

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 434 260**

51 Int. Cl.:

G01F 15/06 (2006.01)

G01F 1/78 (2006.01)

G01F 15/04 (2006.01)

G01F 15/12 (2006.01)

G01F 1/76 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2010 E 10192976 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2013 EP 2458348**

54 Título: **Método y aparato para medir el caudal másico de un gas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.12.2013

73 Titular/es:

**AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, PA 18195-1501, US**

72 Inventor/es:

DOWNIE, NEIL ALEXANDER

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 434 260 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para medir el caudal másico de un gas

5 La presente invención está relacionada con un método y un aparato para medir el caudal másico de un gas. Más en particular, la presente invención está relacionada con un método y un aparato para medir el flujo másico de un gas a través de un orificio de restricción de flujo, utilizando un oscilador piezoeléctrico.

10 Los métodos y aparatos descritos en esta memoria pueden ser aplicados a sistemas en los que hay presentes fluidos de presión relativamente alta (por ejemplo, alrededor de 10 bares o más altas), tales como por ejemplo el suministro de fluidos en cilindros de alta presión o plantas de fabricación que utilizan fluidos a alta presión. La presente invención está relacionada particularmente con gases "limpios", es decir, gases con pocas o ninguna impureza o contaminantes, tales como vapor de agua o polvo.

15 La presente invención es particularmente aplicable a gases permanentes. Los gases permanentes son gases que no pueden ser licuados solamente por presión, y por ejemplo pueden ser suministrados en cilindros a presiones de hasta 450 bares g (donde bar g es una medida de la presión por encima de la presión atmosférica). Ejemplos de ello son el Argón y el Nitrógeno. Sin embargo, esto no debe tomarse como limitativo y el término gas puede considerarse que abarca una amplia gama de gases, por ejemplo, tanto un gas permanente y un vapor de un gas licuado.

20 Los vapores de los gases licuados están presentes por encima del líquido en un cilindro de gas comprimido. Los gases que se licuan bajo presión a medida que son comprimidos para llenar un cilindro, no son gases permanentes y se describen con más precisión como gases licuados bajo presión o como vapores de gases licuados. Como ejemplo, el óxido nitroso se suministra a un cilindro en forma líquida, con una presión de vapor en equilibrio de 44,4 bares g a 15° C. Tales vapores no son gases permanentes o verdaderos, ya que se pueden licuar bajo presión o temperatura aproximadamente en condiciones de ambiente.

25 Un cilindro de gas comprimido es un recipiente a presión diseñado para contener gases a alta presión, es decir, presiones significativamente mayores que la presión atmosférica. Los cilindros de gas comprimido se usan en una amplia variedad de mercados, desde el mercado industrial general de bajo coste, hasta el mercado médico, y hasta aplicaciones de mayor coste, tales como la fabricación de electrónica que utiliza gases corrosivos, tóxicos o de especialidad pirofórica de alta pureza. Comúnmente, los recipientes de gases presurizados comprenden al acero, aluminio o compuestos, y son capaces de almacenar gases comprimidos, licuados o disueltos con una presión de llenado máxima de hasta 450 bares g para la mayoría de los gases, y hasta 900 bares g para gases tales como el hidrógeno y el helio.

30 Con el fin de dispensar gases eficazmente y de manera controlable desde un cilindro de gas u otro recipiente a presión, se requiere una válvula o regulador. A menudo, se combinan los dos para formar una Válvula con Regulador de Presión Integrado (VIPR). El regulador es capaz de regular el flujo del gas de manera que el gas se dispensa a una presión constante o variable por el usuario.

35 Para muchas aplicaciones, es deseable conocer el caudal de gas desde un cilindro de gas. Esto puede ser crítico para muchas aplicaciones, por ejemplo aplicaciones médicas. Se conocen diversas configuraciones de medidores de flujo másico.

40 Una clase de medidores de flujo másico que se usan comúnmente en muchas aplicaciones industriales son los medidores mecánicos de flujo másico. Tales medidores incluyen componentes mecánicos que se desplazan o giran para medir el flujo másico. Uno de esos tipos es el medidor inercial de flujo (o medidor del flujo de Coriolis) que mide el flujo de fluido a través del efecto del fluido sobre tubos de cierta forma. Los medidores de Coriolis pueden manejar una amplia gama de caudales con alta precisión. Sin embargo, con el fin de detectar el caudal, se requieren sistemas complejos con características tales como accionamiento, detección, electrónica y cálculo.

45 Medidores de flujo másico alternativos de tipo mecánico son los medidores de diafragma, medidores rotativos y medidores de turbina. Sin embargo, estos tipos de medidores son generalmente menos precisos e implican piezas móviles que pueden ser objeto de desgaste. Además, los medidores tales como los medidores rotativos son útiles solamente para medir caudales relativamente bajos.

50 Una clase alternativa de medidores de flujo másico son los medidores electrónicos de flujo. Dos tipos principales son los medidores térmicos y los medidores ultrasónicos. Los medidores térmicos de flujo miden la transferencia de calor a través de un tubo caliente para medir el caudal. Los medidores ultrasónicos de flujo miden la velocidad del sonido en un medio gaseoso, promediando algunas veces la velocidad del sonido en múltiples caminos dentro de la tubería. Sin embargo, ambos tipos de medidores electrónicos de flujo requieren generalmente un significativo hardware de proceso de señales y son generalmente elementos de alto coste.

5 El documento GB-A-1 349 256 divulga un aparato para supervisar el flujo másico y el caudal másico de un fluido que fluye a través de un conducto. El aparato comprende un elemento sensor de densidad y un rotor para medir el caudal volumétrico. El documento US-A-2010/132471 divulga un sensor de presión en forma de sensor de cuarzo configurado para medir la presión de fluido en el cuerpo de un sensor.

10 El documento DE-A-10 2005 050400 divulga un dispositivo para determinar y/o supervisar el peso de un medio en un recipiente. El dispositivo comprende una unidad de medición del nivel para determinar y/o supervisar el nivel del medio, una unidad de medición de la densidad para determinar y/o supervisar la densidad del medio y una unidad de evaluación para determinar el peso del medio a partir del nivel y la densidad del medio.

15 El documento WO-A-98/15811 está relacionado con un densitómetro que incluye un plénum de la muestra del gas conectado a una tubería de suministro de gas a través de un conducto de entrada de flujo restringido. Hay una aleta en voladizo posicionada en el plénum de la muestra para mediciones de densidad de gas.

20 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método de medición del caudal másico de un gas a través de un conducto, que comprende un orificio a través del cual tiene lugar un flujo estrangulado, donde el orificio divide el conducto en una parte aguas arriba de dicho orificio y una parte aguas abajo de dicho orificio, y donde la parte aguas arriba comprende un oscilador piezoeléctrico que comprende dos puntas planas y en contacto con el gas aguas arriba del orificio, comprendiendo el método: a) activar el oscilador de cristal piezoeléctrico de forma que el oscilador de cristal piezoeléctrico resuena a una frecuencia resonante; b) medir la frecuencia resonante del oscilador de cristal piezoeléctrico; y c) determinar el caudal másico de gas a través de dicho orificio a partir de la relación entre la frecuencia resonante medida del oscilador de cristal piezoeléctrico y la densidad del gas aguas arriba del orificio, y a partir de la relación entre el caudal másico, la densidad del gas aguas arriba del orificio, la superficie de la sección transversal del orificio y la velocidad del sonido en el gas.

30 Al proporcionar tal método, el caudal másico del gas a través de un orificio restrictivo puede ser determinado fácilmente utilizando un oscilador de cristal piezoeléctrico robusto y relativamente económico, por ejemplo, un oscilador de cristal de cuarzo. El oscilador de cristal piezoeléctrico oscilará a una frecuencia resonante que depende de la densidad del gas en el cual está inmerso el oscilador. Como en condiciones de flujo estrangulado, la densidad del gas aguas arriba del orificio es proporcional al caudal másico a través del orificio, puede utilizarse un oscilador de cristal para medir el caudal másico.

35 Tal oscilador funciona tanto como una fuente de excitación (oscilando como respuesta a ser activado por un circuito de activación) como un detector (al tener una sola frecuencia resonante que depende del entorno en el cual está situado el oscilador). Además, un oscilador de cristal es robusto y, como resultado, no es relativamente afectado por perturbaciones ambientales. Además, los componentes que se requieren para operar tal oscilador son compactos y de bajo coste.

40 En un modo de realización, la presión aguas arriba de dicho orificio es al menos 0,5 bares mayor que la presión aguas abajo de dicho orificio. En un modo de realización, el método comprende además la determinación de la temperatura del gas aguas arriba del orificio. En una configuración, el gas es dispensado desde un regulador o válvula de presión situada aguas arriba del oscilador de cristal piezoeléctrico. En una configuración, el regulador de presión está electrónicamente controlado como respuesta al caudal másico del gas medido a través de dicho orificio.

45 En un modo de realización, el cristal del cuarzo es de corte AT o de corte SC. En una variante, la superficie del cristal de cuarzo está directamente expuesta al gas.

50 En un modo de realización, el conjunto sensor comprende un circuito de activación. En una variante, el conjunto sensor comprende un circuito de activación que comprende una pareja Darlington dispuesta en una configuración de realimentación desde un amplificador de emisor común. En un modo de realización, el conjunto sensor comprende una fuente de alimentación. En una configuración, la fuente de alimentación comprende una batería de ión-litio. En un modo de realización, el conjunto sensor comprende un procesador.

55 En un modo de realización, dicho oscilador de cristal piezoeléctrico tiene una frecuencia resonante de 32 kHz o mayor.

60 De acuerdo con un segundo modo de realización de la presente invención, se proporciona un medidor para medir el caudal másico de un gas, comprendiendo el medidor un conducto a través del cual fluye el gas durante el uso, teniendo el conducto un orificio de restricción de flujo a través del cual tiene lugar un estrangulamiento del flujo durante el uso, donde el orificio de restricción de flujo divide al conducto en una parte aguas arriba de dicho orificio y una parte aguas abajo de dicho orificio, comprendiendo además el medidor un conjunto sensor, incluyendo el conjunto sensor un oscilador de cristal piezoeléctrico que comprende al menos dos puntas planas en dicha parte aguas arriba, de forma que dicho oscilador de cristal piezoeléctrico está en contacto con dicho gas cuando el

5 medidor está en uso, estando configurado dicho conjunto sensor para: activar el oscilador de cristal piezoeléctrico de forma tal que el oscilador de cristal piezoeléctrico resuene a una frecuencia resonante; medir dicha frecuencia resonante de dicho oscilador de cristal piezoeléctrico; y determinar el caudal másico a través del orificio a partir de la relación entre la frecuencia resonante medida del oscilador de cristal piezoeléctrico y la densidad del gas aguas arriba del orificio, y a partir de la relación entre el caudal másico, la densidad del gas aguas arriba del orificio, la superficie de la sección transversal del orificio y la velocidad del sonido en el gas.

10 Proporcionando tal configuración, el caudal másico de un gas a través de un orificio restrictivo se puede determinar fácilmente usando un oscilador de cristal piezoeléctrico robusto y relativamente económico, por ejemplo un oscilador de cristal de cuarzo. El oscilador de cristal de cuarzo oscilará a una frecuencia resonante que depende de la densidad del gas en la cual está inmerso el oscilador. Como en condiciones de flujo estrangulado, la densidad del gas aguas arriba del orificio de restricción de flujo es proporcional al caudal másico a través del orificio, se puede utilizar un oscilador de cristal para medir el caudal másico.

15 Tal oscilador funciona tanto como una fuente de excitación (oscilando como respuesta a ser activado por un circuito de activación) como un detector (al tener una sola frecuencia resonante que depende del entorno en el cual está situado el oscilador). Además, un oscilador de cristal es robusto y, como resultado, no es relativamente afectado por perturbaciones ambientales. Además, los componentes que se requieren para operar tal oscilador son compactos y de bajo coste. En una configuración, el medidor comprende además uno o más entre un circuito de activación, un procesador y una fuente de alimentación.

20 En un modo de realización, el cristal del cuarzo es de corte AT o de corte SC.

25 En una variante, la superficie del cristal de cuarzo está directamente expuesta al gas.

30 En un modo de realización, el conjunto sensor comprende un circuito de activación. En una variante, el conjunto sensor comprende un circuito de activación que comprende una pareja Darlington dispuesta en una configuración de realimentación desde un amplificador de emisor común.

35 En un modo de realización, el conjunto sensor comprende una fuente de alimentación. En una configuración, la fuente de alimentación comprende una batería de ión-litio.

40 En un modo de realización, el conjunto sensor comprende un procesador.

45 En una configuración, el circuito de activación comprende una pareja Darlington dispuesta en una configuración de realimentación desde un amplificador de emisor común.

50 En una configuración, el medidor comprende además un sensor de temperatura configurado para determinar la temperatura del gas contiguo a dicho oscilador piezoeléctrico.

55 En una configuración, el medidor está dispuesto aguas abajo de un regulador o válvula de presión.

60 En una configuración adicional, el medidor está dispuesto para controlar electrónicamente el regulador o válvula de presión, como respuesta al caudal másico medido a través del orificio de restricción de flujo.

65 En una configuración, dicho oscilador de cristal piezoeléctrico tiene una frecuencia resonante de 32 kHz o mayor.

70 De acuerdo con un tercer modo de realización de la presente invención, se proporciona un producto de programa informático ejecutable por un aparato de proceso programable, que comprende una o más partes de software para efectuar los pasos del primer aspecto.

75 De acuerdo con un cuarto modo de realización de la presente invención, se proporciona un medio de almacenamiento utilizable por un ordenador que tiene un producto de programa informático, de acuerdo con el cuarto aspecto, almacenado en él.

80 Se describirán ahora en detalle los modos de realización de la presente invención, con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

85 La figura 1 es un diagrama esquemático de un cilindro de gas y un conjunto regulador;
90 La figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra un conjunto regulador y un conjunto medidor, de acuerdo con un primer modo de realización de la invención;
95 La figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra un conjunto regulador y un conjunto medidor, de acuerdo con un segundo modo de realización de la invención;

- La figura 4 es un diagrama esquemático de un circuito de activación para uso con el primer o con el segundo modos de realización;
- La figura 5 es un diagrama esquemático que muestra una alternativa del circuito de activación, para uso con el primer o con el segundo modos de realización;
- 5 La figura 6 muestra un gráfico de una frecuencia de un cristal de cuarzo (en kHz) sobre el eje Y, en función de la densidad (en kg/m³) para diversos gases diferentes;
- La figura 7 muestra un gráfico de frecuencias de un cristal de cuarzo (en kHz) sobre el eje Y, en función del caudal másico (en litros/minuto) a través de un orificio;
- 10 La figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un método, de acuerdo con un modo de realización descrito;
- La figura 9 muestra un gráfico del comportamiento de la frecuencia de diferentes tipos de cristales;
- La figura 10 es un diagrama esquemático que ilustra un conjunto sensor alternativo, que comprende dos cristales de cuarzo; y
- La figura 11 muestra una configuración alternativa que utiliza una unidad electrónica remota de datos.
- 15 La figura 1 muestra una vista esquemática de un conjunto 10 de un cilindro de gas, de acuerdo con un modo de realización de la invención. La figura 1 muestra una vista esquemática de una situación en la cual se puede utilizar la presente invención. Se proporciona un cilindro 100 de gas, un regulador 150 y un conjunto medidor 200.
- 20 El cilindro 100 de gas tiene un cuerpo 102 del cilindro y una válvula 104. El cuerpo 102 del cilindro de gas comprende un recipiente de presión generalmente cilíndrico que tiene una base plana 102a configurada para permitir que el conjunto 10 del cilindro de gas se sostenga vertical sin apoyarse sobre una superficie plana.
- 25 El cuerpo 102 del cilindro de gas está formado a partir de acero, aluminio y/o materiales compuestos y está adaptado y configurado para soportar las presiones internas de hasta aproximadamente 900 bares g. Hay situada una abertura 106 en un extremo proximal del cuerpo 102 del cilindro de gas, opuesto a la base 102a, y comprende una rosca (no ilustrada) adaptada para recibir la válvula 104.
- 30 El cilindro 100 de gas define un recipiente a presión que tiene un volumen interno V. Cualquier fluido adecuado puede estar contenido dentro del cilindro 100 de gas. Sin embargo, el presente modo de realización está relacionado, aunque no exclusivamente limitado por ello, con gases permanentes purificados que están libres de impurezas, tales como el polvo y/o la humedad. Ejemplos no exhaustivos de tales gases pueden ser: Oxígeno, Nitrógeno, Argón, Helio, Hidrógeno, Metano, Trifluoruro de Nitrógeno, Monóxido de Carbono, Kriptón o Neón.
- 35 La válvula 104 comprende un alojamiento 108, una salida 110, un cuerpo 112 de válvula y un asiento 114 de válvula. El alojamiento 108 comprende una rosca complementaria para encajar con la abertura 106 del cuerpo 102 del cilindro de gas. La salida 110 está adaptada y configurada para permitir que el cilindro 100 de gas se conecte a otros componentes de un conjunto de gas; por ejemplo, mangueras, tuberías, u otras válvulas o reguladores de presión. La válvula 104 puede comprender, opcionalmente, una VIPR (Válvula con Reducción de Presión Integrada). En esta situación, el regulador 150 puede ser omitido.
- 40 El cuerpo 112 de válvula puede ser ajustado axialmente hacia o desde el asiento 114 de válvula, por medio de la rotación de un asa 116 de agarre selectivamente, para abrir o cerrar la salida 110. En otras palabras, el movimiento de la válvula 112 hacia o desde el asiento 112 de válvula controla selectivamente la superficie del conducto de comunicación entre el interior del cuerpo 102 del cilindro y la salida 110. Ésta, a su vez, controla el flujo de gas desde el interior del conjunto 100 del cilindro de gas hacia el ambiente exterior.
- 45 Hay situado un regulador 150 aguas abajo de la salida 110. El regulador 150 tiene una entrada 152 y una salida 154. La entrada 152 del regulador 150 está conectada a una tubería 156 de entrada que proporciona un camino de comunicación entre la salida 110 del cilindro 100 de gas y el regulador 150. La entrada 152 del regulador 150 está configurada para recibir gas a alta presión desde la salida 110 del cilindro 100 de gas. Ésta puede ser cualquier presión adecuada; sin embargo, generalmente la presión de gas que sale de la salida 110 será por encima de 20 bares y más probablemente en la región de 100 - 900 bares.
- 50 La salida 154 está conectada a una tubería 158 de salida. Hay situado un acoplamiento 160 en un extremo distal de la tubería 158 de salida y está adaptada para la conexión con otras tuberías o dispositivos (no ilustrados) para los cuales se requiere el gas.
- 55 Hay situado un conjunto medidor 200 en comunicación con la tubería 158 de salida, entre la salida 154 y el acoplamiento 160. El conjunto medidor 200 está situado inmediatamente aguas abajo del regulador 150 y está configurado para determinar el caudal másico del gas entregado hacia la salida 160.
- 60 El regulador 150 y el conjunto medidor 200 de acuerdo con un primer modo de realización de la presente invención, se ilustran con más detalles en la figura 2.

En este modo de realización, el regulador 150 comprende un solo regulador de diafragma. Sin embargo, la persona experta se daría cuenta fácilmente de las variantes que podrían utilizarse con la presente invención; por ejemplo, un regulador de dos diafragmas u otra configuración.

5 El regulador 150 comprende una región 162 de válvulas en comunicación con la entrada 152 y la salida 154. La región 162 de válvulas comprende una válvula 164 de asiento cónico situada contiguamente a un asiento 166 de la válvula. La válvula 164 de asiento cónico está conectada a un diafragma 168 que está configurado para permitir el movimiento de traslación de la válvula 164 de asiento cónico hacia y desde el asiento 166 de la válvula para cerrar y abrir respectivamente una abertura 170 entre ellos. El diafragma 168 está elásticamente tensado por un resorte 172 situado alrededor de un eje 174.

15 El regulador 150 puede operar de manera que recibe un gas desde la salida 110 a la presión completa del cilindro (por ejemplo, 100 bares), pero para entregar el gas a baja presión fija sustancialmente constante (por ejemplo, 5 bares) a la salida 154. Esto se consigue por medio de un mecanismo de realimentación por el que la presión del gas aguas abajo de la abertura 170 puede operar de manera que actúa sobre el diafragma 168 en oposición a la fuerza de tensión del resorte 172.

20 Si la presión del gas en la región contigua al diafragma 168 excediera del nivel especificado, el diafragma 168 puede funcionar desplazándose hacia arriba (con respecto a la figura 2). Como resultado, la válvula 164 de asiento cónico se desplaza más cerca del asiento 166 de la válvula, reduciendo el tamaño de la abertura 170 y, consecuentemente, restringiendo el flujo de gas desde la entrada 152 a la salida 154. En general, las fuerzas que compiten, la resistencia del resorte 172 y la presión del gas, darán como resultado una posición de equilibrio del diafragma y, consecuentemente, la entrega de un gas a presión constante en la salida 154.

25 Se proporciona un asa 176 de agarre para permitir al usuario ajustar la fuerza de tensado del resorte 172, desplazando con ello la posición del diafragma 168 y, como resultado, ajustar la separación de equilibrio entre la válvula 164 de asiento cónico y el asiento 166 de la válvula. Esto permite el ajuste de las dimensiones de la abertura 170 a través de la cual puede pasar el flujo de gas de alta presión desde la salida 110.

30 El conjunto medidor 200 comprende un cuerpo 202 y un conjunto sensor 204. El cuerpo 202 puede comprender cualquier material adecuado; por ejemplo, acero, aluminio o compuestos. El cuerpo 202 comprende un conducto 206 y un alojamiento 208. El conducto 206 está en comunicación con el interior de la tubería 158 de salida y está dispuesto para conectarse a ella. El conducto 206 proporciona un camino de comunicación entre la salida 154 y el acoplamiento 160 (y, concomitantemente, dispositivos de usuario o aplicaciones conectados al acoplamiento 160).

35 Hay situada una placa 210 de orificios dentro del interior del conducto 206. La placa 210 de orificios comprende una pared que delimita un orificio restringido 212. La placa 210 de orificios forma una restricción de flujo dentro del conducto 206. El orificio 212 tiene una superficie A de su sección transversal que es pequeña con respecto a la superficie de la sección transversal del conducto 206, de forma que la velocidad del flujo a través del orificio 212 está en una condición de estrangulamiento, como se describirá más adelante.

40 Aunque la placa 210 de orificios está ilustrada como una placa de pared fina en la figura 2, esto no es necesario. La placa 210 de orificios puede adoptar cualquier forma adecuada de pared y puede tener un perfil en disminución, o puede tener un espesor mayor que el ilustrado. Alternativamente, se puede utilizar cualquier restricción de flujo adecuada en lugar de la placa 210 de orificios. Por ejemplo, una restricción de flujo puede comprender una parte de un tubo de diámetro más estrecho que el resto de la misma. La persona experta se daría cuenta fácilmente de restricciones de flujo alternativas que pueden ser utilizadas para proporcionar un orificio 212 de restricción de flujo a través del cual, durante el uso, tiene lugar un estrangulamiento del flujo.

45 En el presente modo de realización, el conducto 206 tiene una longitud del orden de unos pocos centímetros. La placa 210 de orificios delimita un orificio 212 que tiene un diámetro en la gama de 0,1 mm - 4 mm. Esto es suficiente para proporcionar una condición de flujo estrangulado y para suministrar un caudal de gas a través del orificio 212 de entre 11 y 40 litros/minuto para gases tales como el Nitrógeno o el Argón. Para un gas que tiene un peso molecular menor, el diámetro del orificio 212 puede ser escalado hacia abajo para conseguir un caudal similar. Alternativamente, para caudales mayores, el orificio 212 puede ser escalado hacia arriba consecuentemente, siempre que la presión aguas arriba sea suficientemente más alta que la presión aguas abajo para crear las condiciones de flujo estrangulado a través del orificio 212.

50 La placa 210 de orificios divide el interior del conducto 206 en una sección 214 aguas arriba de la placa 210 de orificios y una sección 216 aguas abajo de la placa 210 de orificios. Durante el uso, cuando el gas fluye desde la salida 210 del regulador 150 hacia el interior de la parte 214 aguas arriba del conducto 206, la placa 210 de orificios actuará como una restricción de flujo, dando como resultado un diferencial de presión entre las partes aguas arriba

214 y aguas abajo 216 del conducto 206. Consecuentemente, la parte aguas arriba 214 del conducto 206 está a una primera presión P_1 y la parte aguas abajo 216 del conducto está a una segunda presión P_2 (y, durante el uso, menor). Esto se describirá en detalle más adelante.

5 El alojamiento 208 está situado contiguamente a la parte aguas arriba 214 del conducto 206 y está configurado para contener al menos una parte del conjunto sensor 204. El interior del alojamiento 208 puede estar a presión atmosférica o puede estar en comunicación con el interior del conducto 206 y, consecuentemente, a la misma presión que el interior de la tubería 158 de salida. Esto eliminaría el requisito de una presión alimentada a través, entre el alojamiento 208 y el interior del conducto 206.

10 Alternativamente, el alojamiento 208 podría proporcionarse como parte del conducto 206. Por ejemplo, una parte del conducto 206 podría ser ensanchada para acomodar el conjunto sensor 204.

15 Estas configuraciones son practicables porque los inventores han averiguado que solamente unos pocos componentes del conjunto sensor 204 son sensibles a una presión alta. En particular, los componentes más grandes, como las baterías, podrían ser sensibles a presiones altas. Sin embargo, se ha averiguado que las baterías de ión litio se comportan particularmente bien bajo las altas presiones encontradas dentro de la parte aguas arriba 214 del conducto 206. Consecuentemente, la batería 224 comprende células de ión litio. Sin embargo, se podrían contemplar fácilmente por una persona experta fuentes de alimentación alternativas adecuadas.

20 La situación potencial del conjunto sensor 204 totalmente dentro del conducto 206 proporciona una flexibilidad adicional cuando se configura el conjunto medidor 200. En particular, la situación de componentes totalmente electrónicos relativamente frágiles dentro de paredes metálicas o de material compuesto del cuerpo 202, sin el requisito de una protuberancia tal como el alojamiento 208, proporciona una protección considerable contra daños ambientales o accidentales.

25 Esto es particularmente importante, por ejemplo, en zonas de almacenamiento o depósitos, donde los cilindros de gas pueden estar situados contiguamente a otros cilindros de gas, maquinaria pesada o superficies desiguales.

30 Además, la situación interna del conjunto sensor 204 protege estos componentes de las condiciones ambientales tales como la sal, el agua y otros contaminantes. Esto permitiría, por ejemplo, utilizar un circuito de alta impedancia que sea altamente sensible a los daños de la sal o del agua, como parte del conjunto sensor 204.

35 El conjunto medidor 200 está configurado para medir el caudal másico del gas que pasa a través del orificio 212. Este gas es medido por el conjunto sensor 204. El conjunto sensor 204 comprende un oscilador 218 de cristal de cuarzo conectado a un circuito 220 de activación, un sensor 222 de temperatura y una batería 224.

40 En este modo de realización, el oscilador 218 de cristal de cuarzo y el sensor 222 de temperatura están situados en comunicación con el interior de la parte aguas arriba 214 del conducto 206, mientras que el resto de los componentes del conjunto sensor 204 están situados dentro del alojamiento 208. En otras palabras, el oscilador 218 de cristal de cuarzo está inmerso en el gas aguas arriba de la placa 210 de orificios. También se puede proporcionar un microprocesador 240, ya sea separadamente o como parte del circuito 220 de activación.

45 El circuito 220 de activación y el oscilador 218 de cristal de cuarzo serán descritos en detalle más adelante con referencia a las figuras 4 y 5. El sensor 222 de temperatura comprende un termistor. Se puede utilizar cualquier termistor adecuado. No se requiere una gran precisión para el termistor. Por ejemplo, una precisión de $0,5^\circ\text{C}$ es adecuada para este modo de realización. Consecuentemente, se pueden utilizar componentes económicos y pequeños.

50 En esta configuración, el oscilador 218 de cristal de cuarzo está constantemente bajo una presión isostática dentro del conducto 206 y, consecuentemente, no experimenta un gradiente de presión. En otras palabras, a través del cuerpo 202 se expresa cualquier esfuerzo mecánico que se origine por la diferencia de presión entre la atmósfera externa y el interior del cuerpo 202 del conjunto medidor 200.

55 En la figura 3 se ilustra un segundo modo de realización de la invención. Las características del segundo modo de realización ilustrado en la figura 3, que son comunes con las del primer modo de realización de la figura 2, tienen asignadas las mismas referencias numéricas y no se describirán de nuevo aquí.

60 En el modo de realización de la figura 3, el regulador 300 difiere del regulador 150 del modo de realización de la figura 2 en que el regulador 300 está configurado para proporcionar un control automático de gas desde la salida 154, por medio de la válvula solenoide 302. La válvula solenoide 302 comprende una armadura 304 que se puede desplazar como respuesta a una corriente eléctrica a través de las bobinas (no ilustradas) de la válvula solenoide 302. La armadura 304 puede desplazarse para abrir o cerrar directamente la válvula 164 de asiento cónico y,

consecuentemente, la abertura 170.

La válvula solenoide 302 ilustrada en la figura 3 está normalmente en condición abierta. En otras palabras, en ausencia de una corriente eléctrica a través de la válvula solenoide 302, la armadura 304 está en posición extendida de forma que la válvula 164 de asiento cónico está abierta, es decir, la abertura 170 está abierta. Si se aplica una corriente a la válvula solenoide 302, la armadura 304 se retraerá y la válvula 164 de asiento cónico se cerrará.

La persona experta se dará cuenta fácilmente de variaciones alternativas de la válvula solenoide que se podrían usar con la presente invención. Por ejemplo, la armadura 304 puede actuar directamente sobre el diafragma, o puede controlar el flujo a través de un estrecho conducto en comunicación con la salida 154, con el fin de regular el desplazamiento del diafragma 168. Alternativamente, la válvula de asiento cónico podría ser eliminada y el propio diafragma 168 podría ser el miembro de válvula que controle directamente el flujo de gas desde la entrada 152 a la salida 154.

El segundo modo de realización comprende un conjunto medidor 350. Los componentes del conjunto medidor 350 en común con el conjunto medidor 200, tienen asignadas las mismas referencias numéricas por razones de claridad.

El conjunto medidor 350 es sustancialmente similar al conjunto medidor 200 del primer modo de realización. Sin embargo, el conjunto medidor 350 comprende además un accionamiento electrónico 352 del solenoide conectado a la válvula solenoide 302 y al conjunto sensor 204. El accionamiento 352 del solenoide está configurado para recibir una señal desde el conjunto sensor 204 y para controlar la válvula solenoide 302 como respuesta a una señal y, consecuentemente, controlar el flujo a través del regulador 300.

El accionamiento 352 del solenoide puede comprender cualquier circuito de activación apropiado para controlar la válvula solenoide 302. Un circuito adecuado puede ser una configuración de amplificador operacional que tenga una entrada desde el conjunto sensor 204 hacia el terminal negativo del amplificador operacional. Consecuentemente, al terminal positivo se puede unir una resistencia variable diseñada para proporcionar un nivel de referencia constante y actuar como un comparador.

Una entrada desde el conjunto sensor 204 al accionamiento 352 del solenoide originará el funcionamiento de la válvula solenoide 302. Por ejemplo, si la señal de entrada desde el conjunto sensor 204 (o alternativamente del procesador 240) excede de un nivel umbral particular, el accionamiento 352 del solenoide puede energizar la válvula solenoide 302. La válvula solenoide 302 puede ser controlada de forma digital (es decir, on u off) donde se hace variar una tensión de CC entre un valor máximo y un mínimo. Alternativamente, la tensión CC del accionamiento 352 del solenoide puede ser continuamente variable para ajustar la posición de la válvula 164 de asiento cónico con precisión, de una manera análoga.

Además o alternativamente, el accionamiento 352 del solenoide puede controlar la válvula solenoide 302 por medio de una salida de CC que comprende una componente de CA. Como la extensión de la armadura 304 de la válvula solenoide 302 es aproximadamente proporcional a la corriente aplicada, esto hace que la armadura 304 de la válvula solenoide 302 oscile. Tales oscilaciones atenúan la "fricción estática" de la armadura 304, es decir, ayudan a impedir que la armadura 304 quede pegada o atascada.

Alternativamente, se pueden utilizar otras configuraciones de control tales como los FET, los microprocesadores o los ASIC, como elementos apropiados para controlar el funcionamiento de la válvula solenoide 302. Además, como se ha mencionado, la válvula solenoide 302 puede funcionar en modo digital (es decir, on/off) o analógico (es decir, continuamente variable) para permitir el desplazamiento preciso de la válvula 164 de asiento cónico o similar.

El primer o segundo modos de realización pueden comprender además una pantalla (no ilustrada) para mostrar al usuario los resultados de las mediciones hechas en el gas detectado. Alternativamente, la pantalla puede estar situada remotamente desde los conjuntos medidores 200, 350 y los datos relevantes puede ser comunicados remotamente.

Con el fin de que el oscilador 218 de cristal de cuarzo proporcione una medición precisa, el oscilador 218 de cristal de cuarzo debe mantenerse libre de suciedad, humedad y otros contaminantes. Aunque esto no es un problema para los gases envasados comercialmente suministrados, (que están extremadamente limpios), el conjunto medidor 350 puede utilizarse en situaciones en las que la contaminación ambiental puede ser un problema significativo.

Consecuentemente, el conjunto medidor 200, 350 está provisto de un filtro 354 situado entre el oscilador 218 de cristal de cuarzo y el flujo principal del gas. El filtro 354 puede ser de cualquier tamaño de poro adecuado. Los tamaños de los poros que están en la gama de 5 – 10 μm son particularmente apropiados para esta aplicación.

El filtro 354 (o filtro similar) puede ser aplicado al primer modo de realización descrito anteriormente.

5 Alternativamente, puede omitirse el filtro 354 si el oscilador 218 de cristal de cuarzo está situado por detrás de una abertura que sea suficientemente pequeña para impedir la entrada de suciedad u otros contaminantes. Por ejemplo, un tamaño de abertura de 0,25 mm sería adecuado para usar sin un filtro, siempre que la presión total aguas arriba del gas pueda ser medida de esta manera.

10 Por ejemplo, el primero o bien el segundo modos de realización pueden comprender además una antena (no ilustrada) para la comunicación remota, por ejemplo, con una estación base. Esto se estudiará más adelante. En este caso, la antena puede estar situada fuera del cuerpo 202 y conectada al conjunto sensor 204 por medio de un cable o conector equivalente.

15 La propia antena puede estar adaptada y configurada para usar cualquier protocolo de comunicaciones adecuado, por ejemplo, una lista no exhaustiva puede ser RFID, Bluetooth, Infrarrojos (IR), 802.11 inalámbrico, transmisión por frecuencia modulada (FM) o una red celular.

20 Alternativamente, se puede implementar una comunicación unifilar. La comunicación unifilar necesita solamente un solo conductor metálico para comunicarse: el camino de "retorno" del circuito lo proporciona el acoplamiento capacitivo por el aire, entre los dispositivos de comunicaciones. La persona experta se dará cuenta fácilmente de alternativas de la antena (y el hardware de transmisión asociado) que podría ser utilizada con los modos de realización aquí descritos.

25 Por ejemplo, se puede efectuar la comunicación por medio de una transmisión acústica desde dentro del alojamiento 208. Un transmisor situado dentro del alojamiento 208 podría efectuar la transmisión acústica. El transmisor podrá comprender, por ejemplo, un simple resonador piezoeléctrico de frecuencia fija.

Se requiere también un receptor complementario y este componente podría estar situado remotamente desde el conjunto medidor 200, 350 y puede comprender hardware tal como, por ejemplo, un detector de tonos en bucle enclavado en fase, integrado con un micrófono.

30 El conjunto sensor 204 será descrito ahora con más detalle con referencia a las figuras 4 y 5. El oscilador 218 de cristal de cuarzo comprende una sección plana de cuarzo cortado. El cuarzo presenta un comportamiento piezoeléctrico, es decir, la aplicación de una tensión a través del cristal hace que el cristal cambie su forma, generando una fuerza mecánica. A la inversa, una fuerza mecánica aplicada al cristal produce una carga eléctrica.

35 Dos superficies paralelas del oscilador 218 de cristal de cuarzo son metalizadas con el fin de proporcionar conexiones eléctricas a través de la masa del cristal. Cuando se aplica una tensión a través del cristal por medio de los contactos metálicos, el cristal cambia de forma. Al aplicar una tensión alterna al cristal, puede hacerse que el cristal oscile.

40 El tamaño y espesor físicos del cristal de cuarzo determina la característica o frecuencia resonante del cristal de cuarzo. En realidad, la característica o frecuencia resonante del cristal 218 es inversamente proporcional al espesor físico entre las dos superficies metalizadas. Los osciladores de cristal de cuarzo son muy conocidos en la técnica y por tanto no se describirá con más detalle la estructura del oscilador 218 de cristal de cuarzo.

45 Además, la frecuencia de vibración resonante de un cristal de cuarzo variará dependiendo del entorno en el cual está situado el cristal. En el vacío, el cristal tendrá una frecuencia particular. Sin embargo, esta frecuencia cambiará en diferentes entornos. Por ejemplo, en un fluido, la vibración del cristal será amortiguada por las moléculas circundantes y esto afectará a la frecuencia resonante y a la energía requerida para hacer oscilar al cristal con una amplitud dada.

50 Además, la adsorción de gas o la deposición de material circundante sobre el cristal afectarán a la masa del cristal vibrante, alterando la frecuencia resonante. Tal adsorción o deposición de materiales forman la base para los analizadores selectivos de gas comúnmente utilizados, en los cuales se forma una capa absorbente sobre el cristal y aumenta en masa a medida que se absorbe el gas.

55 Sin embargo, en el caso presente, no se aplica ningún recubrimiento al oscilador 218 de cristal de cuarzo. En realidad, la deposición de material sobre el oscilador 218 de cristal de cuarzo no es deseable en el caso presente, ya que la precisión de la medición puede ser afectada.

60 Como se ilustra en la figura 4, el oscilador 218 de cristal de cuarzo del presente modo de realización se sintoniza en forma de horquilla y comprende una pareja de puntas 218a de aproximadamente 5 mm de largo, dispuestas para oscilar a una frecuencia resonante de 32,768 kHz. Las puntas 218a están formadas en la sección plana del cuarzo. Las puntas 218a de la horquilla oscilan normalmente en su modo fundamental, en el cual se desplazan

síncronamente acercándose y alejándose entre sí a la frecuencia resonante.

5 El cuarzo fundido (o no cristalino) tiene un coeficiente de expansión dependiente de la temperatura muy bajo y un bajo coeficiente de elasticidad. Esto reduce la dependencia de la frecuencia fundamental de la temperatura y, como se verá, los efectos de la temperatura son mínimos.

10 Además, es deseable utilizar cuarzo que sea de corte AT o de corte SC. En otras palabras, la sección plana del cuarzo se corta en ángulos particulares, de manera que el coeficiente de temperatura de la frecuencia de oscilación puede ser configurado para que sea parabólico con un amplio pico alrededor de la temperatura ambiente. Por tanto, el oscilador de cristal puede ser configurado de tal forma que la pendiente en la parte superior del pico es precisamente cero.

15 Tales cristales de cuarzo están comúnmente disponibles con un coste relativamente bajo. Como contraste a la mayoría de los osciladores de cristal de cuarzo que se utilizan en vacío, en el presente modo de realización el oscilador 218 de cristal de cuarzo está expuesto al gas bajo presión en el conducto 206.

20 En la figura 4 se ilustra el circuito 220 de activación para activar el oscilador 218 de cristal de cuarzo. El circuito 220 de activación debe cumplir con diversos criterios específicos. En primer lugar, el oscilador 218 de cristal de cuarzo de la presente invención puede quedar expuesto a una variedad de presiones de gas; potencialmente las presiones pueden variar desde la presión atmosférica (cuando el cilindro de gas está vacío) hasta alrededor de 900 bares g si el cilindro de gas contiene un gas presurizado tal como el hidrógeno. Por tanto, se requiere que el oscilador 218 de cristal de cuarzo opere (y se reinicie tras un periodo sin usarse) bajo una amplia gama de presiones.

25 Consecuentemente, el factor de calidad (Q) del oscilador 218 de cristal de cuarzo variará considerablemente durante el uso. El factor Q es un parámetro sin dimensiones, relativo a la tasa de amortiguación de un oscilador o resonador. Equivalentemente, puede caracterizar el ancho de banda de un resonador con respecto a su frecuencia central.

30 En general, cuanto mayor es el factor Q de un oscilador, menor tasa de pérdida de energía con respecto a la energía almacenada del oscilador. En otras palabras, las oscilaciones de un oscilador de factor Q alto se reducen en amplitud más lentamente en ausencia de una fuerza externa. Los resonadores activados sinusoidalmente que tienen factores Q más altos, resuenan con amplitudes mayores en la frecuencia resonante, pero tienen menor ancho de banda de frecuencias alrededor de la frecuencia para la cual resuenan.

35 El circuito 220 de activación puede ser capaz de activar el oscilador 218 de cristal de cuarzo a pesar del factor Q cambiante. A medida que aumenta la presión en el cilindro 100 de gas, se amortiguará cada vez más la oscilación del oscilador 218 de cristal de cuarzo y caerá el factor Q. Al decaer el factor Q se requiere una mayor ganancia proporcionada por un amplificador en el circuito 220 de activación. Sin embargo, si se proporciona una amplificación demasiado grande del circuito 220 de activación, la respuesta del oscilador 218 de cristal de cuarzo puede hacerse difícil de distinguir. En este caso, el circuito 220 de activación puede oscilar simplemente a una frecuencia inconexa, o a la frecuencia de un modo no fundamental del oscilador 218 de cristal de cuarzo.

40 Como limitación adicional, el circuito 220 de activación debe ser de baja potencia con el fin de funcionar en pequeñas baterías de baja potencia durante un tiempo largo con o sin una potencia complementaria tal como las células fotovoltaicas.

45 Se describirá ahora el circuito 220 de activación con referencia a la figura 4. Con el fin de activar el oscilador 218 de cristal de cuarzo, el circuito 220 de activación toma esencialmente una señal de tensión desde el oscilador 218 de cristal de cuarzo, la amplifica y realimenta esa señal al oscilador 218 de cristal de cuarzo. La frecuencia fundamental resonante del oscilador 218 de cristal de cuarzo es, en esencia, una función de la tasa de expansión y contracción del cuarzo.

50 Esto se determina en general por el corte y el tamaño del cristal.

55 Sin embargo, los factores externos afectan también a la frecuencia resonante. Cuando la energía de las frecuencias de salida generada coincide con las pérdidas del circuito, se puede mantener una oscilación. El circuito 220 de activación está configurado para detectar y mantener esta frecuencia de oscilación. La frecuencia puede ser medida entonces por el microprocesador 240, utilizado para calcular la propiedad apropiada del gas requerida por el usuario y, si se requiere, entregada como salida a unos medios de presentación adecuados (como se describirá más adelante).

60 El circuito 220 de activación está alimentado por una batería 224 de 6 voltios. La batería 224, en este modo de realización, comprende una batería de ión litio. Sin embargo, serán evidentes otras fuentes de potencia alternativas para la persona experta en la técnica; por ejemplo, otros tipos de batería tanto recargables como no recargables y

una configuración de células solares.

El circuito 220 de activación comprende además una pareja Darlington de amplificadores 226 de emisor común. Una pareja Darlington comprende una estructura compuesta que consiste en dos transistores NPN bipolares, configurados de forma tal que la corriente amplificada por el primero de los transistores se amplifica más por el segundo. Esta configuración permite obtener una mayor ganancia de corriente cuando se compara con cada transistor considerado separadamente. Alternativamente, se pueden utilizar transistores PNP bipolares.

La pareja Darlington 226 está dispuesta en una configuración de realimentación a partir de un amplificador 228 de emisor común de un solo transistor (T_1). En la figura 4 se ilustra un transistor NPN de unión bipolar. Sin embargo, la persona experta se daría cuenta que pueden utilizarse configuraciones alternativas de transistores, por ejemplo, un transistor PNP de unión bipolar o Transistores de Efecto Campo de Semiconductores de Óxido de Metal (MOSFET).

El circuito 220 de activación comprende un transistor NPN adicional T_2 seguidor de emisor que actúa como un amplificador tampón 230. El amplificador tampón 230 está configurado para funcionar como un amortiguador entre el circuito y el entorno exterior. Sin embargo, esta característica es opcional y puede no ser requerida. Por ejemplo, al circuito 220 de activación podría conectarse directamente un FET.

Hay situado un condensador 232 en serie con el oscilador 218 de cristal de cuarzo. El condensador 232, en este ejemplo, tiene un valor de 100 pF y permite que el circuito 220 de activación active el oscilador 218 de cristal de cuarzo en situaciones en las que el cristal ha quedado contaminado, por ejemplo por sales u otros materiales depositados.

Además, el circuito 220 de activación puede ser optimizado para un rápido inicio del oscilador 218 de cristal de cuarzo. Con el fin de conseguir esto, se puede conectar una resistencia adicional y un condensador adicional entre la base del transistor D_1 y tierra. Estos componentes pueden comprender, por ejemplo, una resistencia de 10 M Ω y un condensador de 10 nF.

Se describirá ahora un circuito 260 de activación alternativo, con referencia a la figura 5. El circuito de activación ilustrado en la figura 5 está configurado de manera similar a un oscilador Pierce. Los osciladores Pierce son conocidos por los osciladores digitales de circuitos integrados de reloj. En esencia, el circuito 260 de activación comprende un solo inversor digital (en forma de transistor) T, tres resistencias R_1 , R_2 y R_s , dos condensadores C_1 , C_2 , y el oscilador 218 de cristal de cuarzo.

En esta configuración, el oscilador 218 de cristal de cuarzo funciona como un elemento de filtrado altamente selectivo. La resistencia R_1 actúa como una resistencia de carga para el transistor T. La resistencia R_2 actúa como una resistencia de realimentación, polarizando el inversor T en su región lineal de funcionamiento. Esto permite efectivamente que el inversor T funcione como un amplificador inversor de alta ganancia. Otra resistencia R_s se utiliza entre la salida del inversor T y el oscilador 218 de cristal de cuarzo, para limitar la ganancia y atenuar las oscilaciones no deseadas en el circuito.

El oscilador 218 de cristal de cuarzo, en combinación con C_1 y C_2 , forma un filtro de paso de banda de una red Pi. Esto permite un desplazamiento de fase de 180 grados y una ganancia de tensión desde la salida a la entrada aproximadamente a la frecuencia resonante del oscilador 218 de cristal de cuarzo. El circuito 260 de activación anteriormente descrito es fiable y económico de fabricar, ya que comprende relativamente pocos componentes. El circuito es también particularmente aplicable en aplicaciones de baja presión.

Como se ha estudiado anteriormente, el conjunto sensor 204 puede incluir un microprocesador 240 que recibe entradas desde el oscilador 218 de cristal de cuarzo y el circuito 220 de activación. El microprocesador 240 puede comprender una configuración adecuada, tal como un ASIC o un FPGA. El microprocesador 240 está programado para calcular y, si se requiere, presentar y comunicar una determinación del caudal másico del gas a través del orificio 212.

Cuando se utiliza con el oscilador 218 de cristal de cuarzo, el microprocesador 240 puede configurarse para medir la frecuencia f o el periodo de una señal del circuito 220 de activación. Esto puede conseguirse, por ejemplo, contando las oscilaciones en un periodo de tiempo fijo, y convertir esa frecuencia en un valor de densidad utilizando un algoritmo o tabla de consulta. Este valor se pasa al microprocesador 240.

El microprocesador 240 recibe también la temperatura T medida en el sensor 222 de temperatura. El microprocesador 240 está configurado para efectuar, basándose en las entradas suministradas, un cálculo para determinar el caudal másico del gas a través del orificio 212.

Una vez que se ha determinado el caudal másico, se pueden almacenar los datos en una memoria local, pueden ser

presentados en una pantalla de presentación o pueden ser transmitidos a una estación remota.

El microprocesador 240 puede ser diseñado, opcionalmente, para que la producción en masa sea idéntica en todo el conjunto medidor 200, habilitando diferentes características en el software y en el hardware para los distintos gases.

Además, el microprocesador 240 puede ser configurado también para minimizar el consumo de potencia a través de la implementación de modos de espera o "durmientes" que pueden cubrir el microprocesador 240 y componentes adicionales tales como el circuito 220 de activación y el oscilador 218 de cristal de cuarzo.

Se pueden implementar diversos esquemas, por ejemplo, el microprocesador 240 puede estar en espera durante 10 segundos de cada 11 segundos. Además, el microprocesador 240 puede controlar el oscilador 218 de cristal de cuarzo y el circuito 220 de activación de forma que estos componentes se pongan en espera durante la mayor parte del tiempo, activando solamente los componentes más ávidos de potencia durante 1/2 segundo de cada 30 segundos.

Se describirá ahora la teoría y funcionamiento del conjunto sensor 204, con referencia a las figuras 6 y 7.

El oscilador 218 de cristal de cuarzo tiene una frecuencia resonante que depende de la densidad del fluido en el cual está situado. Al exponer un oscilador de cristal plano con un tipo de sintonización oscilante en horquilla a un gas, se produce un desplazamiento y amortiguación de la frecuencia resonante del cristal (cuando se compara con la frecuencia resonante del cristal en el vacío). Existen diversas razones para eso. Aunque hay un efecto amortiguador del gas en las oscilaciones del cristal, el gas contiguo a las puntas 218a de vibración del oscilador 218 de cristal de sintonización en horquilla aumenta la masa efectiva del oscilador. Esto conduce a una reducción de la frecuencia resonante del oscilador de cristal de cuarzo de acuerdo con el movimiento de un haz elástico fijo de un lado:

$$1) \quad \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\rho t}{2\rho_q w} \left(c_1 + c_2 \frac{\partial}{t} \right)$$

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0}$$

Donde ω_0 es el cambio relativo en la frecuencia angular resonante, ρ es la densidad del gas, t es el espesor del oscilador de cuarzo, ρ_q es la densidad del oscilador de cuarzo y w es la anchura de la horquilla, c_1 y c_2 son constantes geométricamente dependientes y ∂ es el espesor de la capa superficial del gas, definida por

$$2) \quad \partial = \sqrt{\frac{2\eta}{\rho\omega_0}}$$

Donde η es la viscosidad dependiente de la temperatura del gas.

Las dos partes de la ecuación 1) están relacionadas con a) la masa aditiva del gas en las puntas del oscilador 218 de cristal de cuarzo y con b) las fuerzas de cizalladura que surgen de la capa superficial más externa en las puntas, durante la oscilación.

La ecuación puede re-escribirse, por tanto, en términos de la frecuencia y ser simplificada a:

$$3) \quad \Delta f = A\rho + B\sqrt{\rho} + C$$

Donde

$$A = \frac{c_1 t}{2\rho_q w} f_0, B = \frac{c_2}{2\rho_q w} \sqrt{\frac{\eta}{\pi}} \sqrt{f_0}$$

y C es una constante de compensación y f_0 es la frecuencia resonante natural del cristal en el vacío.

Se ha averiguado por los inventores que se puede obtener una aproximación apropiadamente buena mediante la aproximación:

5

$$4) \Delta f \approx \Delta \rho$$

10

Consecuentemente, con una buena aproximación, el cambio en frecuencia es proporcional al cambio en densidad del gas al cual está expuesto el oscilador de cristal de cuarzo. La figura 6 muestra, para diversas mezclas diferentes de gases/gas, que la frecuencia resonante del oscilador 218 de cristal de cuarzo varía linealmente en función de la densidad.

15

En general, la sensibilidad del oscilador 218 de cristal de cuarzo es tal que un 5% de cambio en la frecuencia se ve, por ejemplo, con gas Oxígeno (que tiene un peso molecular de 32 AMU) a 250 bares, cuando se compara con la presión atmosférica. Tales presiones y densidades de gas son típicas de los cilindros de almacenamiento utilizados para gases permanentes, que están normalmente entre 137 y 450 bares g para la mayoría de los gases, y hasta 700 o 900 bares g para el helio y el hidrógeno.

20

El oscilador 218 de cristal de cuarzo es particularmente adecuado para uso como sensor de densidad que forma parte de un medidor de flujo másico para los gases comercialmente suministrados. Con el fin de detectar correctamente la densidad de un gas, es necesario que el gas esté libre de polvo y gotitas de líquidos, lo cual está garantizado en los gases comercialmente suministrados, pero no con aire o en la generalidad de situaciones de supervisión de presión.

25

Una vez que se ha obtenido el valor de la densidad desde el oscilador 218 de cristal de cuarzo, se puede determinar el caudal másico del gas a través del orificio 212. El caudal másico Q a través de un orificio está definido como:

$$5) \quad Q = kv\rho A$$

30

Donde k es una constante, v es la velocidad del gas, ρ es la densidad aguas arriba del gas y A es la superficie de la sección transversal del orificio A. Sin embargo, de la ecuación 6) de Bernoulli,

$$6) \quad P_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2$$

35

A medida que disminuye la superficie de la sección transversal de un orificio, la velocidad del gas aumentará y la presión del gas disminuirá.

40

La determinación del caudal másico a través del orificio 212 depende de una condición conocida como flujo "estrangulado" o "crítico". Tal situación surge cuando la velocidad del gas alcanza condiciones sónicas, es decir, cuando la restricción de flujo originada por la placa 210 de orificios es tal que la velocidad del gas que fluye a través del orificio 212 alcanza la velocidad del sonido. Esto ocurre cuando la presión P_1 aguas arriba es al menos 0,5 bares más alta que la presión P_2 aguas abajo.

45

Una vez que se cumple esta condición, hay muy poco aumento adicional en la velocidad del aire a través del orificio 212. Por tanto, en la condición de estrangulamiento del flujo, donde $v = c$ (la velocidad del sonido en el gas en cuestión), la ecuación 5) se convierte en:

$$7) \quad Q = kcpA$$

50

Consecuentemente, para un orificio que tenga una superficie fija A de su sección transversal, el flujo másico a través del orificio 212 depende solamente de la densidad aguas arriba. Este es el parámetro con el que está configurado el oscilador 218 de cristal de cuarzo para medir.

55

Además, la velocidad del sonido c es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta \sqrt{T} . Sin embargo, como se ha descrito anteriormente, el sensor 222 de temperatura no necesita ser particularmente preciso. Por ejemplo, si el error de temperatura es 0,5K a 300K, esto se traduce solamente en un error de 1:1200 en la velocidad calculada del sonido. Por tanto, para muchas aplicaciones el sensor 222 de temperatura no es necesario y podría ser eliminado.

60

La figura 7 ilustra datos experimentales de la medición del caudal másico. La figura 7 es un gráfico de la frecuencia resonante (en kHz) sobre el eje Y en función del caudal másico (en litros/minuto) sobre el eje X para el gas

Nitrógeno. Como está ilustrado, el gráfico es altamente lineal y muestra que el caudal másico puede ser medido con precisión utilizando el oscilador 218 de cristal de cuarzo.

5 Además, la alta precisión del oscilador 218 de cristal de cuarzo permite la medición con una gran precisión, con una resolución de partes por millón. Acoplado con la respuesta lineal del oscilador 218 de cristal de cuarzo a altas densidades y presiones, la alta precisión permite medir con precisión el caudal másico de gases muy ligeros, tales como el H₂ y el He.

10 Se describirá ahora un método de acuerdo con un modo de realización de la presente invención, con referencia a la figura 8. El método descrito a continuación es aplicable a cada uno de los primero y segundo modos de realización descritos anteriormente.

Paso 400: Inicializar la medición

15 En el paso 400, se inicializa la medición del caudal másico a través del orificio 212. Esto puede activarse, por ejemplo, por un usuario que presione un botón en el exterior del alojamiento 208. Alternativamente, la medición puede ser iniciada por medio de una conexión remota, por ejemplo una señal transmitida a través de una red inalámbrica y recibida por el conjunto medidor 200, 350 a través de una antena.

20 Como alternativa o añadido adicional, el conjunto medidor 200, 350 puede ser configurado para inicializar remotamente o con un temporizador. El método continúa en el paso 402.

Paso 402: Activar el oscilador de cristal de cuarzo

25 Una vez inicializado, el circuito 220 de activación se utiliza para activar el oscilador 218 de cristal de cuarzo. Durante la inicialización, el circuito 220 de activación aplica una tensión alterna aleatoria de ruido a través del cristal 210. Al menos una parte de esa tensión aleatoria, será a la frecuencia adecuada para hacer que el cristal 210 oscile. El cristal 210 comenzará a oscilar en sincronía con esa señal.

30 Como podrá apreciarse, el oscilador 218 de cristal de cuarzo es, en esencia, un detector y activador auto-contenido, ya que se está midiendo la frecuencia resonante del propio cristal.

35 Por medio del efecto piezoeléctrico, el movimiento del oscilador 218 de cristal de cuarzo generará entonces una tensión en la banda de frecuencias resonantes del oscilador 218 de cristal de cuarzo. El circuito 220 de activación amplifica entonces la señal generada por el oscilador 218 de cristal de cuarzo de forma que las señales generadas en la banda de frecuencias del resonador 202 de cristal de cuarzo dominan la salida del circuito 220 de activación. La estrecha banda de frecuencias del cristal de cuarzo filtra todas las frecuencias no deseadas y el circuito 220 de activación activa entonces el oscilador 218 de cristal de cuarzo a la frecuencia resonante fundamental f . Una vez que el oscilador 218 de cristal de cuarzo se ha estabilizado en una frecuencia resonante particular, el método continúa en el paso 404.

40 Paso 404. Medir la frecuencia resonante del oscilador de cristal de cuarzo.

La frecuencia resonante f depende de las condiciones del entorno dentro de la parte 214 aguas arriba del conducto 206. En el presente modo de realización, el cambio en la frecuencia resonante Δf es una buena aproximación, proporcional en magnitud al cambio en la densidad del gas en la parte 214 aguas arriba del conducto 206 y disminuirá al aumentar la densidad.

45 Con el fin de efectuar una medida, se mide la frecuencia del oscilador 218 de cristal de cuarzo en un periodo de aproximadamente 1 s. Esto se hace para permitir que se estabilice la lectura y para contar oscilaciones suficientes con el fin de determinar una medición precisa. Esta medición de frecuencia se lleva a cabo en el microprocesador 240. El microprocesador 240 puede registrar también el tiempo, T_1 , cuando se inicia la medición.

50 Una vez que se ha medido la frecuencia, el método continúa en el paso 406.

Paso 406: Medir la temperatura del gas

55 En el paso 406, el sensor 222 de temperatura mide la temperatura del gas dentro de la parte 214 aguas arriba del conducto 206. Esta medición se requiere con el fin de determinar con precisión la velocidad del sonido en el flujo de gas.

60 Como se ha descrito anteriormente, la medición de temperatura no necesita ser particularmente precisa. Por ejemplo, si el sensor 222 de temperatura tiene una precisión de 0,5°C, esto se corresponde con un error de sólo aproximadamente una parte en 1200 del valor absoluto de la temperatura requerida para el cálculo de la velocidad del sonido.

Como alternativa, este paso puede implicar simplemente que se introduzca un valor de temperatura fijo en el

microprocesador 240. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en situaciones en las que se utiliza un entorno de temperatura conocida, o en las que no se requiere un alto grado de precisión. En este caso, el sensor 222 de temperatura no es requerido.

5 Paso 408: Determinar el flujo másico del gas

Esto se hace utilizando la ecuación 7) anterior, donde la densidad ρ del gas aguas arriba del orificio 212 y, opcionalmente, la temperatura T del gas, son conocidas. Por tanto, conociendo la frecuencia resonante medida en el paso 404, la temperatura T (opcional) conocida del gas medida en el paso 406, se puede hacer una medición precisa del caudal másico a través del orificio 212. El método continúa después en el paso 410.

10 Paso 410: Comunicar y almacenar resultados
El caudal másico del gas puede mostrarse de diversas maneras. Por ejemplo, una pantalla (no ilustrada) unida al alojamiento 208, al cuerpo 202 o al regulador 150, 300, podría presentar el caudal másico del gas a través del orificio 212 (y, como consecuencia, el caudal másico del gas que sale del acoplamiento 160). Como alternativa, la medición del caudal másico podría ser comunicada remotamente a una estación base o a un medidor situado en un accesorio contiguo, como se describirá más adelante.

15 Como una alternativa adicional más, el caudal másico del gas en el instante T_1 podría ser almacenado en una memoria local para que dicho microprocesador 240 genere un registro de tiempos.

20 El método continúa después en el paso 412.

Paso 412: Conjunto sensor de ausencia de alimentación

25 No es necesario mantener el conjunto sensor 200, 350 operativo en todo momento. Por el contrario, es beneficioso reducir el consumo de energía apagando el conjunto sensor 200, 350 cuando no se usa. Esto prolonga la vida de la batería 224.

30 La configuración del circuito 220 de activación permite reiniciar el oscilador 218 de cristal de cuarzo independientemente de la presión en la parte aguas arriba 214 del conducto 206. Por tanto, el conjunto medidor 200, 350 puede apagarse cuando sea requerido, con el fin de ahorrar energía de la batería.

35 Para la persona experta en la técnica, serán evidentes las variantes de los anteriores modos de realización. La configuración precisa de los componentes del hardware y del software puede diferir y seguir cayendo dentro del alcance de la presente invención. La persona experta se daría cuenta fácilmente de las configuraciones alternativas que podrían utilizarse.

40 Por ejemplo, los modos de realización anteriormente descritos han utilizado un oscilador de cristal de cuarzo que tiene una frecuencia fundamental de 32,768 kHz. Sin embargo, se pueden utilizar cristales que operen en frecuencias alternativas. Por ejemplo, se pueden utilizar osciladores de cristal de cuarzo que operen a 60 kHz y 100 kHz con los modos de realización anteriormente descritos. En la figura 9 se ilustra un gráfico que muestra el cambio de frecuencia con la densidad para diferentes cristales. Como ejemplo adicional, se podría utilizar un oscilador de cristal que opere en la frecuencia de 1,8 MHz.

45 El funcionamiento con frecuencias más altas permite supervisar la presión más frecuentemente, porque se requiere un periodo de tiempo más corto para muestrear un número dado de ciclos. Adicionalmente, los cristales de frecuencias más altas permiten utilizar un ciclo de trabajo menor en un modo "durmiente" de un cristal. A modo de explicación, en la mayoría de los casos, el cristal y el circuito de activación pasarán la mayor parte del tiempo apagados, encendiéndose solamente durante un segundo más o menos cuando se necesita la medición. Esto puede ocurrir, por ejemplo, una vez por minuto. Cuando se utiliza un cristal de mayor frecuencia, la presión se puede medir más rápidamente. Por tanto, el tiempo en el que el cristal está operativo se puede reducir. Esto puede reducir el consumo de potencia y mejorar, de manera concomitante, la vida de la batería.

50 Además, los anteriores modos de realización se han descrito midiendo la frecuencia absoluta del oscilador de cristal de cuarzo. Sin embargo, en la electrónica auto-contenida incorporada en un regulador asociado con un cilindro de gas, puede ser ventajoso medir el desplazamiento de frecuencia del sensor, comparando la frecuencia con un cristal de referencia de tipo idéntico, pero dentro de un envase al vacío o a presión. El envase a presión puede contener un gas de una densidad seleccionada, un gas bajo condiciones de presión atmosférica, o puede ser abierto en la atmósfera externa del cilindro de gas.

60 En la figura 10 se ilustra un conjunto sensor adecuado 500. El conjunto sensor 500 comprende un primer oscilador 502 de cristal de cuarzo y un segundo oscilador 504 de cristal de cuarzo. El primer oscilador 402 de cristal de cuarzo es un cristal de referencia que está situado dentro de un recipiente hermético 506 al vacío. El primer oscilador 502 de cristal de cuarzo está activado por un circuito 508 de activación.

El segundo oscilador 504 de cristal de cuarzo es un cristal similar al cristal 218 descrito en los anteriores modos de realización. El segundo oscilador 504 de cristal de cuarzo está expuesto al entorno de gas dentro del alojamiento 208. El segundo oscilador 504 de cristal de cuarzo está activado por un circuito 510 de activación.

5 Se puede realizar esta comparación utilizando un circuito electrónico mezclador 512, que combina las dos señales de frecuencia y produce una salida a una frecuencia igual a la diferencia entre los dos cristales. Esta configuración permite anular pequeños cambios debidos, por ejemplo, de la temperatura.

10 Además, el circuito utilizado en el conjunto sensor 204 puede ser simplificado porque solamente se requiere medir la frecuencia diferencia. Además, el enfoque es particularmente adecuado para uso con un oscilador de cristal de alta frecuencia (MHz), donde puede ser difícil medir directamente la frecuencia del cristal.

15 Además, toda la electrónica requerida para medir y presentar la densidad, la masa o flujo másico en el cilindro de gas, no necesita mostrarse. Por ejemplo, las funciones electrónicas podrían repartirse entre las unidades montadas sobre el cilindro permanentemente, y las unidades montadas en una estación de uso por el cliente o bien montadas temporalmente en la salida del cilindro, por ejemplo en la posición normalmente utilizada para un medidor convencional de flujo.

20 Se ilustra un ejemplo de esta configuración con referencia a la figura 11. La configuración comprende un conjunto 60 de cilindro de gas que comprende un cilindro 600 de gas, un regulador 602 y un medidor 604 de caudal másico. El cilindro 600 de gas, el regulador 602 y el medidor 604 de caudal másico son sustancialmente similares al cilindro 100 de gas, al regulador 150 y al conjunto medidor 200, 350, sustancialmente como se han descrito con referencia a los modos de realización anteriores.

25 En este modo de realización, el medidor 604 de caudal másico comprende un oscilador de cristal de cuarzo y un circuito de activación (no ilustrado) similar al oscilador 218 de cristal de cuarzo y al circuito 220 de activación de modos de realización anteriores. Se dispone una antena 606 para la comunicación a través de cualquier protocolo de comunicaciones remotas adecuado; por ejemplo, Bluetooth, Infrarrojos (IR) o RFID. Alternativamente, se puede utilizar una comunicación unifilar.

30 Como alternativa adicional, se pueden utilizar métodos de comunicación acústica. La ventaja de tales métodos es que se puede efectuar la comunicación remota sin el requisito de una antena exterior.

35 Hay conectada una tubería 608 de conexión a la salida del cilindro 600 de gas. La tubería de conexión está terminada por un conector 610 de rápida conexión. El conector 610 de rápida conexión permite conectar y desconectar la tubería o los componentes fácil y rápidamente desde el cilindro 600 de gas.

40 Se dispone una unidad 650 de conexión rápida para la conexión con el cilindro 600 de gas. Se dispone un conector complementario 612 de rápida conexión para la conexión con el conector 608. Además, la unidad 650 de rápida conexión está provista de una unidad 652 de datos. La unidad 552 de datos comprende una pantalla 554 y una antena 556 para la comunicación con la antena 604 del conjunto 60 del cilindro de gas. La pantalla 554 puede comprender, por ejemplo, un LCD, un LED o una pantalla legible con luz diurna, para minimizar el consumo de potencia y maximizar la visibilidad de la pantalla.

45 La unidad 652 de datos puede registrar diversos parámetros medidos por el conjunto sensor 602 del conjunto 60 del cilindro de gas. Por ejemplo, la unidad 652 de datos podría registrar el caudal másico en función del tiempo. Tal registro podría ser útil, por ejemplo, para los contratistas de soldadura que deseen comprobar que el flujo de gas está presente y es correcto durante los largos procesos de soldadura con gas sobre componentes críticos, o para suministrar a una compañía datos del uso de un cliente en particular.

50 Alternativamente, los datos de la unidad 650 de datos pueden ser entregados a una máquina de soldadura gobernada por un ordenador (para aplicaciones de soldadura) u otros equipos que utilicen gas, para permitir el cálculo de los parámetros obtenidos, junto con mensajes de aviso.

55 Además, la unidad 650 de datos puede ser configurada para proporcionar las funciones siguientes: proporcionar una alarma audible o visual si cambia el tipo de gas; obtener y presentar datos sobre el uso del gas; proporcionar el funcionamiento en multimodo, por ejemplo, un modo de proveedor/dispensador y un modo de cliente; permitir la introducción de datos; proporcionar datos tales como el número de un cilindro, el tipo de gas, un certificado de análisis, una historia de cliente (que tuvo el cilindro en ciertas fechas), datos de seguridad y consejos operativos que pueden ser transportados en forma resumida sobre el cilindro.

60 Como alternativa, todos los ejemplos anteriores pueden ser opcionalmente procesados, por ejemplo, o almacenados

u obtenidos a partir de un sistema situado totalmente sobre (o dentro) del cilindro 600 de gas o del alojamiento 208, como se ha estudiado en términos del conjunto medidor 200, 350.

5 Aunque se han descrito los anteriores modos de realización con referencia al uso de un oscilador de cristal de cuarzo, la persona experta se daría cuenta fácilmente de materiales piezoeléctricos alternativos que podrían ser utilizados. Por ejemplo, una lista no exhaustiva puede incluir osciladores de cristal que comprenden: tantalato de litio, niobato de litio, borato de litio, bernilita, arseniuro de galio, tetraborato de litio, fosfato de aluminio, óxido de bismuto germanio, cerámica policristalina de titanato de zirconio, cerámica de alúmina alta, compuesto de óxido de silicio-zinc, o tartrato de dipotasio.

10 Los modos de realización de la presente invención han sido descritos con particular referencia a los ejemplos ilustrados. Aunque los ejemplos específicos se han ilustrado en los dibujos y se han descrito con detalle en esta memoria, debe entenderse, sin embargo, que los dibujos y la descripción detallada no pretenden limitar la invención a la forma particular divulgada. Se podrá apreciar que se pueden hacer variaciones y modificaciones a los ejemplos
15 descritos, dentro del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para medir el caudal másico de un gas a través de un conducto que comprende un orificio (210) a través del cual tiene lugar un flujo estrangulado, donde el orificio divide el conducto en una parte de aguas arriba, situada aguas arriba de dicho orificio y una parte de aguas abajo, situada aguas abajo de dicho orificio; comprendiendo la parte aguas arriba un oscilador (218) de cristal piezoeléctrico que comprende al menos dos puntas planas y está en contacto con el gas aguas arriba del orificio, comprendiendo el método:
- 10 a) activar (402) el oscilador de cristal piezoeléctrico de forma que el oscilador de cristal piezoeléctrico resuene a una frecuencia de resonancia;
- b) medir (404) la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal piezoeléctrico; y
- 15 c) determinar (408) el caudal másico del gas a través de dicho orificio, a partir de la relación entre la frecuencia de resonancia medida del oscilador de cristal piezoeléctrico y la densidad del gas aguas arriba del orificio, y de la relación entre la densidad del gas aguas arriba del orificio, la superficie de la sección transversal del orificio y la velocidad del sonido en el gas.
2. Un método según la reivindicación 1, en el que la presión aguas arriba de dicho orificio es al menos 0,5 bares mas alta que la presión aguas abajo de dicho orificio.
- 20 3. Un método según la reivindicación 1 o 2, en el que el método comprende además la determinación de la temperatura del gas aguas arriba del orificio.
4. Un método según la reivindicación 1, 2 o 3, en el que el gas se dispensa desde un regulador o válvula de presión situados aguas arriba del oscilador de cristal piezoeléctrico
- 25 5. Un método según la reivindicación 4, en el que el regulador o válvula de presión están electrónicamente controlados como respuesta al caudal másico medido del gas a través de dicho orificio.
6. Un medidor (200, 350) para medir el caudal másico de un gas, comprendiendo el medidor un conducto (206) a través del cual fluye el gas en uso, tendiendo el conducto un orificio (212) de restricción de flujo a través del cual tiene lugar un flujo estrangulado durante el uso, donde el orificio de restricción de flujo divide el conducto en una parte aguas arriba (214) situada aguas arriba de dicho orificio, y una parte aguas abajo (216) que está situada aguas abajo de dicho orificio, comprendiendo además el medidor un conjunto sensor (204), donde el conjunto sensor incluye un oscilador (218) de cristal piezoeléctrico que comprende al menos dos puntas planas en dicha parte aguas arriba, de forma que dicho oscilador de cristal piezoeléctrico está en contacto con dicho gas, cuando está en uso el medidor, estando configurado dicho conjunto sensor:
- 30 para activar el oscilador de cristal piezoeléctrico de forma tal que el oscilador de cristal piezoeléctrico resuena a una frecuencia de resonancia;
- 40 para medir dicha frecuencia de resonancia de dicho oscilador de cristal piezoeléctrico; y
- para determinar el caudal másico a través del orificio a partir de la relación entre la frecuencia resonante medida del oscilador de cristal piezoeléctrico y la densidad del gas aguas arriba del orificio, y a partir de la relación entre el caudal másico, la densidad del gas aguas arriba del orificio, la superficie de la sección transversal del orificio y la velocidad del sonido en el gas.
- 45 7. Un medidor según la reivindicación 6, en el que el medidor comprende además un circuito de activación que comprende una pareja Darlington dispuesta en una configuración de realimentación desde un amplificador de emisor común.
- 50 8. Un medidor según la reivindicación 6 o 7, que comprende además un sensor de temperatura configurado para determinar la temperatura del gas contiguo a dicho oscilador de cristal piezoeléctrico.
9. Un medidor según la reivindicación 6, 7 u 8, dispuesto aguas abajo de un regulador o válvula de presión.
- 55 10. Un medidor según la reivindicación 9, en el que el medidor está configurado para controlar electrónicamente el regulador o válvula de presión, como respuesta al caudal másico medido a través del orificio de restricción de flujo.
11. Un método o medidor, según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en los que dicho oscilador de cristal piezoeléctrico comprende un oscilador de cristal de cuarzo.
- 60 12. Un método o medidor, según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en los que dicho oscilador de cristal piezoeléctrico tiene una frecuencia resonante de 32 kHz o mayor.

13. Un producto de programa informático ejecutable por un dispositivo de proceso programable, que comprende una o más partes de software para realizar los pasos de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5.

5 14. Un medio de almacenamiento utilizable por un ordenador, que tiene almacenado en él un producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 13.

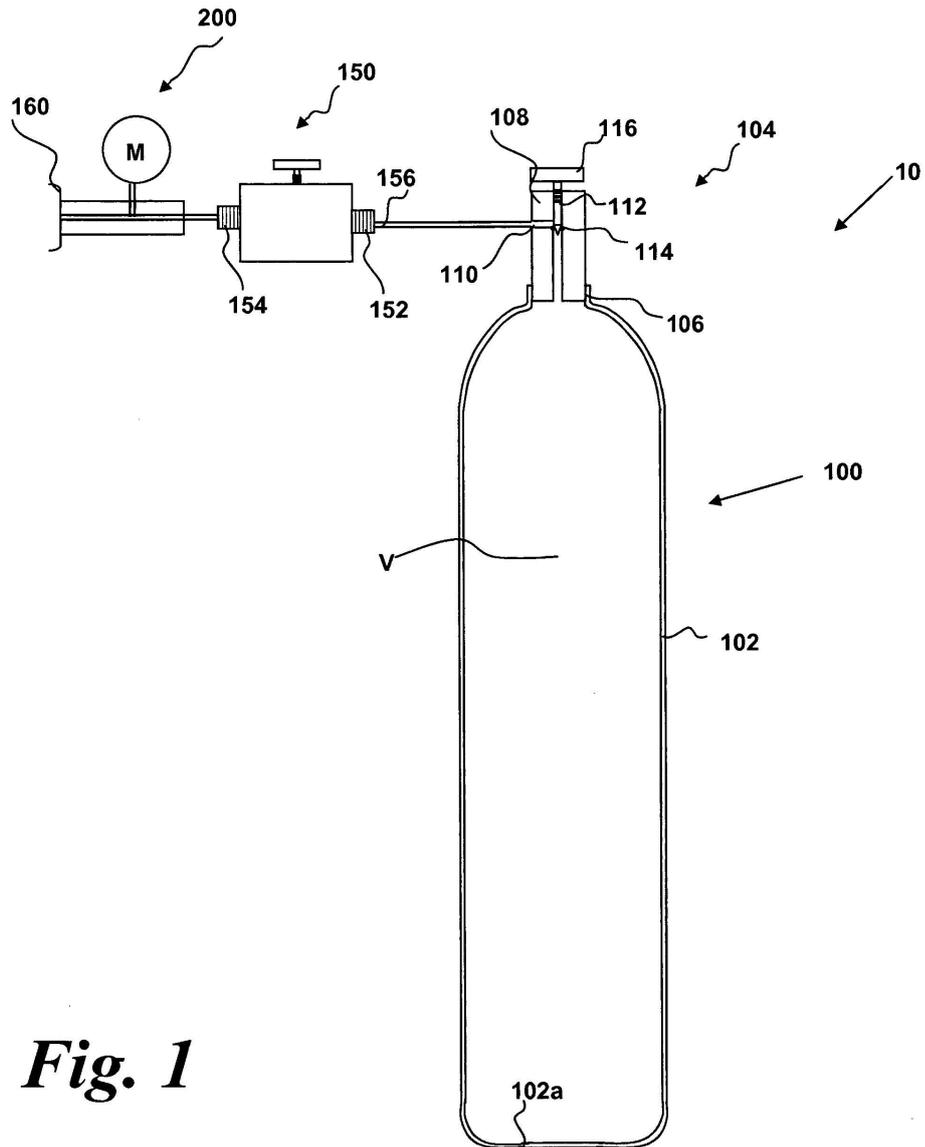


Fig. 1

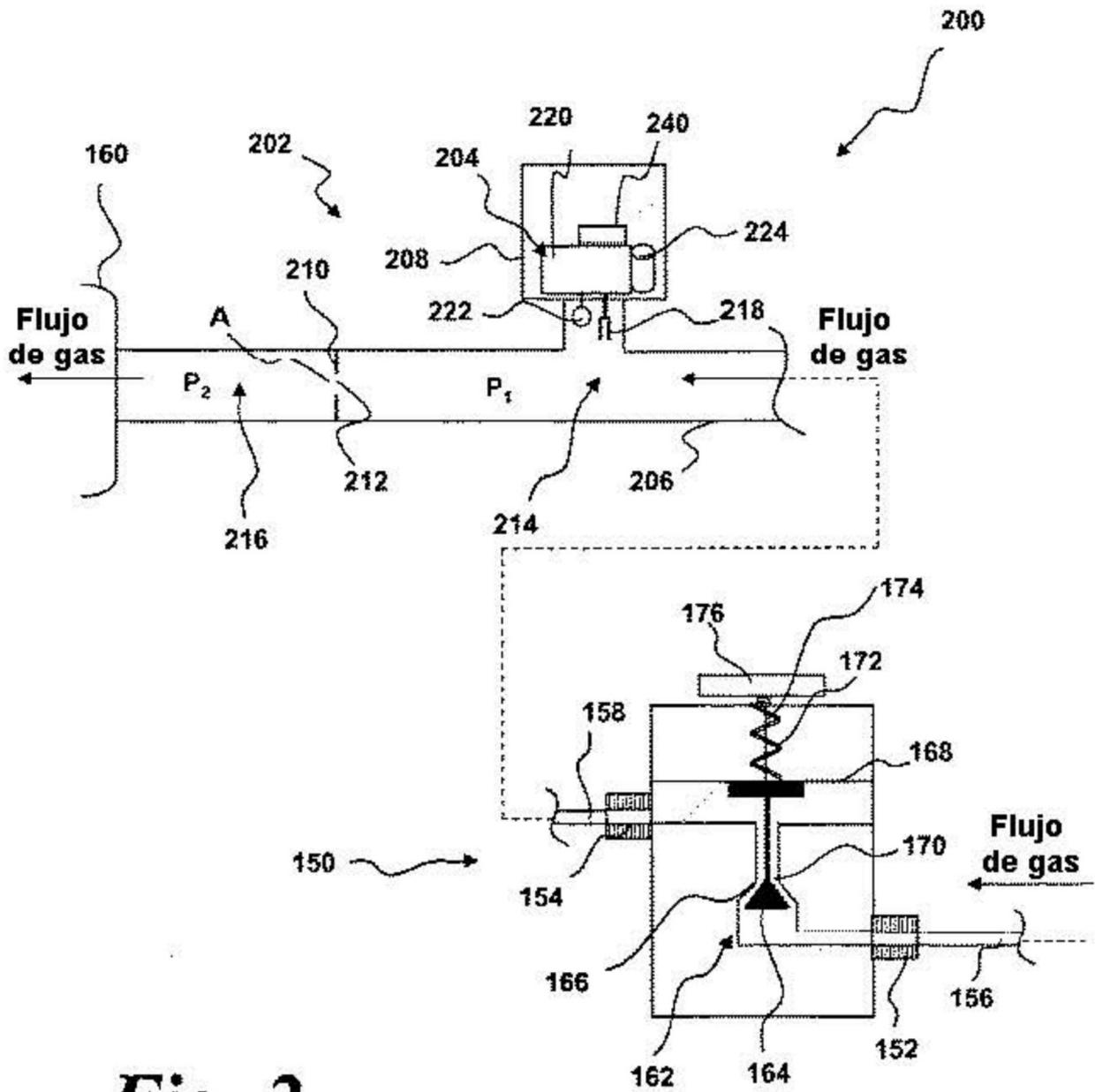


Fig. 2

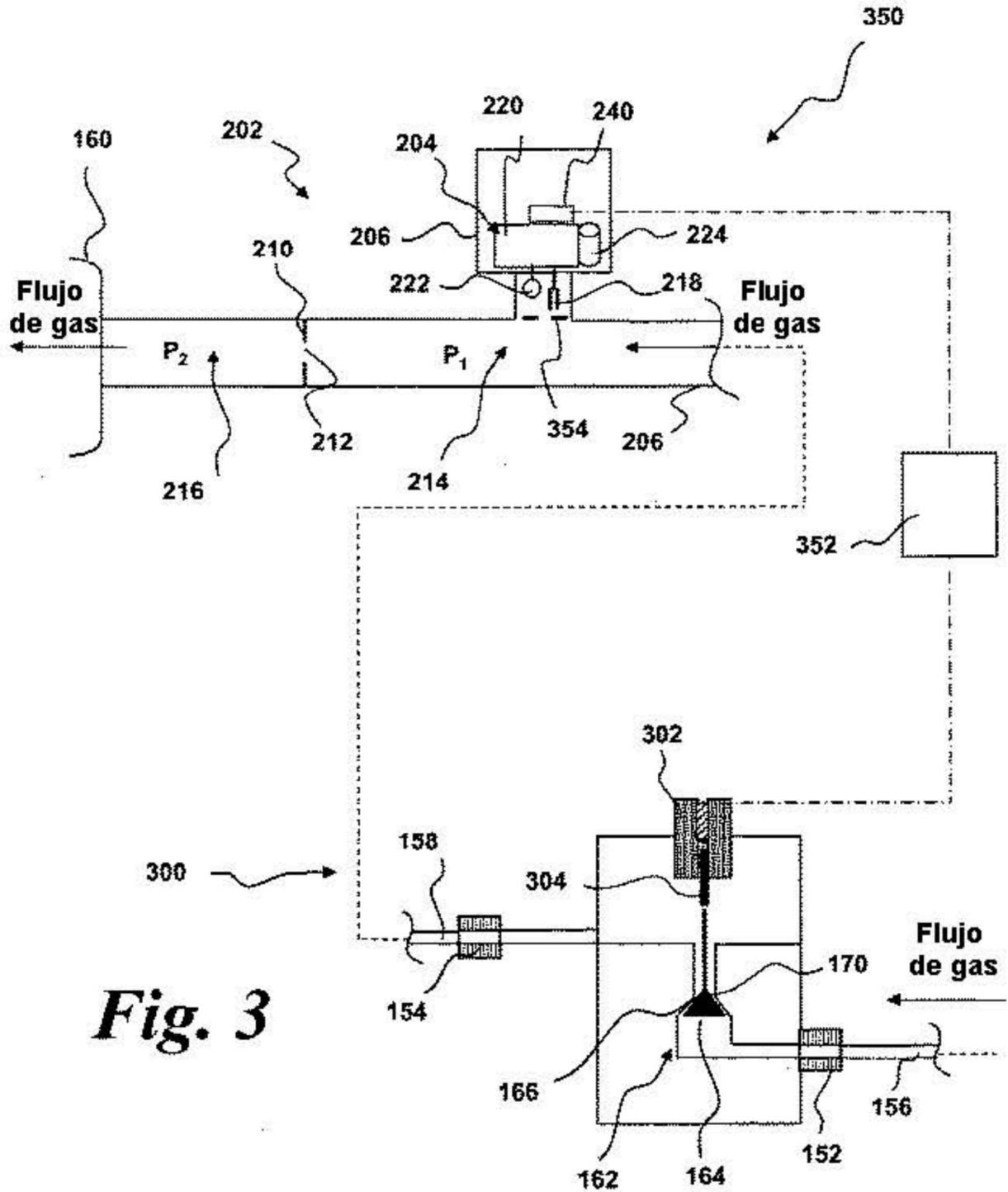


Fig. 3

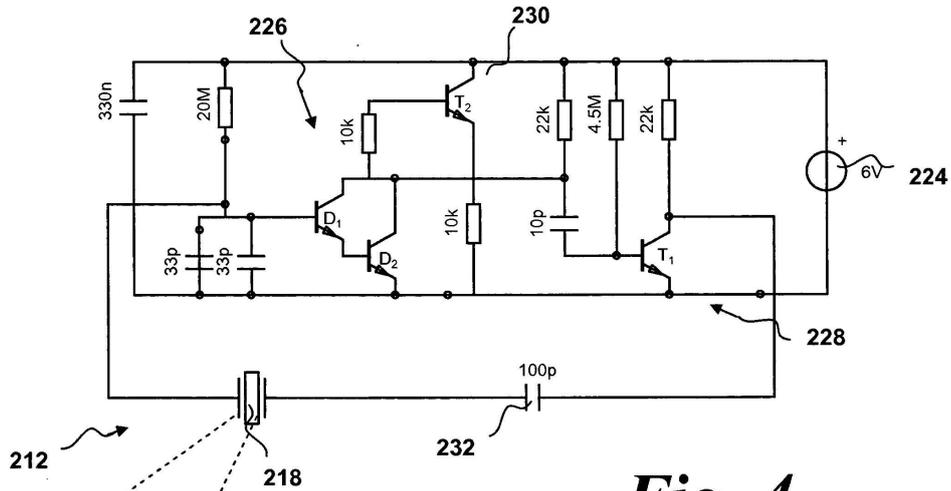


Fig. 4

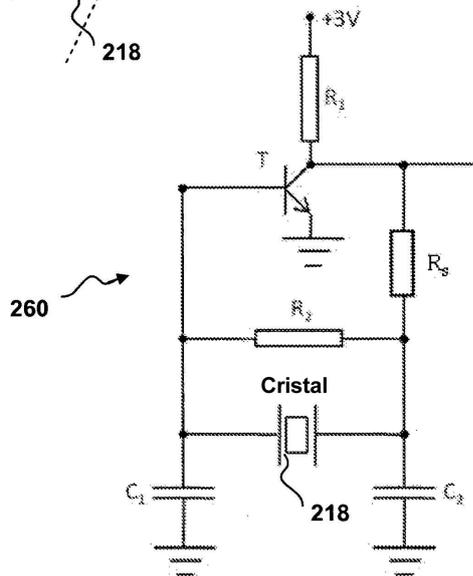


Fig. 5

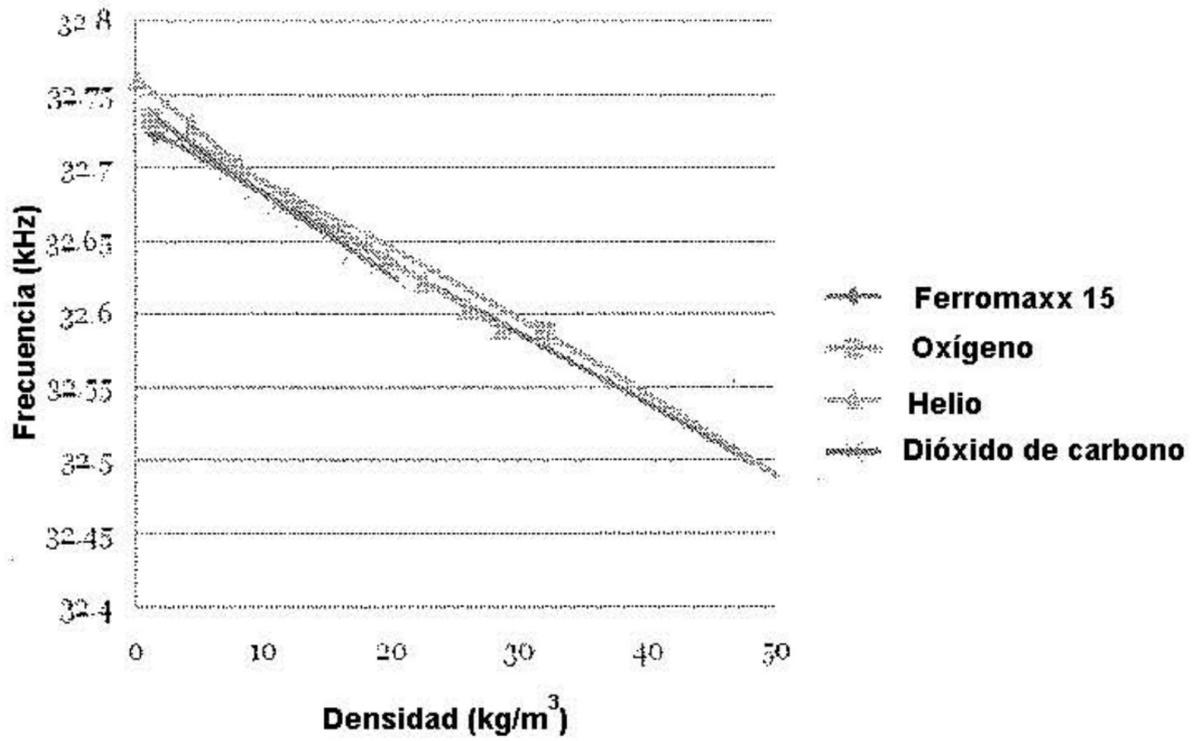


Fig. 6

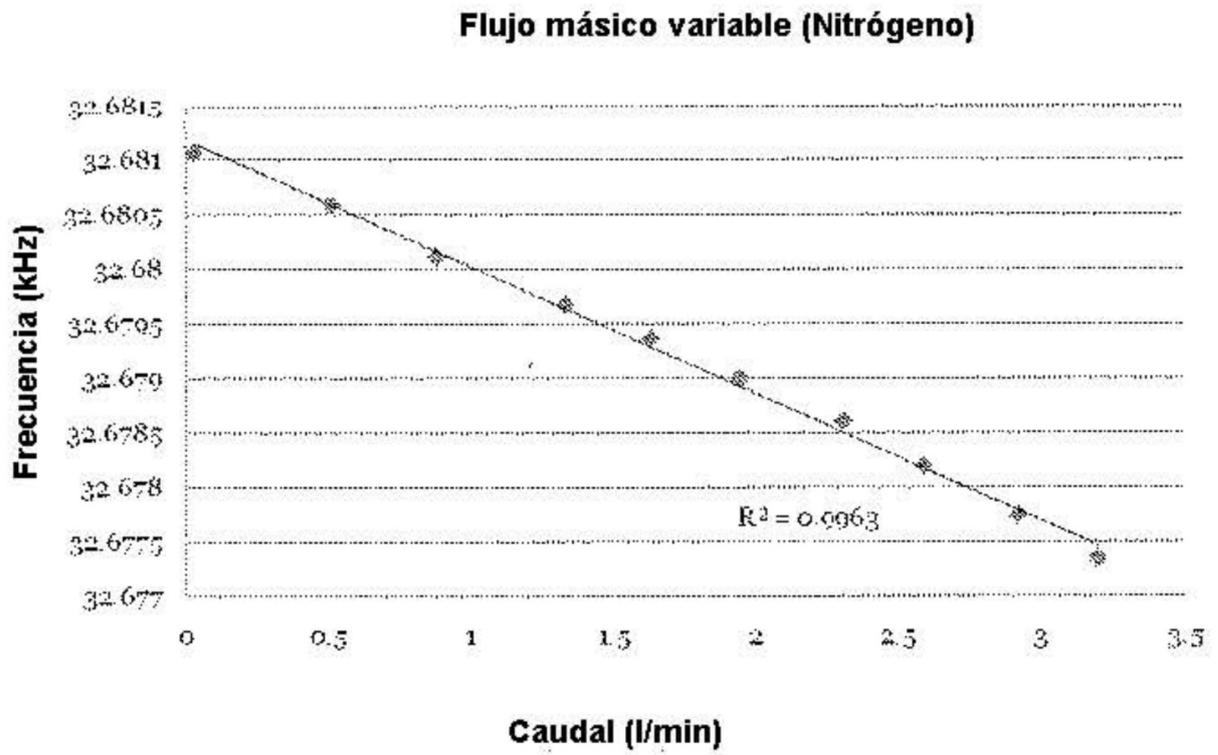


Fig. 7

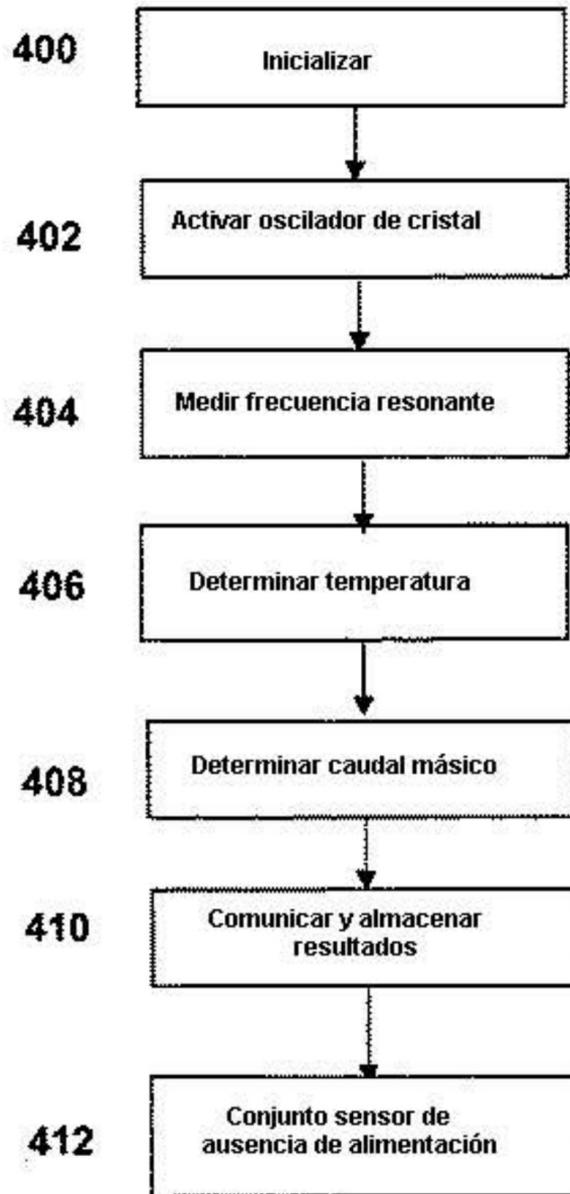


Fig. 8

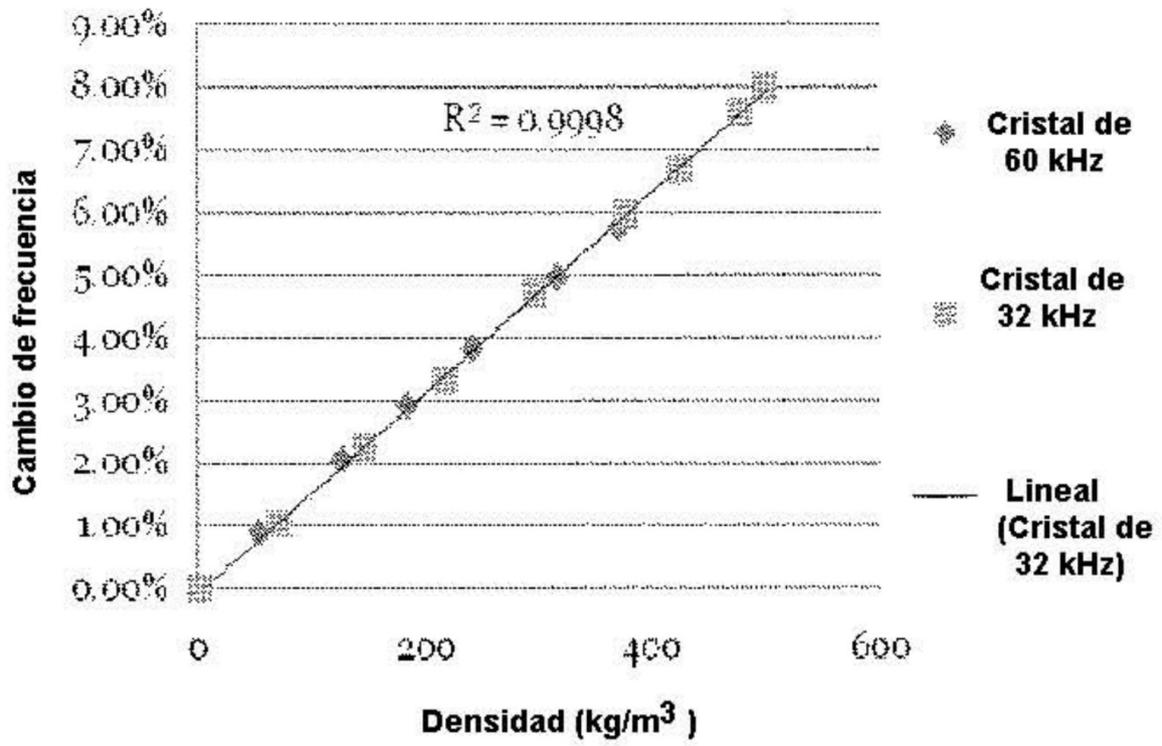


Fig. 9

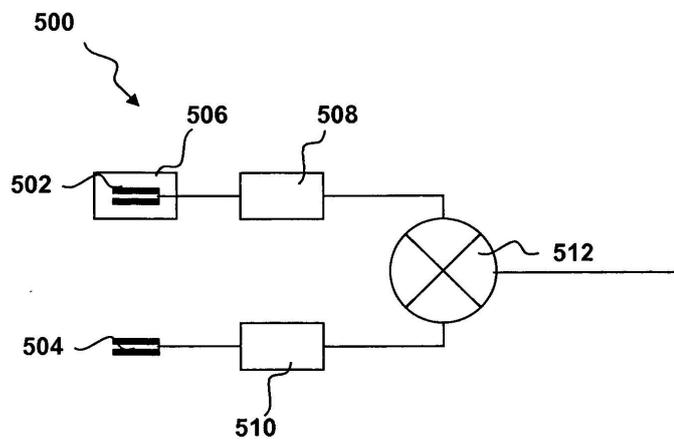


Fig. 10

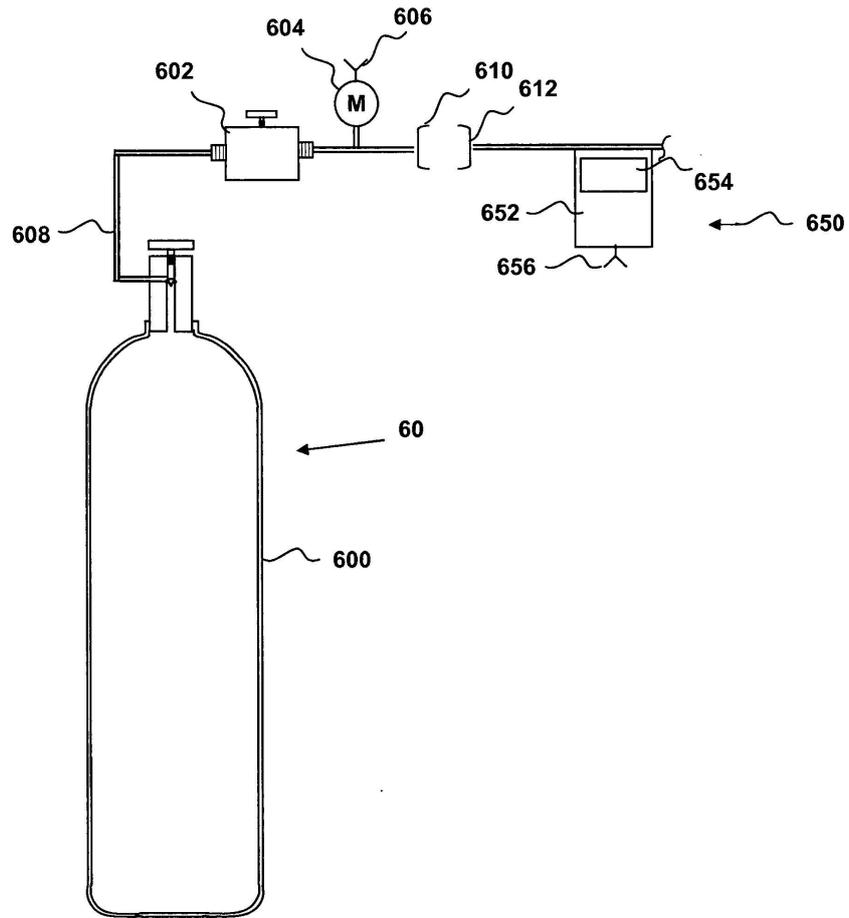


Fig. 11