha proyección es llevada a cabo en el bloque "predicción multivariante" ilustrado en la Figura 2a, mediante la multiplicación de manera periódica de dicho vector de proyección P por un vector de medidas S construido tal como se ha descrito anteriormente para la explicación del método propuesto por la presente invención.

50 De manera análoga en la Figura 2a se ilustra un bloque de predicción univariante utilizado para proyectar las lecturas del sensor de flujo másico 11.

55 En la Figura 2b se muestra una variante del ejemplo de realización con los mismos elementos que en 2a pero con la inclusión de una derivación 17 de la conducción de gas principal 13, y una cámara de medida interpuesta 18 en el interior de la cual se dispone el dispositivo sensor 9 que integra los sensores de poder calorífico 10 y de flujo másico 11. El resto de elementos operan de forma idéntica a lo ya descrito para la Figura 2a.

60 En la Figura 3 se ilustra una gráfica que muestra las lecturas del sensor de poder calorífico 10 utilizado en la realización preferida de la presente invención para veintidós gases naturales de composición distinta dentro de un rango habitual de variaciones (los mencionados arriba como gases y/o mezclas de gases de referencia). Los valores estacionarios de cada escalón constituyen el vector de entrada en la calibración multivariante.

65 Dichos gases y/o mezclas de gases de referencia representativos de una operación del sensor de poder calorífico 10 predeterminada considerada como normal aparecen referidos en la Figura 4, en concreto aparecen representadas las curvas de conductividad térmica en función de la temperatura  $k(T)$  de los mismo. Se puede observar cómo para discriminar una mezcla (y en consecuencia, discriminar el poder calorífico) de otra conviene disponer del máximo de información a lo largo de toda la curva.

Se explicarán a continuación con mayor detalle los elementos incluidos en el sistema propuesto por el segundo aspecto de la invención.

#### *Sensor de poder calorífico*

5

El sensor de poder calorífico a emplear es similar en sus elementos a un sensor TCG-3880 de Xensor, optimizado para que el sensor sea capaz de una mayor excursión térmica, desde ambiente hasta alrededor de 450°C, lo que permite obtener una mayor precisión en la medida del poder calorífico. La señal del sensor deberá ser debidamente acondicionada, y convertida a digital empleando un conversor de alta resolución (18 bits o más).

10

Tal como se ha explicado anteriormente el calefactor 3a del sensor se excita mediante un circuito de alta repetibilidad, tal como el bloque generador de potencias 8 ilustrado en la Figura 1, que en la realización preferida ilustrada por la Fig. 5 comprende un multiplexor MUX encargado de realizar el multiplexado de un divisor de tensión realizado con resistencias, o en general, impedancias  $Z_1 \dots Z_n$  de muy bajo coeficiente térmico, suministrando así los mencionados escalones de potencia con muy alta repetibilidad. A continuación un amplificador operacional de bajo ruido, tal como el AD8630, proporciona la potencia necesaria al calefactor 3a, y puede proporcionar una ligera ganancia ajustando las impedancias  $Z_g$  y  $Z_f$ . La tensión  $V_{ref}$  se genera mediante una referencia de tensión de alta precisión y repetibilidad tales como ADR01 o ADR03.

15

#### *Sensor de flujo*

20

Se trata de un sensor conocido, un sensor de flujo másico 11 realizable en tecnología de silicio, tal como por ejemplo el descrito en EP1348937, (o el publicado por N. Sabaté *et al.*, citado anteriormente). Dicho sensor 11 se encuentra integrado de forma muy próxima al sensor de poder calorífico 10, evitando de este modo un error común en la medida del consumo energético debido al desalineamiento entre el punto donde se mide el flujo y el punto donde se mide (o se calcula) el poder calorífico.

25

#### *Unidad de proceso*

30

Se emplea preferentemente un microcontrolador, el cual recibe la señal acondicionada del sensor de flujo 11 y acondicionada y digitalizada del sensor de poder calorífico 10. Se encarga del proceso de calibración y operación del sistema, y de transmitir o presentar los valores de consumo energético calculados. También de controlar la potencia suministrada al calefactor 3a del sensor de poder calorífico 10, mediante el control del multiplexor MUX de la Figura 5.

35

#### *Memoria para datos*

Se incluye una memoria para almacenar los datos de calibración, esta puede ser la misma memoria interna de un microcontrolador que efectúe las funciones de unidad de control., o una externa 7 ex profeso para tal función.

40

#### *Cámara de medida*

El sistema puede eventualmente incluir una cámara de medida de volumen total entre 1 y 100 ml, por lo tanto no integrada en tecnología de silicio, que permita mejorar las condiciones de trabajo del sensor de poder calorífico y el sensor de flujo másico, en particular la velocidad del gas cerca del sensor de poder calorífico es conveniente que sea baja, mientras que la velocidad del gas cerca del sensor de flujo másico es conveniente que sea alta, por esta razón la disposición de una cámara de medida interpuesta en la conducción de gas puede mejorar las prestaciones del sistema. Alternativamente puede diseñarse el sistema para prescindir de dicha cámara de medida.

45

#### *Operación del sistema*

50

Durante la operación del sistema, el sensor de flujo 11 opera de forma continua. El sensor de poder calorífico 10 recibe una estimulación periódica del calefactor 3a en forma de escalones de tensión discretos, lo que origina una salida del sensor 10 tal como se muestra en la Figura 3. Los valores estacionarios de cada escalón se registran para obtener un vector S de "i" componentes donde "i" es el número de escalones aplicados.

55

En la Figura 4 puede verse el aspecto que ofrecen las curvas  $k(T)$  de conductividad térmica de distintos gases naturales sintéticos. El sistema propuesto por la invención tiene la capacidad de distinguir cual de las mezclas se está midiendo. Para ello es necesario disponer de muy buena resolución en el sensor de poder calorífico 10, así como una excitación del calefactor 3a extremadamente repetible, como ya se ha comentado anteriormente.

60

El vector de medida S se procesa de formas distintas si estamos operando en modo de calibración o en modo de predicción.

65

En caso de operar en modo de calibración, el vector de medida S se almacena en la memoria para datos de calibración 7, junto con el valor conocido del poder calorífico de la mezcla de calibración. Este proceso se debe repetir las suficientes veces como para tener una muestra adecuada de las condiciones que encontrará el sensor 10 durante su operación, para ello es conveniente realizar la calibración mediante un diseño de experimentos adecuado.

Una vez almacenados los datos en memoria 7, se efectúa la regresión multivariante, para un ejemplo de realización preferido mediante mínimos cuadrados parciales (PLS). El resultado es un vector P de proyección de dimensión "i" tal que:

5 
$$S \cdot P = H_s$$

10 Donde  $H_s$  es la salida calibrada de poder calorífico superior (en función de las necesidades puede calibrarse para el poder calorífico inferior, número de metano, o incluso otras propiedades)

15 En el modo de operación normal, el sensor 10 no requiere del uso de la memoria de calibración 7 ya que solamente necesita tener almacenado el vector P que multiplica de forma periódica por el vector de señales S representativo de las lecturas del sensor 10. La frecuencia de muestreo del poder calorífico depende en última instancia del tiempo de respuesta del sensor 10, así como del número de escalones aplicados. Se debe pues ajustar el número de escalones en función de la precisión y la frecuencia de muestreo que se desea conseguir. Con un diseño adecuado del sensor de poder calorífico 10 pueden conseguirse frecuencias de muestreo superiores a 1 Hz con precisiones cercanas al 0,5%.

20 Un experto en la materia podría introducir cambios y modificaciones en los ejemplos de realización descritos sin salirse del alcance de la invención según está definido en las reivindicaciones adjuntas.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

## REIVINDICACIONES

5 1. Método para la determinación del flujo energético de un gas combustible (12) constituido por más de dos componentes, circulante por una conducción (13), que comprende calcular, mediante la utilización de un sistema electrónico, unos valores de energía representativos de dicho flujo energético a partir de al menos unos valores de poder calorífico, obteniendo estos valores de poder calorífico mediante la realización, por parte de un sistema de procesamiento incluido en dicho sistema electrónico, de un análisis multivariante de unas señales de salida (S1) de un sensor de poder calorífico (10) en contacto con dicho gas combustible (12), fruto de unas detecciones realizadas con el mismo en el interior de dicha conducción (13, 17) o una cámara de medida interpuesta (18), y además calculando, mediante la utilización de dicho sistema electrónico, dichos valores de energía representativos de dicho flujo energético a partir también de unos valores de flujo másico obtenidos a partir de unas señales de salida (S2) fruto de unas detecciones realizadas con un sensor de flujo másico (11) en contacto con dicho gas.

15 2. Método según la reivindicación 1, que además comprende disponer dicho sensor de poder calorífico (10) y dicho sensor de flujo másico (11) de manera adyacente, al menos en parte en el interior de dicha conducción (13, 17) o de una cámara de medida interpuesta (18).

20 3. Método según la reivindicación 2, que además comprende utilizar un único dispositivo sensor (9) que integra a dichos sensores de poder calorífico termoelectrico (10) y de flujo másico (11), para llevar a cabo dichas detecciones en sustancialmente un mismo punto o región interior de dicha conducción (13, 17) o de una cámara de medida interpuesta (18).

25 4. Método según la reivindicación 1, donde dicho sensor de poder calorífico (10) es un sensor termoelectrico carente de celda de medida integrada en tecnología de silicio.

30 5. Método según la reivindicación 1, donde dicho análisis multivariante comprende una etapa inicial de calibración de dicho sensor de poder calorífico (10), para obtener un vector de proyección (P), y una etapa de predicción o modo de operación normal en la cual se aplica dicho vector de proyección (P) a dichas señales de salida (S1) del sensor de poder calorífico (10), para proyectar las lecturas del sensor de poder calorífico (10) a valores de poder calorífico.

6. Método según la reivindicación 5, donde dicha etapa previa de calibración se lleva a cabo mediante la realización de las siguientes etapas por parte de dicho sistema de procesamiento:

35 - almacenar en una memoria de calibración (7) de dicho sistema electrónico, unos datos correspondientes a una pluralidad de gases y/o mezclas de gases de referencia representativos de unas condiciones de operación del sensor de poder calorífico (10) predeterminadas consideradas como normales, consistiendo dichos datos en el vector de respuesta del sensor de poder calorífico (10) para cada caso de referencia, y el valor de poder calorífico correspondiente,  
40 y

- calibrar el sensor de poder calorífico (10) efectuando una regresión multivariante, hasta obtener dicho vector de proyección (P).

45 7. Método según la reivindicación 1, donde dicha regresión multivariante es una regresión lineal o una regresión de mínimos cuadrados parciales, o PLS, o una regresión CLS, o PCR, o SVR, o una combinación de las mismas.

50 8. Método según la reivindicación 5 ó 6, que además comprende excitar un calefactor del sensor de poder calorífico (10) mediante la utilización de un bloque de excitación (8) suministrador de señales eléctricas de muy alta repetibilidad.

55 9. Método según la reivindicación 8, donde dichas señales eléctricas forman un tren de señales de valores discretos en respuesta a las cuales se obtienen unos valores estacionarios de dichas señales de salida (S1) del sensor de poder calorífico (10), con los que se construye un vector de medidas (S) de un número de componentes igual al de valores discretos aplicados.

60 10. Método según la reivindicación 9, donde dicha aplicación de dicho vector de proyección (P) a dichas señales de salida (S1) se lleva a cabo mediante la multiplicación de manera periódica de dicho vector de proyección (P) por dicho vector de medidas (S).

11. Método según la reivindicación 1, donde dicho gas combustible (12) es gas natural.

65 12. Método según la reivindicación 1 ó 4, que además comprende utilizar un sensor de poder calorífico (10) adaptado para llevar a cabo una excursión térmica desde una temperatura ambiente hasta un valor de sustancialmente 450°C.

13. Sistema para la determinación del flujo energético de un gas combustible (12) formado por más de dos componentes, circulante por una conducción (13), que comprende: un sistema electrónico adaptado para calcular unos valores de energía representativos de dicho flujo energético a partir de al menos unos valores de poder calorífico; un sensor de poder calorífico (10) conectado a dicho sistema electrónico y dispuesto en contacto con dicho gas combustible (12) para llevar a cabo unas detecciones y proporcionar unas correspondientes señales de salida (S1); un sistema de procesamiento (6) en dicho sistema electrónico, adaptado para obtener dichos valores de poder calorífico de dicho gas combustible (12) mediante la realización de un análisis multivariante de dichas señales de salida (S1) de dicho sensor de poder calorífico (10); y un sensor de flujo másico (11) conectado a dicho sistema electrónico y dispuesto en contacto con dicho gas combustible (12) para llevar a cabo unas detecciones de flujo másico y proporcionar unas correspondientes señales de salida (S2); donde dicho sistema electrónico está adaptado para calcular dichos valores de energía representativos de dicho flujo energético a partir también de unos valores de flujo másico obtenidos a partir de dichas señales de salida (S2) de dicho sensor de flujo másico (11).

14. Sistema según la reivindicación 13, donde dicho sensor de poder calorífico (10) y dicho sensor de flujo másico (11) están dispuestos de manera adyacente, al menos en parte en el interior de dicha conducción (13, 17) o en una cámara de medida interpuesta (18).

15. Sistema según la reivindicación 14, donde dichos sensores de poder calorífico y de flujo másico se hallan integrados en un único dispositivo sensor (9) con al menos una cara sensible dispuesta en el interior de dicha conducción (13, 17) o cámara de medida interpuesta (18), para llevar a cabo dichas detecciones sustancialmente en un mismo punto o región interior de la conducción (13, 17) o cámara de medida interpuesta (18).

16. Sistema según la reivindicación 15, donde dicho dispositivo sensor (9) comprende un substrato común donde se encuentran integrados ambos sensores (10, 11) en contacto con el flujo del gas combustible (12).

17. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 16, donde dicho sistema de procesamiento (6) tiene unas entradas conectadas, a través de unos respectivos módulos de acondicionamiento de señales (14, 15), a dichos sensores (10, 11) para recibir sus respectivas señales de salida (S1, S2) acondicionadas.

18. Sistema según la reivindicación 17, donde dicho sistema de procesamiento está adaptado para almacenar en una memoria de calibración (7) de dicho sistema electrónico, unos datos correspondientes a una pluralidad de gases y/o mezclas de gases de referencia representativos de una operación del sensor de poder calorífico (10) predeterminada considerada como normal, consistiendo dichos datos en la respuesta del sensor de poder calorífico (10) para cada caso de referencia, y el valor de poder calorífico correspondiente, y porque comprende un primer módulo de calibración apto para calibrar el sensor de poder calorífico (10) efectuando una regresión multivariante, hasta obtener un vector de proyección (P) que proyecta las lecturas del sensor de poder calorífico (10) a valores de poder calorífico.

19. Sistema según la reivindicación 18, donde el sistema de procesamiento comprende un segundo módulo de calibración apto para calibrar el sensor de flujo másico (11) efectuando una regresión univariante.

20. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 19, donde dicho sensor de poder calorífico (10) es un sensor termoelectrico que comprende:

- una termopila formada por unos termopares (2);
- un elemento frío (1) que actúa como sumidero de calor, en contacto con unos primeros extremos, o uniones frías, de dichos termopares (2);
- un elemento caliente (3b) en contacto con un calefactor (3a) y con unos segundos extremos de dichos termopares (2), y con dicho gas combustible (12);
- y una membrana aislante térmica (4) dispuesta entre dicho elemento frío (1) y dicho elemento caliente (3b).

21. Sistema según la reivindicación 20, donde el sistema electrónico comprende, en conexión con el sistema de procesamiento (6), un generador de potencias (8) de muy alta repetibilidad conectado a dicho calefactor (3a) para excitarlo mediante unas correspondientes señales eléctricas de valores escalonados, bajo el control del sistema de procesamiento (6).

22. Sistema según la reivindicación 20 ó 21, donde se utiliza un módulo de acondicionamiento de señales (14) en conexión con el sensor de poder calorífico (10) se encuentra conectado a dicha termopila para amplificar, filtrar y aislar la señal proveniente de la misma y enviarla al sistema de procesamiento (6), siendo las señales proporcionadas por la termopila unas señales representativas de las diferencias de temperatura entre el elemento frío (1) y el elemento caliente (3b).

23. Sistema según la reivindicación 13 ó 20, donde dicho sensor de poder calorífico (10) está adaptado para llevar a cabo una excursión térmica desde una temperatura ambiente hasta un valor de sustancialmente 450°C.

24. Sistema según la reivindicación 13, donde dicho gas combustible (12) es gas natural.

25. Sistema según la reivindicación 20, donde dichos termopares (2) y dicho calefactor (3a) están compuestos por al menos uno de los siguientes materiales: platino, polisilicio, paladio, rodio, iridio y tungsteno, o una combinación de los mismos.

10

15

20

25

30

35

40

45

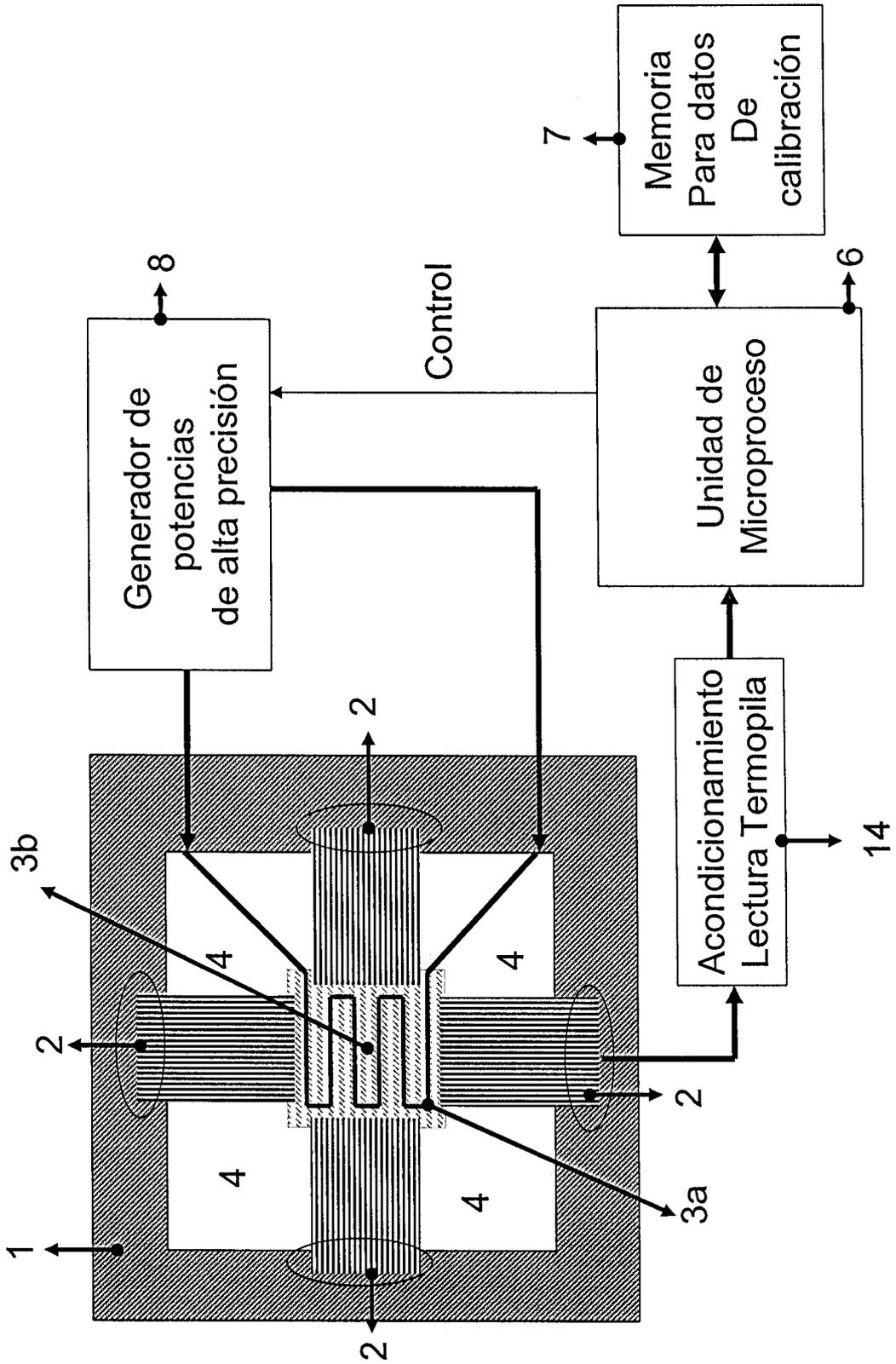
50

55

60

65

Fig. 1



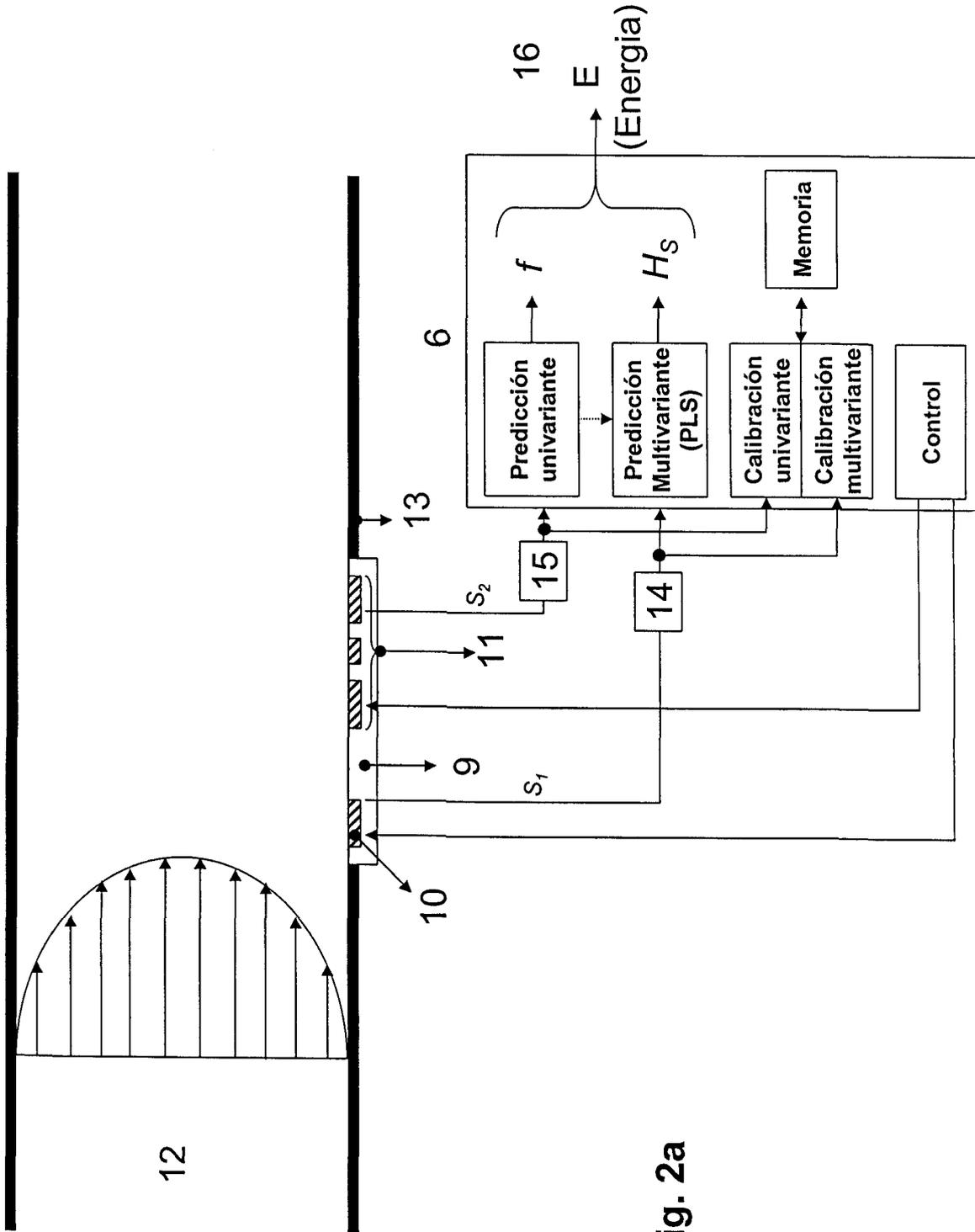
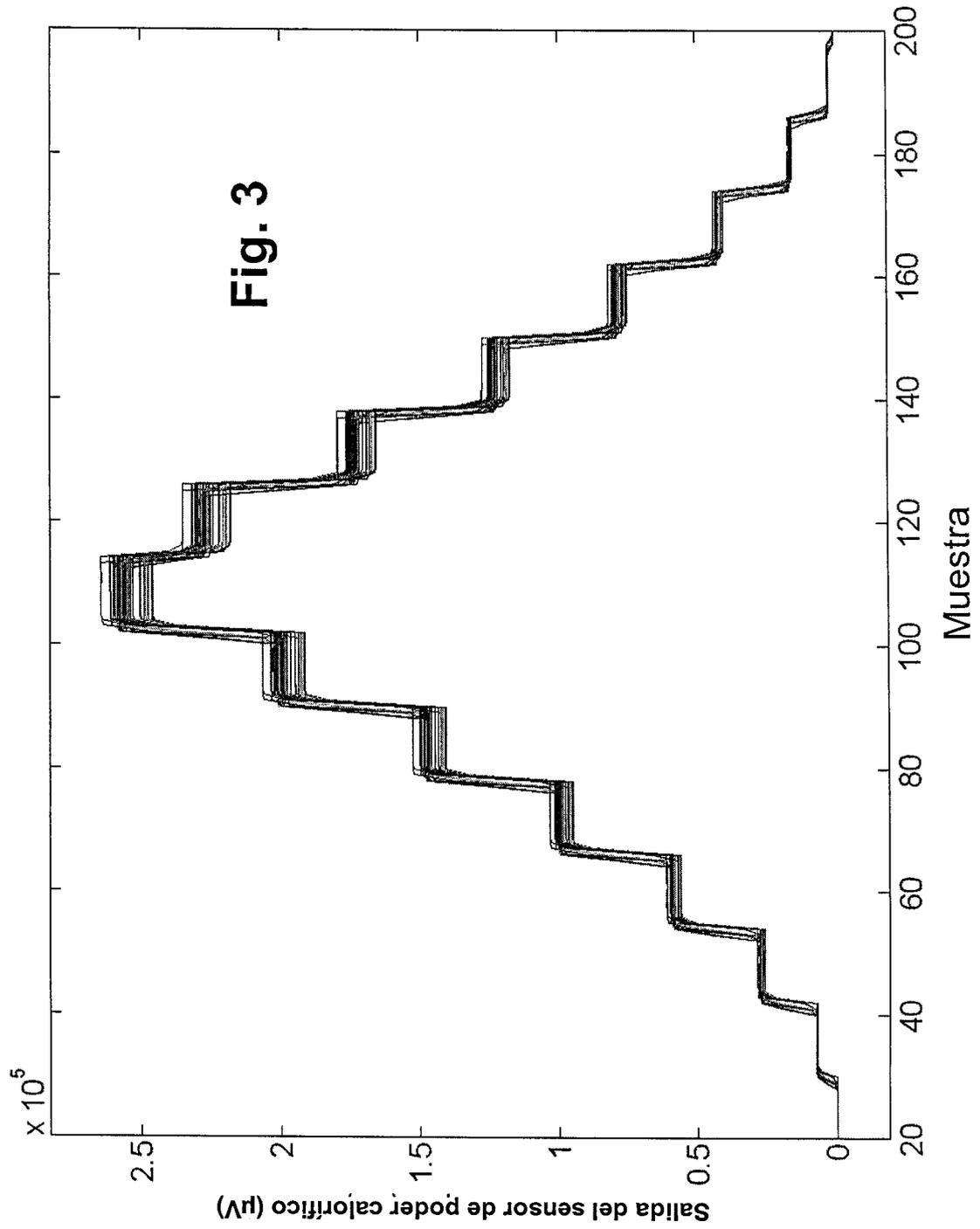


Fig. 2a





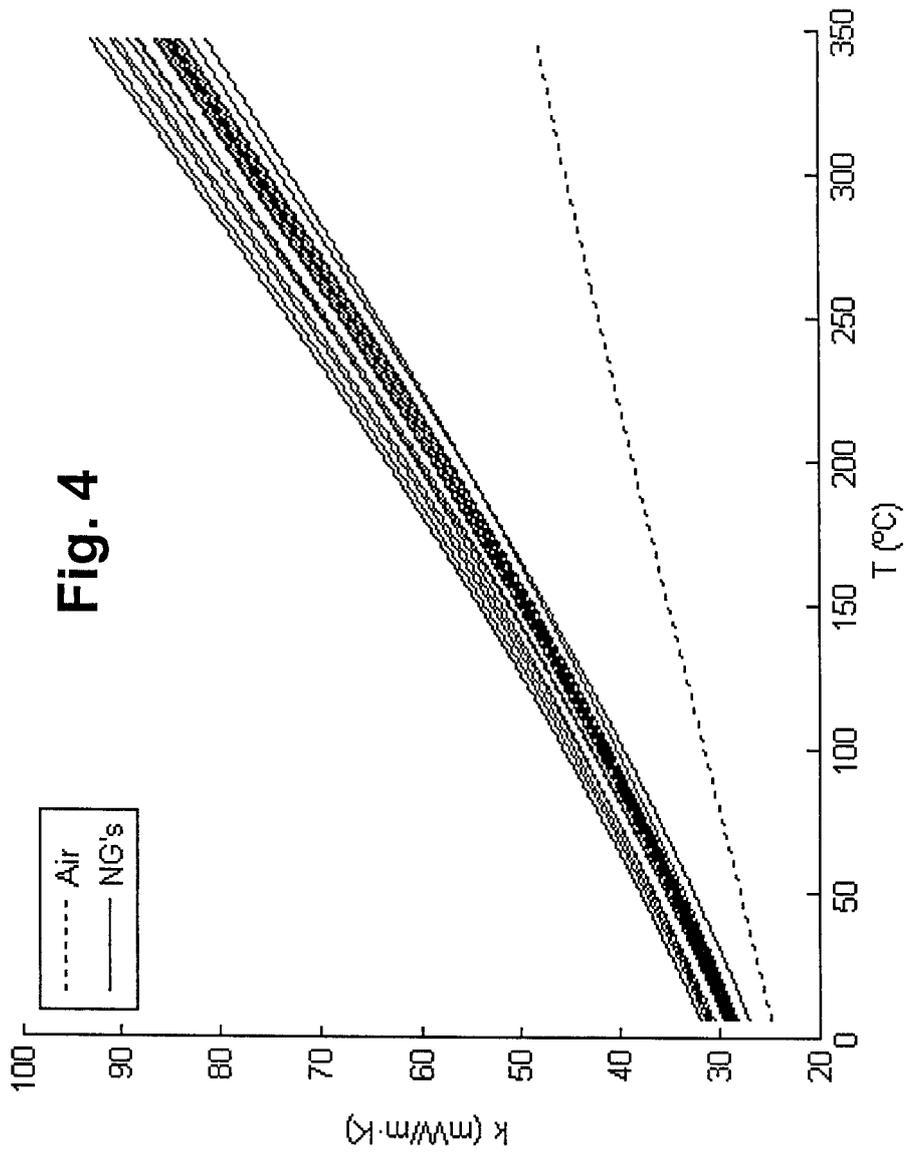
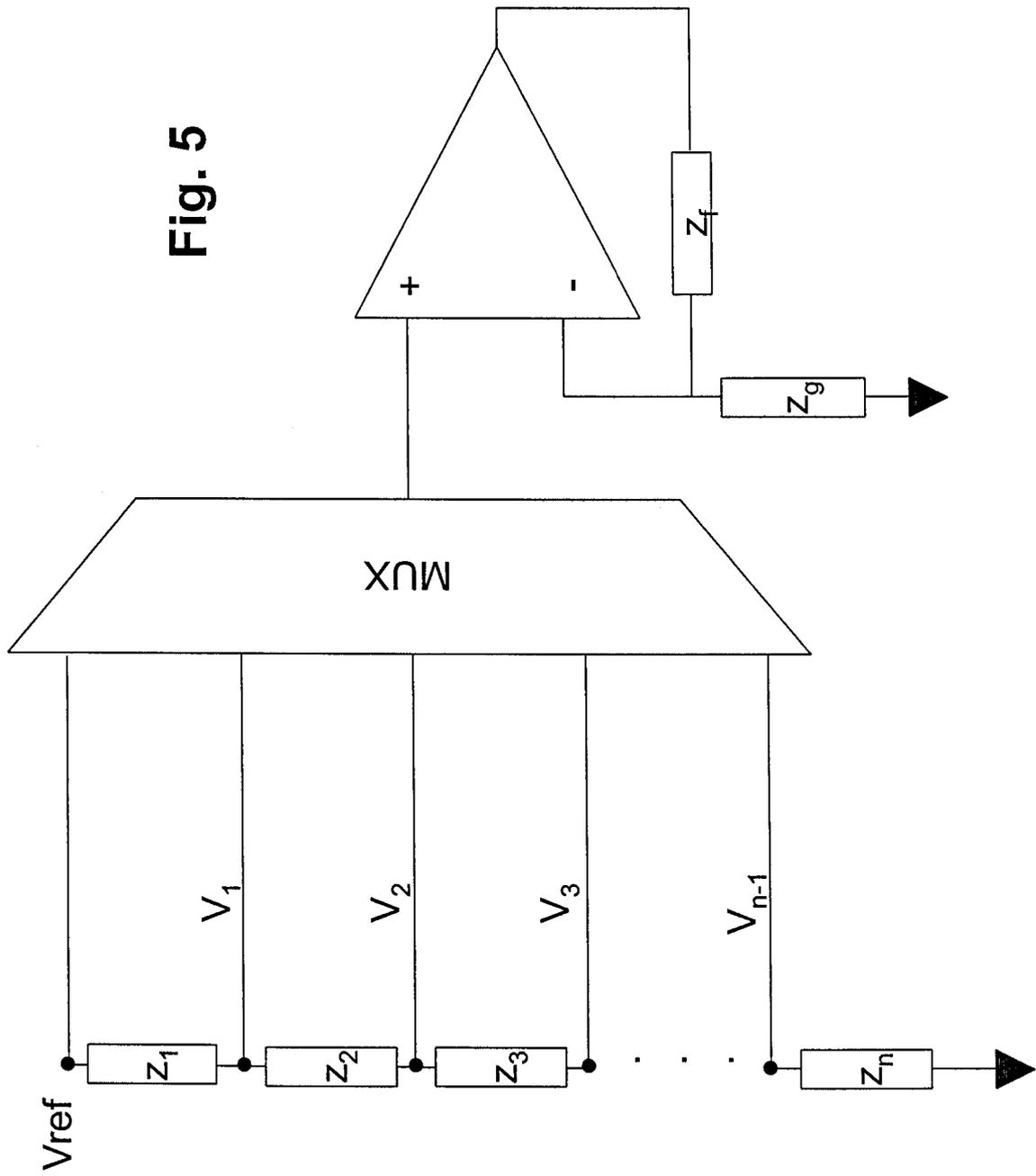


Fig. 5





OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

21 N.º solicitud: 200901739

22 Fecha de presentación de la solicitud: 31.07.2009

32 Fecha de prioridad:

### INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

51 Int. Cl.: **G01N25/18** (01.01.2006)  
**G01F1/68** (01.01.2006)

#### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	US 6688159 B1 (GRUNEWALD) 10.02.2004, todo el documento.	1-25
Y	ES 2232298 A1 (CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES) 16.05.2005, página 4, línea 5 – página 44, línea 29; figura 2.	1-25
A	Abril 2007 CARLES G., UDINA S., SALLERAS M., SANTANDER J., FONSECA, L., MARCO S., "A micromachined thermoelectricsensor for natural gas analysis: Thermal model and experimental results", Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation Experiments in Microelectronics and Micro-systems, 2007, Eurosime 2007 International Conference, 16-18 Abril 2007, Páginas 1-6, ISBN 1-4244-1105-X	1,4,20-25
A	Octubre 2008 UDINA S., PARDO A., MARCO S., SANTANDER J., FONSECA L., "Thermoelectric MEMS Sensors for natural gas analysis", Sensors, 2008, 26-29 Octubre 2008, Páginas 1364-1367, ISBN 978-1-4244-2580-8.	1,5-7,10,13,18,19

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
28.01.2011

Examinador  
Rafael San Vicente Domingo

Página  
1/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01N25/00, G01N25/18, G01F1/00, G01F1/68

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 28.01.2011

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-25	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1-25	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 6688159 B1 (GRUNEWALD)	10.02.2004
D02	ES 2232298 A1 (CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES)	16.05.2005
D03	Abril 2007 CARLES G., UDINA S., SALLERAS M., SANTANDER J., FONSECA, L., MARCO S., "A micromachined thermoelectricsensor for natural gas analysis: Thermal model and experimental results", Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation Experiments in Microelectronics and Micro-systems, 2007, Eurosime 2007 International Conference, 16-18 Abril 2007, Páginas 1-6, ISBN 1-4244-1105-X.	
D04	Octubre 2008 UDINA S., PARDO A., MARCO S., SANTANDER J., FONSECA L., "Thermoelectric MEMS Sensors for natural gas analysis", Sensors, 2008, 26-29 Octubre 2008, Páginas 1364-1367, ISBN 978-1-4244-2580-8.	

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

El documento D01, que constituye el estado de la técnica más próximo al objeto de las reivindicaciones principales 1ª y 13ª, divulga un método y un sistema para la determinación de la composición se obtiene a partir de un análisis de las señales de salida de un sensor de conductividad térmica en contacto con dicho gas combustible. Dicho análisis se realiza utilizando un sistema electrónico que comprende un sistema de procesamiento adaptado para obtener dicha composición de dicho gas combustible a partir de dichas señales de salida. El sistema electrónico comprende unos bloques de adquisición y excitación.

Las diferencias entre el estado de la técnica definido por D01 y los objetos definidos por las reivindicaciones principales 1ª y 13ª radican en que el método descrito en la solicitud (Reivindicación 1ª) está encaminado a la obtención del flujo energético, en lugar de la composición, para lo cual se necesita además de un valor del poder calorífico otro del caudal de flujo, y en que se utiliza un análisis multivariante en lugar del análisis basado en la utilización de la transformada de Fourier divulgado en D01. Análogamente las diferencias con el sistema descrito en la solicitud (Reivindicación 13ª) radican en que dicho sistema de procesamiento de la solicitud está adaptado para obtener valores de flujo energético mediante un análisis multivariante, para lo cual se necesita integrar en un mismo dispositivo sensor además de un sensor de poder calorífico basado en las diferencias de conductividad térmica como el descrito en D01, de un sensor de flujo másico.

Por un lado, el cálculo de las propiedades caloríficas de un determinado gas a partir de su composición es práctica habitual en el estado de la técnica, regulado por el estándar ISO 6976:1995. Por otro lado, la utilización de análisis multivariantes es también de uso común en el estado de la técnica, y además no se ha definido en ninguna de dichas reivindicaciones 1ª y 13ª ninguna etapa de dicho análisis que lo diferencie del análisis multivariante basado en la transformada de Fourier divulgado en D01. Adicionalmente en D04 se menciona el uso de técnicas de análisis multivariantes de datos en sensores termoeléctricos para determinar la composición de mezclas de gases naturales.

Teniendo en cuenta esto, el nuevo problema a resolver derivado de la diferencia entre la invención y D01 sería la integración en un mismo dispositivo de varios sensores para poder desarrollar el método y sistema descritos en la solicitud, y la solución a dicho problema la encontramos resuelta en D02, que desarrolla un microchip o microsistema multisensor que integra en una misma matriz de silicio varios sensores para medir el flujo, la temperatura y la concentración de un determinado gas, para su posterior monitorización y control, resultando por lo tanto obvia la solución para el experto en la materia a la luz de D01 y D02, y quedando cuestionada la actividad inventiva de ambas reivindicaciones 1ª y 13ª con la combinación de los documentos D01 y D02.

**REIVINDICACIONES DEPENDIENTES**

Con respecto a las reivindicaciones dependientes, no contienen características técnicas que, en combinación con aquellas de las que dependen, cumplan con los requisitos de actividad inventiva, en concreto:

Las reivindicaciones 2ª, 3ª, 14ª, 15ª y 16ª quedan divulgadas en el elemento multisensor descrito en el documento D02, careciendo éstas de actividad inventiva.

Asimismo D03 divulga la estructura de un sensor de conductividad térmica y un sistema con todas las características técnicas adicionales expresadas en las reivindicaciones 4ª, 20ª a 22ª, y 23ª a 25ª, careciendo éstas de actividad inventiva.

Las características técnicas incluidas en las reivindicaciones 5ª, 6ª, 9ª, 10ª y 18ª expresan etapas de procedimientos y elementos de sistemas usuales en cualquier proceso de calibración, careciendo éstas de actividad inventiva.

Tanto el documento D01 como D03 divulgan bloques de excitación de calefactores de los sensores de conductividad térmica, por lo que la reivindicación 8ª carece de actividad inventiva.

Las reivindicaciones 11ª, 12ª, 23ª y 24ª no presentan características técnicas adicionales claras a las incluidas en aquellas de las que dependen (1ª y 13ª), definiendo el mismo objeto y careciendo así mismo de actividad inventiva.

A modo de resumen, podríamos concluir que en el método y en el sistema para la determinación del flujo energético de un gas combustible descrito en las reivindicaciones 1ª a 25ª de la presente solicitud no se aprecia actividad inventiva, por considerarse obvio para un experto en la materia a partir de la combinación de D01 y D02, y por lo tanto la patentabilidad de la invención se vería cuestionada.