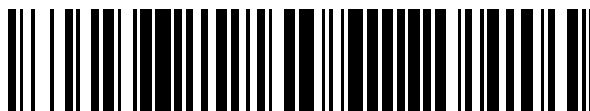


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 749 877**

51 Int. Cl.:

G01N 29/036 (2006.01)

G01N 9/00 (2006.01)

G01N 27/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2010** **E 10192972 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2019** **EP 2458377**

54 Título: **Método y aparato de medición del peso molecular de un gas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.03.2020

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:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 749 877 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 de medición del peso molecular de un gas

5 La presente invención versa sobre un método y un aparato de medición del peso molecular de un gas. Más en particular, la presente invención versa sobre un método y un aparato de medición del peso molecular de un gas (o del peso molecular medio en el caso de una mezcla de gases) que usa un oscilador de cristal piezoeléctrico.

10 Los métodos y los aparatos descritos en la presente memoria pueden ser aplicados a sistemas en los que hay presentes fluidos a presión relativamente alta (por ejemplo, de aproximadamente 1 MPa o mayor), tales como, por ejemplo, el suministro de fluidos en cilindros de alta presión o maquinaria de fabricación que utiliza fluidos a alta presión. La presente invención versa en particular sobre gases "limpios"; es decir, gases con pocos contaminantes o impurezas —como vapor de agua o polvo— o ninguno.

15 La presente invención es particularmente aplicable a gases permanentes. Los gases permanentes son gases que no pueden ser licuados únicamente por presión y que, por ejemplo, pueden ser suministrados en cilindros a presiones de hasta 45 MPa g (siendo MPa g una medida de la presión en megapascales por encima de la presión atmosférica). Ejemplos son el argón y el nitrógeno. Sin embargo, no ha de interpretarse que esto sea limitante, y puede considerarse que el término gas abarca una gama más amplia de gases; por ejemplo, tanto un gas
20 permanente como un vapor de un gas licuado.

En un cilindro de gas comprimido hay presentes vapores de gases licuados encima del líquido. Los gases que se licúan bajo presión cuando son comprimidos para meterlos en un cilindro no son gases permanentes y son descritos con mayor exactitud como gases licuados a presión o como vapores de gases licuados. Como ejemplo, el óxido
25 nitroso se suministra en un cilindro en forma líquida, con una presión de vapor de equilibrio de 4,44 MPa g a 15°C. Tales vapores no son gases permanentes o verdaderos, ya que son licuables por presión o temperatura en torno a las condiciones ambientales.

30 Un cilindro de gas comprimido es un recipiente a presión diseñado para contener gases a altas presiones, es decir, a presiones significativamente mayores que la presión atmosférica. Los cilindros de gas comprimido se usan en una amplia gama de mercados, desde el mercado industrial general de bajo coste, pasando por el mercado médico, hasta aplicaciones de coste más elevado, como la fabricación de productos electrónicos que utilizan gases especiales corrosivos, tóxicos o pirofóricos de gran pureza. Comúnmente, los recipientes de gas a presión comprenden acero, aluminio o materiales compuestos y son capaces de almacenar gases comprimidos, licuados o
35 disueltos con una presión de llenado máxima de hasta 45 MPa g para la mayoría de los gases, y hasta 90 MPa g para gases como hidrógeno y helio.

En muchos casos, es deseable, y a veces crítico, conocer el tipo de gas ya sea dentro de un cilindro o en un punto
40 aguas abajo de un cilindro; por ejemplo, en una tubería durante un proceso de soldadura. Un ejemplo de tal situación sería saber cuándo se producido una purga.

Los pesos moleculares son medidos comúnmente usando espectrómetros de masas. Tales dispositivos miden la proporción entre masa y carga de un gas para determinar el peso molecular directamente. Una disposición usada comúnmente es una fuente de desorción/ionización láser asistida por matriz en combinación con un analizador de
45 masas de tiempo de vuelo (denominado MALDI-TOF). Sin embargo, tales dispositivos son voluminosos, caros e inadecuados para muchas aplicaciones en las que la portabilidad y el coste pueden ser relevantes.

Un tipo alternativo de medidor que puede ser utilizado para medir pesos moleculares es un densímetro de gas vibratorio tal como el mostrado y descrito en "GD series Vibratory Gas Density Meters", Suzuki et al, Yokogawa
50 Technical Report n° 29 (2000). Tal dispositivo comprende un cilindro metálico de pared delgada dispuesto de modo que el gas pueda fluir al interior del cilindro y fuera de él. Hay situados sobre el cilindro dos pares de elementos piezoeléctricos: un par de elementos de excitación y un par de elementos de detección. Se obtiene la densidad del gas a partir de una medición de dos frecuencias de resonancia diferentes para compensar las variaciones debidas a la temperatura. Las frecuencias de resonancia usadas son muy bajas, y del orden de algunos centenares de Hz.

55 La anterior disposición es compleja, relativamente costosa y muy vulnerable a los efectos de la vibración. Esto se debe a que las frecuencias de resonancia usadas son comparables a las frecuencias generadas por las vibraciones externas. Además, se requiere una complicada disposición de excitación y detección para compensar los efectos de la temperatura.

60 "Real-time monitoring of a high-pressure reactor using a gas density sensor", Sensors and Actuators A (agosto de 2010), volumen 162, n° 2, páginas 215-219, da a conocer un sensor de la densidad de un gas para la monitorización de la composición del gas en una reacción de polimerización gaseosa. El sensor de densidad está basado en un resonador de cristal de cuarzo.

65

El documento US-A-5.235.844 divulga un aparato transductor para determinar, *inter alia*, la presión de un gas de prueba de presión, densidad y viscosidad variables. El aparato dado a conocer incluye un oscilador piezoeléctrico de referencia sellado dentro de una cámara que tiene una presión y una densidad de gas fijas, y un oscilador piezoeléctrico de detección expuesto al gas de prueba que rodea al transductor.

5 El documento US-A-3.879.992 da a conocer osciladores de cristal para medir características de los gases como la densidad. El aparato incluye dos conjuntos osciladores, teniendo cada conjunto el mismo coeficiente de acreción de masa, pero coeficientes de temperatura diferentes.

10 El documento US-A-4.734.609 da a conocer un aparato operable para comparar la frecuencia de resonancia de un oscilador de referencia de cristal en forma de diapasón encerrado con la frecuencia de resonancia de un oscilador de cristal en forma de diapasón detector expuesto a un gas circundante.

15 Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método de medición del peso molecular de un gas que usa un oscilador de cristal piezoeléctrico planario de alta frecuencia en contacto con el gas, comprendiendo el método: a) utilizar dicho oscilador de cristal piezoeléctrico para medir la densidad del gas: utilizando un circuito de excitación configurado para obtener una señal de tensión del oscilador de cristal piezoeléctrico para amplificar la señal de tensión y excitar el oscilador de cristal piezoeléctrico con la señal amplificada de tensión de modo que el oscilador de cristal piezoeléctrico resuene en una frecuencia de resonancia única a pesar de los cambios en el factor Q del oscilador de cristal piezoeléctrico; y midiendo dicha frecuencia de resonancia única de dicho cristal piezoeléctrico para determinar la densidad del gas basándose en la aproximación de que un cambio en la frecuencia de resonancia es linealmente proporcional a un cambio en la densidad; y b) determinar, a partir de la densidad, de la presión determinada o predeterminada del gas y de la temperatura determinada o predeterminada del gas, el peso molecular del gas.

25 Al proporcionar tal método, puede determinarse fácilmente el peso molecular de un gas (o el peso molecular medio en el caso de una mezcla gaseosa) usando un oscilador de cristal piezoeléctrico robusto y relativamente económico; por ejemplo, un oscilador de cristal de cuarzo. Tal oscilador funciona a la vez como fuente de excitación (oscilando en respuesta a ser excitado por un circuito de excitación) y como detector (al tener una frecuencia de resonancia única que depende del entorno en el que se sitúa el oscilador).

30 Un oscilador de cristal planario es compacto y robusto y, en consecuencia, se ve relativamente poco afectado por alteraciones ambientales. Además, dado que la frecuencia de oscilación del oscilador es alta (del orden de kHz), el oscilador se ve relativamente poco afectado por vibraciones localizadas (que tienden a tener frecuencias del orden de Hz). Esto se diferencia de las disposiciones conocidas de detección del peso molecular.

En una realización, el método comprende la medición de la presión del gas.

35 En una realización, la presión del gas es medida usando un sensor electrónico de presión. En una realización, el sensor electrónico de presión comprende un sensor de diafragma piezorresistivo.

En una realización, la presión predeterminada del gas es la presión fija de salida de un regulador de gas situado aguas arriba de dicho oscilador.

40 En una realización, la presión predeterminada del gas es la presión atmosférica.

En una realización, el método comprende, además, la medición de la temperatura del gas con un sensor de temperatura. En una realización, el sensor de temperatura comprende un termistor o resistencia eléctrica dependiente de la temperatura.

50 En una realización, el cristal de cuarzo comprende al menos un brazo. En una disposición, dicho oscilador de cristal piezoeléctrico comprende al menos dos brazos planarios.

En una realización, el cristal de cuarzo tiene corte AT o corte SC.

55 En una variación, la superficie del cristal de cuarzo es expuesta directamente al gas.

En una realización, dicho oscilador de cristal piezoeléctrico tiene una frecuencia de resonancia de 32 kHz o mayor.

60 En una realización, el conjunto sensor comprende una fuente de energía. En una disposición, la fuente de energía comprende una batería de iones de litio.

En una realización, el conjunto sensor comprende un procesador.

- Según una segunda realización de la presente invención, se proporciona un medidor para medir el peso molecular de un gas, comprendiendo el medidor un alojamiento que tiene una entrada y un interior para recibir dicho gas que ha de ser medido, un conjunto sensor que comprende un oscilador de cristal piezoeléctrico planario de alta frecuencia situado dentro de dicho alojamiento para que, en uso, el oscilador de cristal piezoeléctrico esté en contacto con dicho gas, comprendiendo además dicho conjunto sensor un circuito de excitación y estando dispuesto dicho conjunto sensor para: excitar el oscilador de cristal piezoeléctrico usando el circuito de excitación, estando configurado el circuito de excitación para obtener una señal de tensión del oscilador de cristal piezoeléctrico, para amplificar la señal de tensión y para excitar el oscilador de cristal piezoeléctrico con la señal amplificada de tensión de modo que el oscilador de cristal piezoeléctrico resuene a una frecuencia de resonancia única a pesar de los cambios en el factor Q del oscilador de cristal piezoeléctrico; medir dicha frecuencia de resonancia única de dicho oscilador de cristal piezoeléctrico para determinar la densidad del gas basándose en la aproximación de que un cambio en la frecuencia de resonancia es linealmente proporcional a un cambio en la densidad; y determinar, a partir de la densidad, de la presión determinada o predeterminada del gas y de la temperatura determinada o predeterminada del gas, el peso molecular del gas.
- Al proporcionar tal disposición, puede determinarse fácilmente el peso molecular de un gas (o el peso molecular medio en el caso de una mezcla gaseosa) usando un oscilador de cristal piezoeléctrico robusto y relativamente económico; por ejemplo, un oscilador de cristal de cuarzo. Tal oscilador funciona a la vez como fuente de excitación (oscilando en respuesta a ser excitado por un circuito de excitación) y como detector (al tener una frecuencia de resonancia única que depende del entorno en el que se sitúa el oscilador).
- Un oscilador de cristal planario es compacto y robusto y, en consecuencia, se ve relativamente poco afectado por alteraciones ambientales. Además, dado que la frecuencia de oscilación del oscilador es alta (del orden de kHz), el oscilador se ve relativamente poco afectado por vibraciones localizadas (que tienden a tener frecuencias del orden de Hz). Esto se diferencia de las disposiciones conocidas de detección del peso molecular.
- En una realización, el medidor comprende, además, uno o más de un circuito de excitación, un procesador y una fuente de energía.
- En una realización, el conjunto sensor comprende un circuito de excitación comprende un par Darlington dispuesto en una configuración de retroalimentación a partir de un amplificador de emisor común.
- En una realización, el medidor comprende, además, un sensor de presión para medir la presión del gas.
- En una realización, dicho sensor de presión es un sensor electrónico de presión. En una realización, el sensor electrónico de presión comprende un sensor de diafragma piezorresistivo.
- En una realización, el medidor está situado aguas abajo de un regulador de presión fija, y la presión del gas tiene un valor predeterminado en función de la salida de dicho regulador de presión fija.
- En una realización, el medidor comprende, además, un orificio restringido aguas arriba de dicha entrada y una salida a la atmósfera aguas abajo de dicha entrada, en el que dicha presión predeterminada del gas es la presión atmosférica.
- En una realización, el método comprende, además, la medición de la temperatura del gas con un sensor de temperatura. En una realización, el sensor de temperatura comprende un termistor o resistencia eléctrica dependiente de la temperatura.
- En una realización, el cristal de cuarzo comprende al menos un brazo. En una variación, el cristal de cuarzo comprende un par de brazos planarios.
- En una realización, el cristal de cuarzo tiene corte AT o corte SC.
- En una variación, la superficie del cristal de cuarzo es expuesta directamente al gas.
- En una realización, el oscilador de cristal piezoeléctrico tiene una frecuencia de resonancia de 32 kHz o mayor.
- En una realización, el medidor comprende un filtro situado en la entrada. En una realización, el filtro tiene un tamaño de poro en el intervalo de 5 a 10 μm .
- En una realización, el medidor comprende un elemento calentador situado dentro del alojamiento. En una realización, el elemento calentador está situado adyacente al oscilador de cristal piezoeléctrico. En una disposición adicional, el elemento calentador está situado en contacto con el oscilador de cristal piezoeléctrico.

En una realización, el conjunto sensor comprende una fuente de energía. En una disposición, la fuente de energía comprende una batería de iones de litio.

En una realización, el conjunto sensor comprende un procesador.

En una realización, el medidor comprende un medio de visualización.

En una realización, el medidor comprende una antena conectada al conjunto sensor y dispuesta para permitir una transmisión inalámbrica de datos procedentes del medidor. En una realización, el medidor es operable para transmitir de forma inalámbrica datos a un medio remoto de visualización.

Según una tercera realización de la presente invención, se proporciona un producto de programa informático ejecutable por un aparato programable de procesamiento que comprende una o más porciones de soporte lógico para realizar las etapas del primer aspecto.

Según una cuarta realización de la presente invención, se proporciona un soporte de almacenamiento utilizable en un ordenador que tiene almacenado en el mismo el producto de programa informático según el cuarto aspecto.

Además, se proporciona una disposición mezcladora de gases, comprendiendo la disposición mezcladora de gases una primera fuente de gas para suministrar un primer gas, una segunda fuente de gas para suministrar un segundo gas diferente de dicho primer gas, y una mezcladora situada aguas abajo de las fuentes de gas primera y segunda y dispuesta, en uso, para mezclar los gases primero y segundo para proporcionar un gas mezclado, comprendiendo la disposición mezcladora de gases, además, un medidor dispuesto para medir el peso molecular medio del gas mezclado y para controlar la proporción relativa de los gases primero y segundo en dicho gas mezclado en respuesta al peso molecular medio medido de dicho gas mezclado.

En una realización, cada una de las fuentes de gas primera y segunda comprende un dispositivo de regulación de la presión dispuesto para controlar selectivamente el flujo de gas procedente la respectiva fuente de gas. En una realización, uno o cada uno de dichos dispositivos de regulación de la presión comprende un regulador de la presión o una válvula.

En una realización, el medidor controla al menos uno de los dispositivos de regulación de la presión en respuesta al peso molecular medio medido del gas mezclado. En una realización, al menos uno de los dispositivos de regulación de la presión es un dispositivo electrónico de regulación de la presión. En una realización, al menos uno de los dispositivos de regulación de la presión comprende una electroválvula.

En una realización, el medidor comprende un conjunto sensor que incluye un oscilador de cristal piezoeléctrico que, en uso, está en contacto con dicho gas mezclado, estando dispuesto dicho conjunto sensor para: excitar el oscilador de cristal piezoeléctrico de modo que el oscilador de cristal piezoeléctrico resuene a una frecuencia de resonancia; medir la frecuencia de resonancia de dicho oscilador de cristal piezoeléctrico para determinar la densidad del gas; y determinar, a partir de la densidad, de la presión determinada y predeterminada del gas y de la temperatura determinada y predeterminada del gas, el peso molecular del gas.

En una realización, el medidor comprende el medidor del segundo aspecto.

Ahora se describirán con detalle realizaciones de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un cilindro de gas y un conjunto regulador;

la Figura 2 es un diagrama esquemático que muestra un conjunto regulador y un medidor del peso molecular según una primera realización de la invención;

la Figura 3 es un diagrama esquemático que muestra un conjunto regulador y un medidor del peso molecular según una segunda realización de la invención;

la Figura 4 es un diagrama esquemático que muestra un conjunto regulador y un medidor del peso molecular según una tercera realización de la invención;

la Figura 5 es un diagrama esquemático que muestra un medidor del peso molecular según una cuarta realización de la invención;

la Figura 6 es un diagrama esquemático de un circuito de excitación para su uso con cualquiera de las realizaciones primera a cuarta;

la Figura 7 es un diagrama esquemático que muestra un circuito de excitación alternativo para su uso con cualquiera de las realizaciones primera a cuarta;

la Figura 8 es un diagrama esquemático que muestra los parámetros de entrada y de salida de un procesador para su uso con cualquiera de las realizaciones primera a cuarta;

la Figura 9 muestra un gráfico de la frecuencia (kHz) del cristal de cuarzo en el eje Y como una función de la densidad (kg/m^3) para varios gases diferentes;

- la Figura 10 muestra un gráfico de la densidad del gas (en kg/m^3) en el eje Y como una función de la presión (MPa g) en el eje X para el argón, el oxígeno y una mezcla de argón:dióxido de carbono:oxígeno a presiones de hasta 30 MPa g;
- 5 la Figura 11 muestra un gráfico de la densidad del gas (en kg/m^3) en el eje Y como una función de la presión (MPa g) en el eje X para el argón, el oxígeno y una mezcla de argón:dióxido de carbono:oxígeno a presiones de hasta 10 MPa g;
- la Figura 12 es un gráfico que muestra el cambio de frecuencia (en Hz) en el eje Y como una función del tiempo (en segundos) en el eje X cuando se purgan los gases;
- 10 la Figura 13 es un gráfico correspondiente a la Figura 13 que muestra el cambio calculado en el peso molecular (en el eje Y) como una función del tiempo (en segundos) en el eje X;
- la Figura 14 es un diagrama de flujo que ilustra un método según una realización descrita;
- la Figura 15 muestra un diagrama esquemático de una quinta realización de la presente invención que muestra una disposición mezcladora de gases;
- 15 la Figura 16 muestra un gráfico del comportamiento de la frecuencia de diferentes tipos de cristales;
- la Figura 17 es un diagrama esquemático que muestra un conjunto sensor alternativo que comprende dos cristales de cuarzo; y
- la Figura 18 muestra una disposición alternativa que usa una unidad electrónica remota de datos.
- 20 La Figura 1 muestra una vista esquemática de un conjunto 10 de cilindro de gas según una realización de la invención.
- La Figura 1 muestra una vista esquemática de una situación en la que puede usarse la presente invención. Se proporcionan un cilindro 100 de gas, un regulador 150 y un medidor 200 del peso molecular.
- 25 El cilindro 100 de gas tiene un cuerpo 102 del cilindro de gas y una válvula 104. El cuerpo 102 del cilindro de gas comprende un recipiente a presión generalmente cilíndrico que tiene una base plana 102a dispuestas para permitir que el conjunto 10 de cilindro de gas se aguante sin soporte sobre una superficie plana.
- 30 El cuerpo 102 del cilindro de gas está formado de acero, aluminio y/o materiales compuestos y está adaptado y dispuesto para soportar presiones internas de hasta aproximadamente 90 MPa g. Hay una abertura 106 situada en un extremo proximal del cuerpo 102 del cilindro de gas frente a la base 102a y comprende una rosca (no mostrada) adaptada para recibir la válvula 104.
- 35 El cilindro 100 de gas define un recipiente a presión que tiene un volumen interno V. El cilindro 100 de gas puede contener cualquier fluido adecuado. Sin embargo, la presente realización está relacionada con gases permanente purificados que están libres de impurezas como polvo y/o humedad, sin estar limitada exclusivamente a ellos. Ejemplos no exhaustivos de tales gases pueden ser: oxígeno, nitrógeno, argón, helio, hidrógeno, metano, trifluoruro de nitrógeno, monóxido de carbono, criptón o neón.
- 40 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 de tornillo para su acoplamiento con la abertura 106 del cuerpo 102 del cilindro de gas. La salida 110 está adaptada y dispuesta para permitir que el cilindro 100 de gas esté conectado a otros componentes en un conjunto de gas; por ejemplo, mangueras, tuberías, o válvulas o reguladores de presión adicionales. La válvula 104 puede comprender, opcionalmente, una VIPR (válvula con reducción de la presión integrada). En esta situación puede omitirse el regulador 150.
- 45 El cuerpo 112 de válvula puede ser ajustado axialmente hacia el asiento 114 de válvula, o alejándose del mismo, por medio de la rotación de una manija asible 116 selectivamente para abrir o cerrar la salida 110. En otras palabras, el movimiento del cuerpo 112 de válvula hacia el asiento 114 de válvula, o alejándose del mismo, controla selectivamente el área del paso de comunicación entre el interior del cuerpo 102 del cilindro de gas y la salida 110. Esto, a su vez, controla el flujo de gas del interior del conjunto 100 de cilindro de gas al entorno externo.
- 50 Hay un regulador 150 situado aguas debajo de la salida 110. El regulador 150 tiene una entrada 152 and una salida 154. La entrada 152 del regulador 150 está conectada a un tubo 156 de entrada que proporciona una vía de comunicación entre la salida 110 del cilindro 100 de gas y el regulador 150. La entrada 152 del regulador 150 está dispuesta para recibir gas a alta presión procedente de la salida 110 del cilindro 100 de gas. Esta puede ser cualquier presión adecuada; sin embargo, generalmente, la presión del gas que sale de la salida 110 superará los 2 MPa y es más probable que esté en las inmediaciones de 10 - 90 MPa.
- 55 La salida 154 está conectada a un tubo 158 de salida. Hay un acoplamiento 160 situado en el extremo distal del tubo 158 de salida y está adaptado para su conexión a tuberías o dispositivos adicionales (no mostrados) para los cuales se requiere el gas.
- 60 Hay un medidor 200 del peso molecular situado en comunicación con el tubo 158 de salida entre la salida 154 y el acoplamiento 160. El medidor 200 del peso molecular está situado inmediatamente aguas abajo del regulador 150 y
- 65

está dispuesto para determinar el peso molecular del gas (o el peso molecular medio de una mezcla de gases) aguas abajo del regulador 150.

5 En la Figura 2 se muestran con mayor detalle el regulador 150 y el medidor 200 del peso molecular según una primera realización de la presente invención.

En esta realización, el regulador 150 es un regulador de un solo diafragma. Sin embargo, la persona experta sería inmediatamente consciente de variaciones que podrían usarse con la presente invención; por ejemplo, un regulador de dos diafragmas u otra disposición.

10 El regulador 150 comprende una región 162 de válvula en comunicación con la entrada 152 y la salida 154. La región 162 de válvulas comprende una válvula 164 de resorte situada adyacente a un asiento 166 de válvula. La válvula 164 de resorte está conectada a un diafragma 168 que está configurado para permitir el movimiento de traslación de la válvula 164 de resorte hacia el asiento 166 de válvula y alejándose del mismo para cerrar y abrir, respectivamente, una abertura 170 entre los mismos.

El diafragma 168 es empujado de forma resiliente por el muelle 172 situado en torno a un árbol 174.

20 El regulador 150 es operable para recibir gas de la salida 110 a toda la presión del cilindro (por ejemplo, 10 MPa), pero para suministrar a la salida 154 gas a una baja presión fija sustancialmente constante (por ejemplo, 500 kPa). Esto se logra mediante un mecanismo de retroalimentación por el que la presión del gas aguas abajo de la abertura 170 es operable para actuar sobre el diafragma 168 en oposición a la fuerza de empuje del muelle 172. En la realización de la Figura 2, el regulador 150 es un regulador de presión fija y está dispuesto para suministrar gas desde la salida 154 a una presión fijada conocida. La presión se determina por la fuerza relativa de empuje del muelle 172.

30 En el supuesto caso de que la presión del gas en la región adyacente al diafragma 168 superara el nivel especificado, el diafragma 168 es operable para moverse hacia arriba (con respecto a la Figura 2). Como resultado, la válvula 164 de resorte se acerca más al asiento 166 de válvula, reduciendo el tamaño de la abertura 170 y, en consecuencia, restringiendo el flujo de gas de la entrada 152 a la salida 154. En general, las fuerzas opuestas de la resistencia del muelle 172 y la presión del gas darán lugar a una posición de equilibrio del diafragma y, en consecuencia, al suministro de una presión constante del gas en la salida 154.

35 El medidor 200 del peso molecular comprende un alojamiento 202 y un conjunto sensor 204. El alojamiento 202 puede comprender cualquier material adecuado; por ejemplo, acero, aluminio o materiales compuestos. El alojamiento tiene un interior 206 que está en comunicación con el interior del tubo 158 de salida a través de una tubería corta 208 de alimentación. En consecuencia, el interior 206 del alojamiento 202 se encuentra a la misma presión que el interior del tubo 158 de salida. En uso, el alojamiento 202 está generalmente sellado y aislado de la atmósfera externa. El medidor 200 del peso molecular está dispuesto para medir el peso molecular del gas dentro del alojamiento 202. Alternativamente, el medidor 200 del peso molecular puede medir el peso molecular medio de una mezcla homogénea de gases dentro del alojamiento 202.

45 Alternativamente, el alojamiento 202 podría ser proporcionado como parte del tubo 158 de salida. Por ejemplo, podría ensancharse una parte del tubo 158 de salida para acomodar al conjunto sensor 204. Alternativamente, solo parte del conjunto sensor 204 puede estar situada dentro del tubo 158, quedan el resto situado fuera o separado del mismo.

50 Además, el alojamiento 202 puede formar parte integral del regulador 150. Por ejemplo, el conjunto sensor 204 puede estar situado completamente dentro de la salida 154 del regulador 150. La persona experta sería inmediatamente consciente de variaciones y alternativas que se encuentran dentro del alcance de la presente invención.

55 El conjunto sensor 204 comprende un oscilador 210 de cristal de cuarzo conectado a un circuito 212 de excitación, a un sensor 214 de temperatura y a una batería 216. Estos componentes están situados dentro del alojamiento 202.

60 El circuito 212 de excitación y el oscilador 210 de cristal de cuarzo serán descritos en detalle posteriormente con referencia a las Figuras 6 y 7. El sensor 214 de temperatura comprende un termistor. Puede usarse cualquier termistor adecuado. No se requiere del termistor una gran precisión. Por ejemplo, una precisión de 0,5°C es adecuada para esta realización. En consecuencia, pueden usarse componentes económicos y pequeños.

También se puede proporcionar un procesador 230 (mostrado y descrito posteriormente con referencia a la Figura 8), ya sea por separado o como parte del circuito 212 de excitación.

65 En esta disposición, el oscilador 210 de cristal de cuarzo se encuentra constantemente bajo presión isostática dentro del alojamiento 202 del medidor 200 del peso molecular y, en consecuencia, no experimenta un gradiente de

presión. En otras palabras, cualquier tensión mecánica originada en la diferencia de presión entre la atmósfera externa y los componentes internos del medidor 200 del peso molecular es expresada en el alojamiento 202.

5 Sin embargo, no es preciso que así sea. Por ejemplo, puede ser que solo el oscilador 210 de cristal de cuarzo y el sensor 214 de temperatura estén situados dentro del alojamiento 202, estando situado el resto del conjunto sensor 204 externamente al mismo.

10 Los inventores han descubierto que solo algunos componentes del conjunto sensor 204 son sensibles a la presión elevada. En particular, los componentes mayores, como las baterías, pueden ser susceptibles a las presiones elevadas. Sin embargo, se ha descubierto que las baterías de iones de litio rinden particularmente bien bajo las altas presiones encontradas dentro del cilindro 100 de gas. En consecuencia, la batería 216 comprende celdas de iones de litio. Sin embargo, la persona experta contemplaría inmediatamente fuentes alternativas adecuadas de energía.

15 La ubicación del conjunto sensor 204 completamente dentro del alojamiento 202 proporciona flexibilidad adicional cuando se configuran los reguladores 150. En particular, la ubicación de componentes electrónicos relativamente frágiles completamente dentro de las fuertes paredes metálicas o de material compuesto del alojamiento 202 proporciona una protección considerable contra daños medioambientales o accidentales. Esto resulta particularmente importante, por ejemplo, en depósitos o áreas de almacenamiento, en los que los cilindros 100 de gas que comprenden los reguladores 150 están situados adyacentes a cilindros de gas, a maquinaria pesada o a superficies rugosas.

20 Además, la ubicación interna del conjunto sensor 204 protege a estos componentes de condiciones ambientales como la sal, el agua y otros contaminantes. Esto permitiría, por ejemplo, que se usara un circuito de alta impedancia que sea muy sensible a daños por sal y agua como parte del conjunto sensor 204.

25 Los beneficios de la ubicación interna del conjunto sensor 204 son exclusivos de dispositivos sensores de estado sólido como el oscilador 210 de cristal de cuarzo. Por ejemplo, un sensor convencional de presión, tal como un medidor de Bourdon, no puede ser ubicado de esta manera. Aunque un sensor a base de cristal puede operar totalmente sumergido en gas a presión constante, un sensor convencional de presión es incapaz de medir la presión isostática y requiere un gradiente de presión para funcionar. En consecuencia, debe situarse un manómetro convencional entre la alta presión que ha de ser medida y la atmósfera. Esto aumenta el riesgo de daño a los componentes externos del medidor 200 del peso molecular.

30 En la Figura 3 se muestra una segunda realización de la invención. A las características de la segunda realización mostradas en la Figura 3 que son comunes con la primera realización de la Figura 2 se les asignan los mismos números de referencia y no volverán a ser descritas aquí.

35 En la realización de la Figura 3, el regulador 250 difiere del regulador 150 de la realización de la Figura 2 en que el regulador 250 está dispuesto para proporcionar una presión variable de salida del gas de la salida 154.

40 En este sentido, se proporciona una manija asible 252 para permitir a un usuario ajustar la fuerza de empuje del resorte 172. Esto mueve la posición de equilibrio del diafragma 168 y, como resultado, regula la separación de equilibrio entre la válvula 164 de resorte and el asiento 166 de válvula. Esto permite la regulación de las dimensiones de la abertura 170 a través de la cual puede pasar el flujo de gas a alta presión desde la salida 110.

45 Normalmente, la presión puede variar en hasta aproximadamente 2 MPa g. Sin embargo, la persona experta será inmediatamente consciente de disposiciones y presiones alternativas que podrían suministrarse mediante el regulador 250. Además, el regulador puede comprender etapas secundarias para su uso en situaciones —como la soldadura de oxiacetileno— en las que se requiere una regulación precisa de la presión.

50 La segunda realización comprende un medidor 300 del peso molecular. A los componentes del medidor 300 del peso molecular en común con el medidor 200 del peso molecular se les asignan los mismos números de referencia en aras de la claridad.

55 El medidor 300 del peso molecular es sustancialmente similar al medidor 200 del peso molecular de la primera realización. Sin embargo, el medidor 300 del peso molecular comprende, además, un sensor 302 de presión situado dentro del alojamiento 202. Puede usarse cualquier sensor de presión adecuado.

60 Por ejemplo, el sensor 302 de presión puede comprender un sensor de diafragma piezorresistivo. Tal sensor de presión normalmente comprende un diafragma de silicio mecanizado que tiene formadas en el mismo galgas extensométricas piezorresistivas. El diafragma está fusionado con una placa posterior de silicio o de vidrio. Comúnmente, las galgas extensométricas están conectadas a un puente de Wheatstone, cuya salida es directamente proporciona a la presión medida. La salida del sensor 302 de presión puede ser introducida entonces en el procesador 230.

65

La persona experta será inmediatamente consciente de sensores electrónicos de presión alternativos que podrían usarse con la presente invención. En otras palabras, el sensor 302 de presión puede comprender cualquier sensor capaz de medir la presión de un gas y de proporcionar una salida electrónica de esa medición.

5 En esta disposición, el oscilador 210 de cristal de cuarzo y el sensor 302 de presión están constantemente bajo una presión isostática dentro del alojamiento 202 del medidor 200 del peso molecular y, en consecuencia, no experimentan un gradiente de presión. En otras palabras, cualquier tensión mecánica originada en la diferencia de presión entre la atmósfera externa y los componentes internos del medidor 300 del peso molecular es expresada en el alojamiento 202.

10 En la Figura 4 se muestra una tercera realización de la invención. A las características de la tercera realización mostradas en la Figura 4 que son comunes con la segunda realización de la Figura 3 se les asignan los mismos números de referencia y no volverán a ser descritas aquí.

15 En la realización de la Figura 4, el regulador 250 corresponde al regulador 250 de la segunda realización y está dispuesto para proporcionar una presión variable de salida del gas de la salida 154. Los componentes del regulador 250 ya han sido descritos y no serán descritos adicionalmente aquí.

20 La tercera realización comprende un medidor 400 del peso molecular. A los componentes del medidor 400 del peso molecular en común con los medidores 200, 300 del peso molecular los mismos números de referencia en aras de la claridad.

25 El medidor 400 del peso molecular es sustancialmente similar a los medidores 200, 300 del peso molecular de las realizaciones primera y segunda. Sin embargo, el medidor 400 del peso molecular es operable con un regulador 250 de presión variable sin requerir el sensor 302 de presión de la segunda realización.

30 El medidor 400 del peso molecular comprende un conducto 402. El interior del conducto 402 está en comunicación con el interior 206 del alojamiento 202. Un extremo proximal del conducto 402 comprende un orificio 404 de restricción situado inmediatamente aguas abajo de la tubería corta 208 y en comunicación con la salida 154. El orificio 404 de restricción está dispuesto para proporcionar una restricción física para limitar la presión del gas que entra en el conducto 402 desde la salida 154. Por lo tanto, la presión del gas dentro del conducto 402 aguas abajo del orificio 404 de restricción es considerablemente menor que en la salida 154.

35 Un extremo distal 406 del conducto 402 está abierto a la atmósfera. El extremo distal 406 está situado en el extremo de una sección del conducto 402 aguas abajo del alojamiento 202. Para aplicaciones típicas, un conducto 402 adecuado tendría un diámetro de aproximadamente 2 mm y una longitud de aproximadamente 100 mm. Esto es para garantizar que no haya retrodifusión alguna de gases atmosféricos al interior 206 del alojamiento 202 para evitar errores potenciales en la medición.

40 Aunque el conducto 402 es mostrado esencialmente lineal en la Figura 4, el conducto 402 podría tener cualquier forma adecuada. Por ejemplo, una disposición más compacta sería disponer el conducto 402 dándole una forma laberíntica o en espiral para encajar el conducto en un espacio más pequeño.

45 En consecuencia, el efecto combinado del orificio 404 de restricción y del extremo distal remoto 406 del conducto 402 (que se encuentra a la presión atmosférica) es que el interior 206 del alojamiento 202 siempre se encuentra a la presión atmosférica o cercano a la misma. Esto es con independencia de la presión del gas aguas abajo de la salida 154 y aguas arriba del orificio 404 de restricción.

50 Como resultado, no se requiere ningún manómetro, dado que se supone que la presión se encuentra siempre a la presión atmosférica. En el supuesto caso de que se requiriera una corrección (por ejemplo, cuando se opere a altitudes elevadas en las que la presión atmosférica es menor), esta puede ser introducida manualmente en el procesador 230.

55 Por lo tanto, en condiciones particulares, no se requiere ningún sensor de presión, dado que el valor de la presión puede ser establecido automáticamente o introducido manualmente por un usuario, y el valor resultante de presión usado por el procesador 230 para determinar el peso molecular del gas o de los gases que estén siendo detectados.

60 En la Figura 5 se muestra una cuarta realización de la presente invención. La cuarta realización está relacionada con un medidor 500 del peso molecular. El medidor 500 del peso molecular puede ser portátil y puede ser colocado en ubicaciones en las que se desee determinar rápida y fácilmente el tipo de gas que hay en una ubicación específica; por ejemplo, dentro de una tubería durante un proceso de soldadura orbital. Alternativamente, el medidor 500 del peso molecular puede ser colocado a la salida de una tubería para detectar, por ejemplo, la purga de un tipo de gas con otro tipo de gas.

El medidor 500 del peso molecular comprende un alojamiento 502. El alojamiento 502 tiene paredes 504 que delimitan una abertura 506. La abertura 506 proporciona una vía de comunicación entre el interior y el exterior del alojamiento 504. Los componentes restantes del medidor 500 del peso molecular son similares a los de los medidores 200, 300, 400 del peso molecular de las realizaciones primera a tercera y no serán descritos adicionalmente aquí.

Para que el oscilador 210 de cristal de cuarzo proporcione una medición precisa, el oscilador 210 de cristal de cuarzo debe ser mantenido libre de suciedad, humedad u otra contaminación. Aunque esto no es un problema para gases envasados suministrados comercialmente (que son sumamente limpios), el medidor 500 del peso molecular puede ser usado en situaciones en las que la contaminación ambiental pueda ser un problema significativo.

En consecuencia, el medidor 500 del peso molecular está dotado de un filtro 508 situado en la abertura 506. El filtro 508 puede ser cualquier tamaño adecuado de poro. Los tamaños de poro que se encuentran en el intervalo de 5 - 10 μm son particularmente adecuados para esta aplicación. El filtro 508 (o un filtro similar) puede ser aplicado a cualquiera de las realizaciones primera a tercera descritas previamente.

Alternativamente, se puede omitir el filtro 508 si la abertura 506 es suficientemente pequeña para evitar la entrada de suciedad u otros contaminantes. Por ejemplo, un tamaño de abertura de 0,25 mm sería adecuado para un uso sin filtro.

Además, el medidor 500 del peso molecular puede estar expuesto a entornos en los que haya presente humedad. Puede producirse una medición incorrecta si se condensa humedad sobre el oscilador 210 de cristal de cuarzo. Por lo tanto, para mitigar estos efectos, puede proporcionarse un calentador 510 adyacente al oscilador 210 de cristal de cuarzo para garantizar que no se condense humedad sobre el oscilador 210. El calentador 510 puede comprender un solo cable calentado o puede comprender un elemento resistivo macizo para convertir energía eléctrica en energía térmica. El calentador 510 puede estar situado en contacto con el oscilador 210 de cristal de cuarzo.

Si se usa un calentador, es deseable que el sensor 214 de temperatura esté situado tan cerca como sea practicable del oscilador 210 de cristal de cuarzo para que pueda efectuarse una medición precisa de la temperatura del gas que rodea el oscilador 210 de cristal de cuarzo. El calentador 510, o cualquier otro calentador adecuado, también puede ser usado con cualquiera de las realizaciones primera a tercera.

En la Figura 5 se muestra el medidor 500 del peso molecular, que comprende un sensor 302 de presión, en común con el medidor 300 del peso molecular de la segunda realización. Tal disposición puede ser beneficiosa cuando se use dentro de un aparato presurizado, tal como tuberías de alta presión o dentro de recipientes a presión.

Sin embargo, en situaciones en las que se conozca la presión con un grado general de precisión, el sensor 302 de presión puede ser omitido a la manera de las realizaciones primera y tercera. Tal situación puede surgir cuando el medidor 500 del peso molecular es usado a presión atmosférica ambiente; por ejemplo, cuando se mide el peso molecular (o el peso molecular medio) de gas que sale de una tubería a la atmósfera, o dentro de tuberías a la presión atmosférica. En esta situación, no se necesita ningún sensor de presión, dado que el valor de la presión puede ser establecido automáticamente o introducido manualmente por un usuario, y el valor resultante de presión usado por el procesador 230 para determinar el peso molecular del gas o de los gases que estén siendo detectados.

Cualquiera de las realizaciones primera a cuarta puede comprender, además, un medio de visualización (no mostrado) para mostrar al usuario los resultados de las mediciones efectuadas en el gas detectado. Alternativamente, el medio de visualización puede estar situado alejado de los medidores 200, 300, 400, 500 del peso molecular y los datos relevantes pueden ser comunicados de manera remota.

Por ejemplo, una cualquiera de las realizaciones primera a cuarta puede comprender, además, una antena (no mostrada) para la comunicación remota, por ejemplo, con una estación base. Esto se expondrá posteriormente. En este caso, la antena puede estar situada fuera del alojamiento 202 y conectada al conjunto sensor 204 por medio de un cable o de un conector equivalente.

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

Alternativamente, puede implementarse una comunicación a través de un solo hilo. La comunicación por un solo hilo necesita solamente un único conductor metálico para comunicarse: el recorrido de "retorno" del circuito es proporcionado por acoplamiento capacitivo a través del aire entre los dispositivos en comunicación. La persona experta será inmediatamente consciente de alternativas de la antena (y del soporte físico de transmisión asociado) que podrían usarse con las realizaciones expuestas en la presente memoria.

Por ejemplo, la comunicación puede efectuarse por medio de una transmisión acústica desde el interior del cilindro 100. Un transmisor situado dentro del alojamiento 202 puede efectuar una transmisión acústica. El transmisor puede comprender, por ejemplo, un simple resonador piezoeléctrico de frecuencia fija.

5 También se requiere un receptor complementario, y este componente puede estar situado alejado del medidor 200, 300, 400, 500 del peso molecular, y puede comprender un soporte físico tal como, por ejemplo, un detector de tono de bucle de sincronización de fase integrado con un micrófono.

10 Ahora se describirá con mayor detalle el conjunto sensor 204 con referencia a las Figures 6 y 7. El oscilador 210 de cristal de cuarzo comprende una sección planaria de cuarzo cortado. El cuarzo demuestra un comportamiento piezoeléctrico; es decir, la aplicación de una tensión eléctrica entre los extremos del cristal hace que el cristal cambie de forma, generando una fuerza mecánica. Por el contrario, una fuerza mecánica aplicada al cristal produce una carga eléctrica.

15 Dos superficies paralelas del oscilador 210 de cristal de cuarzo están metalizadas para proporcionar conexiones eléctricas entre los extremos del bloque de cristal. Cuando se aplica una tensión eléctrica entre los extremos del cristal por medio de los contactos metálicos, el cristal cambia de forma. Mediante la aplicación de una tensión alterna al cristal, se puede hacer que el cristal oscile.

20 El tamaño físico y el grosor del cristal de cuarzo determina la frecuencia característica o de resonancia del cristal de cuarzo. De hecho, la frecuencia característica o de resonancia del cristal 210 es inversamente proporcional al grosor físico entre las dos superficies metalizadas. Los osciladores de cristal de cuarzo son muy conocidos en la técnica y, por ello, la estructura del oscilador 210 de cristal de cuarzo no será descrita adicionalmente aquí.

25 Además, la frecuencia de la vibración de resonancia de un cristal de cuarzo variará dependiendo del entorno en el que esté situado el cristal. En el vacío, el cristal tendrá una frecuencia particular. Sin embargo, esta frecuencia variará en diferentes entornos.. Por ejemplo, en un fluido, la vibración del cristal será atenuada por las moléculas circundantes, y esto afectará a la frecuencia de resonancia y a la energía requerida para hacer que el cristal oscile con una amplitud dada.

30 Además, la deposición de materiales circundantes sobre el cristal afectará a la masa del cristal en vibración, alterando la frecuencia de resonancia. Tal adsorción o deposición de material forma la base de los analizadores selectivos de gas comúnmente usados en los que se forma una capa absorbente sobre el cristal, que aumenta en masa a medida que se absorbe el gas.

35 Sin embargo, en el presente caso, no se aplica ningún recubrimiento al oscilador 210 de cristal de cuarzo. De hecho, la adsorción o deposición de material en el oscilador 210 de cristal de cuarzo es poco deseable en el presente caso, dado que la precisión de la medición puede verse afectada.

40 Según se muestra en la Figura 6, el oscilador 210 de cristal de cuarzo de la presente realización tiene forma de diapason y comprende un par de brazos 210a de aproximadamente 5mm de longitud dispuestos para oscilar a una frecuencia de resonancia de 32,768 kHz. Los brazos 210a están formados en la sección planaria del cuarzo. Los brazos 210a del diapason oscilan normalmente en su modo fundamental, en el que se acercan y se alejan sincrónicamente entre sí a su frecuencia de resonancia.

45 El cuarzo fundido (o no cristalino) tiene un coeficiente de expansión dependiente de la temperatura muy bajo, y una bajo coeficiente de elasticidad. Esto reduce la dependencia de la frecuencia fundamental con respecto a la temperatura y, según se mostrará, los efectos de la temperatura son mínimos.

50 Además, es deseable usar cuarzo con corte AT o corte SC. En otras palabras, la sección planaria del cuarzo es cortada a ángulos particulares, para que pueda disponerse que el coeficiente de temperatura de la frecuencia de oscilación sea parabólico, con un pico ancho en torno a la temperatura ambiente. Por lo tanto, se puede disponerse el oscilador de cristal de modo que la pendiente en la parte superior del pico sea precisamente igual a cero.

55 Tales cristales de cuarzo están disponibles comúnmente a un coste relativamente bajo. A diferencia de la mayoría de osciladores de cristal de cuarzo que se usan al vacío, en la presente realización el oscilador 210 de cristal de cuarzo está expuesto al gas a presión en el alojamiento 202.

60 En la Figura 6 se muestra el circuito 212 de excitación para excitar el oscilador 210 de cristal de cuarzo. El circuito 212 de excitación debe satisfacer varios criterios específicos. En primer lugar, el oscilador 210 de cristal de cuarzo de la presente invención puede ser expuesto a un intervalo de presiones de gas; potencialmente, las presiones pueden variar entre la presión atmosférica (cuando el cilindro 100 de gas está vacío) y aproximadamente 90 MPa g si el cilindro de gas contiene un gas a presión como el hidrógeno. Así, se requiere que el oscilador 210 de cristal de cuarzo opere (y que vuelva a ponerse en funcionamiento después de un periodo sin uso) con un amplio intervalo de presiones.

65

En consecuencia, el factor de calidad (Q) del oscilador 210 de cristal de cuarzo variará considerablemente durante su uso. El factor Q es un parámetro adimensional relacionado con la tasa de atenuación de un oscilador o resonador. De forma equivalente, puede caracterizar el ancho de banda de un resonador con respecto a su frecuencia central.

En general, cuanto mayor sea el factor Q de un oscilador, menor será la tasa de pérdida de energía con respecto a la energía almacenada del oscilador. En otras palabras, las oscilaciones de un oscilador de factor Q elevado se reducen en amplitud más lentamente en ausencia de una fuerza externa. Los resonadores excitados sinusoidalmente que tienen factores Q elevados resuenan con amplitudes mayores a la frecuencia de resonancia, pero tienen menor ancho de banda de las frecuencias en torno a la frecuencia a la que resuenan.

El circuito 212 de excitación debe ser capaz de excitar al oscilador 210 de cristal de cuarzo a pesar del cambio del factor Q. A medida que aumenta la presión en el cilindro 100 de gas, la oscilación del oscilador 210 de cristal de cuarzo se atenuará de manera creciente, y el factor Q caerá. La caída del factor Q requiere que un amplificador en el circuito 212 de excitación proporcione mayor ganancia. Sin embargo, si se proporciona una amplificación demasiado alta al circuito 212 de excitación, la respuesta del oscilador 210 de cristal de cuarzo puede hacerse difícil de distinguir. En este caso, el circuito 212 de excitación puede simplemente oscilar a una frecuencia no relacionada, o a la frecuencia de un modo no fundamental del oscilador 210 de cristal de cuarzo.

Como limitación adicional, el circuito 212 de excitación debe ser de baja potencia para funcionar con baterías de baja potencia con o sin energía suplementaria, tales como células fotovoltaicas.

Ahora se describirá el circuito 212 de excitación con referencia a la Figura 6. Para excitar al oscilador 210 de cristal de cuarzo, el circuito 212 de excitación esencialmente toma una señal de tensión del oscilador 210 de cristal de cuarzo, la amplifica, y vuelve a suministrar esa señal al oscilador 210 de cristal de cuarzo. La frecuencia fundamental de resonancia del oscilador 210 de cristal de cuarzo es, en esencia, una función de la tasa de expansión y contracción del cuarzo. Esto se determina en general por el corte y el tamaño del cristal.

Sin embargo, factores externos también afectan a la frecuencia de resonancia. Cuando la energía de las frecuencias de salida generadas se iguala con las pérdidas en el circuito, puede sostenerse una oscilación. El circuito 212 de excitación está dispuesto para detectar y mantener esta frecuencia de oscilación. La frecuencia puede ser medida entonces por el procesador 230, usada para calcular la propiedad apropiada del gas requerido por el usuario y, si hace falta, comunicarla a un medio de visualización adecuado (según se describirá posteriormente).

El circuito 212 de excitación está alimentado por una batería 216 de 6 V. La batería 216, en esta realización, comprende una batería de iones de litio. Sin embargo, fuentes alternativas de energía serán inmediatamente evidentes para la persona experta en la técnica; por ejemplo, otros tipos de baterías, tanto recargables como no recargables y una disposición de células solares.

El circuito 212 de excitación comprende, además, un amplificador 218 de emisor común de par Darlington. Un par Darlington comprende una estructura compuesta que consiste en dos transistores bipolares NPN configurados de modo que la corriente amplificada por un primer transistor sea amplificada adicionalmente por el segundo. Esta configuración permite obtener una ganancia de la corriente mayor que cuando se considera por separado cada transistor. De manera alternativa, pueden usarse transistores bipolares PNP.

El par Darlington 218 está dispuesto en una configuración de retroalimentación a partir de un amplificador 220 de emisor común de transistor único (T_1). En la Figura 4 se muestra un transistor NPN de unión bipolar. Sin embargo, la persona experta será consciente de disposiciones alternativas de transistor que pueden ser usadas; por ejemplo, un transistor PNP de unión bipolar o transistores de efecto de campo por semiconductor de óxido metálico (MOSFET).

Como variación, podría implementarse un control automático de ganancia (no mostrado) en el bucle de retroalimentación entre el par Darlington 218 y el amplificador 220 de emisor común. Este puede adoptar la forma de un potenciómetro, una resistencia variable u otro componente adecuado situado en lugar de, por ejemplo, la resistencia de 22k situada más a la derecha en la Figura 6.

El control automático de ganancia permite la compensación de los cambios en el factor Q con la presión y los cambios en la tensión de suministro (por ejemplo, en condiciones de baja batería). El control automático de ganancia puede ser particularmente aplicable para aplicaciones de baja presión.

El circuito 212 de excitación comprende un transistor NPN adicional T_2 seguidor del emisor que actúa como un amplificador separador 222. El amplificador separador 222 está dispuesto para funcionar como separador entre el circuito y el entorno externo. Sin embargo, esta característica es opcional y puede no ser requerida; por ejemplo, para excitar el circuito 212 podría conectarse un FET directamente.

Hay un condensador 224 dispuesto en serie con el oscilador 210 de cristal de cuarzo. En este ejemplo, el condensador 224 tiene un valor de 100 pF y permite que el circuito 212 de excitación excite al oscilador 210 de cristal de cuarzo en situaciones en las que el cristal se ha contaminado, por ejemplo por sales u otros materiales depositados.

5 Ahora se describirá un circuito 260 de excitación alternativo con referencia a la Figura 7. El circuito de excitación mostrado en la Figura 7 está configurado de manera similar a un oscilador Pierce. Los osciladores Pierce son conocidos por los osciladores de reloj digital de CI. En esencia, el circuito 260 de excitación 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 210 de cristal de cuarzo.

10 En esta disposición, el oscilador 210 de cristal de cuarzo funciona como un elemento de filtro sumamente selectivo. La resistencia R_1 actúa como una resistencia de carga para el T. La resistencia R_2 actúa como una resistencia de retroalimentación, polarizando al inversor T en su región lineal de operación. Esto permite de manera efectiva que el inversor T opere como amplificador inversor de alta ganancia. Se usa otra resistencia R_S entre la salida del inversor T y el oscilador 210 de cristal de cuarzo para limitar la ganancia y atenuar oscilaciones no deseadas en el circuito.

15 El oscilador 210 de cristal de cuarzo, en combinación con C_1 y C_2 forma un filtro de paso de banda de red Pi. Esto permite un desfase de 180 grados y una ganancia de tensión de la salida a la entrada a aproximadamente la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo. El circuito 260 de excitación anteriormente descrito es fiable y económico de fabricar, dado que comprende relativamente pocos componentes.

20 Según se ha expuesto anteriormente, el conjunto sensor 204 puede incluir un procesador 230 que recibe entradas del oscilador 210 de cristal de cuarzo y del circuito 212 de excitación. El procesador 230 puede comprender cualquier disposición adecuada, tal como un ASIC o una FPGA.

25 El procesador 230 está programado para calcular y, si hace falta, mostrar visualmente y comunicar una determinación del peso molecular del gas (o del peso molecular medio de una mezcla homogénea de gases). En la Figura 8 se muestra un esquema de las entradas y las salidas principales del el procesador 230.

30 Cuando se usa con el oscilador 210 de cristal de cuarzo, el procesador 230 puede ser configurado para medir la frecuencia f o periodo de la señal procedente del circuito 212 de excitación. Esto puede lograrse, por ejemplo, contando las oscilaciones en un tiempo fijo, y convertir esa frecuencia en un valor de densidad usando un algoritmo o una tabla de consulta. Este valor es pasado al procesador 230.

35 El procesador 230 también recibe la temperatura T medida del sensor 214 de temperatura. Además, el procesador 230 recibe un valor de presión ya sea de un sensor 302 de presión (si está presente) o de un valor de presión fija. Este valor puede ser establecido automáticamente; por ejemplo, en situaciones en las que el medidor 400, 500 del peso molecular ha de ser usado únicamente a la presión atmosférica o ha de ser usado en la salida de un regulador de presión fija, como sucede en el caso del medidor 200 del peso molecular. En esta situación, se introduce en el procesador 230 el valor de la presión fija. Alternativamente, el valor de la presión fija puede ser introducido manualmente por un usuario.

40 El procesador 230 está dispuesto para realizar, en función de las entradas suministradas, un cálculo para determinar el peso molecular del gas en el que está sumergido el oscilador 210 de cristal de cuarzo.

Una vez que se ha determinado el peso molecular, este dato puede almacenarse en una memoria local, puede ser mostrado en una pantalla de visualización o puede ser transmitido a una estación remota.

45 El procesador 230 puede estar diseñado, opcionalmente, para una producción en serie para que sea idéntico en todos los medidores 200 de peso molecular, con diferentes características habilitadas en el soporte lógico y el soporte físico para diferentes gases.

50 Además, el procesador 230 también puede estar configurado para minimizar el consumo de energía a través de una implementación de modos de espera o de "suspensión" que pueden cubrir al procesador 230 y a componentes adicionales como el circuito 212 de excitación y el oscilador 210 de cristal de cuarzo.

55 Pueden implementarse diversos esquemas; por ejemplo, el procesador 230 puede estar en modo de espera durante 10 segundos de cada 11 segundos. Además, el procesador 230 puede controlar al oscilador 210 de cristal de cuarzo y al circuito 212 de excitación de modo que estos componentes sean puestos en modo de espera la mayor parte del tiempo, activando únicamente los componentes de mayor consumo de energía durante $\frac{1}{2}$ segundo cada 30 segundos.

60 Ahora se describirán la teoría y la operación del conjunto sensor 204 con referencia a las Figuras 9 a 13.

65

El oscilador 210 de cristal de cuarzo tiene una frecuencia de resonancia que depende de la densidad del fluido en el que esté ubicado. Exponer un oscilador de cristal planario de tipo diapasón oscilante a un gas conduce a un cambio y una atenuación de la frecuencia de resonancia del cristal (en comparación con la frecuencia de resonancia del cristal al vacío). Hay varias razones para esto. Aunque hay un efecto de atenuación del gas sobre las oscilaciones del cristal, el gas adyacente a los brazos vibratorios 210a del oscilador 210 de cristal del diapasón aumenta la masa efectiva del oscilador. Esto lleva a una reducción en la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo según el movimiento de una viga elástica fija de un solo lado:

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

ecuación en la que $\frac{\Delta\omega}{\omega_0}$ es el cambio relativo en la frecuencia angular resonante, ρ es la densidad del gas, t es el grosor del oscilador de cuarzo, ρ_q es la densidad del oscilador de cuarzo y w es la anchura del diapasón. c_1 y c_2 son constantes geoméricamente dependientes y ∂ es el grosor de la capa superficial de gas definido por:

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

ecuación en la que η es la viscosidad del gas, dependiente de la temperatura.

Las dos partes de la ecuación 1) están relacionadas con a) la masa aditiva del gas sobre los brazos del oscilador 210 de cristal de cuarzo y con b) las fuerzas de cizalladura que surgen en la capa de superficie más externa de los brazos durante la oscilación.

Así, la ecuación puede ser reescrita en términos de frecuencia y simplificada a:

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

ecuación en la que $A = \frac{c_1 t}{2\rho_q w} f_0$, $B = \frac{c_2}{2\rho_q w} \sqrt{\frac{\eta}{\pi}} \sqrt{f_0}$, C es una constante de desfase y f_0 es la frecuencia de resonancia natural del cristal al vacío.

Los inventores han descubierto que puede obtenerse una aproximación adecuadamente buena aproximando:

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

En consecuencia, para una buena aproximación, el cambio en la frecuencia es proporcional al cambio en la densidad del gas al que es expuesto el oscilador de cristal de cuarzo. La Figura 9 muestra, para varios gases o mezclas de gases diferentes, que la frecuencia de resonancia del oscilador 210 de cristal de cuarzo varía linealmente en función de la densidad.

En general, la sensibilidad del oscilador 210 de cristal de cuarzo es que se vea un cambio del 5% en la frecuencia, por ejemplo, con gas oxígeno (que tiene el número de masa atómica 32) a 25 MPa en comparación con la presión atmosférica. Tales presiones y densidades de los gases son típicas de los cilindros de almacenamiento usados para gases permanentes, que normalmente se encuentran entre 13,7 y 45 MPa g para la mayoría de los gases, y hasta 70 o 90 MPa g para el helio y el hidrógeno.

El oscilador 210 de cristal de cuarzo es particularmente adecuado para su uso como un sensor de densidad que forme parte de un medidor del peso molecular para gases suministrados comercialmente. Para detectar correctamente la densidad de un gas, es necesario que el gas esté libre de polvo y de gotitas de líquidos, lo que está garantizado para gases suministrados comercialmente, pero no con el aire o en la generalidad de las situaciones de monitorización de la presión.

Una vez que se obtiene el valor de la densidad del oscilador 210 de cristal de cuarzo, el peso molecular del gas puede determinarse a partir de:

$$5) \quad PV = nRT,$$

ecuación en la que P es la presión del gas, V es el volumen del gas, n es el número de moles de gas, R es la constante de los gases y T es la temperatura. Siguiendo para eliminar V :

y

$$6) \quad \rho = \frac{M}{V}$$

$$7) \quad MW = \frac{M}{n}$$

ecuación en la que MW es el peso molecular del gas y M es la masa del gas. Por lo tanto, la sustitución de V en la ecuación 5) lleva a:

$$8) \quad MW = \alpha \frac{\rho}{P}$$

ecuación en la que α es una constante igual a RT , siendo R la constante de los gases y siendo T la temperatura absoluta en grados Kelvin. En consecuencia, para una presión, una densidad y una temperatura conocidas de un gas, puede determinarse el peso molecular del gas (o el peso molecular medio en el caso de una mezcla de gases). Las anteriores derivaciones dan por sentado que el gas se aproxima a un gas ideal.

En función de la ecuación 8) anterior, si la presión es conocida (por ejemplo, cuando la presión es la atmosférica o la salida de un regulador de presión fija), solo se precisa la temperatura y la densidad del gas para proporcionar una determinación precisa del peso molecular. De manera concomitante, si la presión y la temperatura se conocen con un grado razonable, el peso molecular del gas es efectivamente proporcional a la densidad ρ , en otras palabras, a la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo multiplicada por un factor predeterminado.

En consecuencia, el peso molecular del gas (o el promedio de una mezcla) puede determinarse a partir del gradiente de presión como función de la densidad, proporcionando la reorganización de la ecuación 8):

$$9) \quad \rho = \frac{MW}{\alpha} P$$

Las Figuras 10 y 11 ilustran datos experimentales de mediciones del peso molecular. Ambos gráficos muestran la densidad (en kg/m^3) en el eje Y como función de la presión (en MPa g) en el eje X para los mismos cuatro gases. Los dos gráficos son idénticos, salvo que la Figura 10 muestra presiones de hasta 30 MPa g, mientras que la Figura 11 solo muestra presiones de hasta 10 MPa g.

Los cuatro gases usados son Ferromax 15 (una mezcla de argón:dióxido de carbono:oxígeno), helio, dióxido de carbono y oxígeno, según se muestra en la Figura 9. El gradiente de la línea es proporcional al peso molecular (suponiendo que RT sea constante para los tres). En consecuencia, el oscilador 210 de cristal de cuarzo puede determinar fácilmente el peso molecular del gas o de la mezcla de gases.

Además, la gran precisión del oscilador 210 de cristal de cuarzo permite una medición con una precisión muy alta, con una resolución de partes por millón. Unida a la respuesta lineal del sensor 202 de densidad de cuarzo a densidades y presiones elevadas, la alta precisión permite medir con exactitud el peso molecular de gases muy ligeros, como el H_2 y el He.

Una aplicación útil de esta tecnología es en la detección de purgas. Las Figuras 12 y 13 ilustran datos experimentales de la detección de purgas de gas. Tal información es vital en situaciones tales como la soldadura orbital automática de gaseoductos.

La Figura 12 muestra un gráfico de la frecuencia (Hz) en el eje Y como función del tiempo (en segundos) en el eje X para un flujo de argón de 5 litros/minuto en un entorno de nitrógeno, seguido por una recarga con nitrógeno. Claramente, el cambio escalonado en la frecuencia es inmediatamente medible con gran precisión.

La Figura 13 muestra los mismos datos, salvo que, en este caso, el eje Y ha sido calibrado para leer Peso molecular (en unidades de masa).

Estas figuras ilustran con claridad que, para los usos más normales, el peso molecular de un gas puede determinarse fácilmente usando un oscilador de cristal de cuarzo. Además, el cambio en peso molecular que ocurre cuando un gas es purgado con otro es claramente definido e identificable. En consecuencia, el cambio del peso molecular durante una purga de gas puede ser calculado con suficiente precisión y resolución temporal usando el oscilador 210 de cristal de cuarzo y el circuito 204 de excitación.

Ahora se describirá un método según una realización de la presente invención con referencia a la Figura 14. El método descrito a continuación es aplicable a cada una de las realizaciones primera a cuarta descritas anteriormente.

Etapa 550: Inicializar la medición

En la etapa 550, se inicializa la medición del peso molecular del gas que hay dentro del alojamiento 202. Esta puede activarse, por ejemplo, por que un usuario pulse un botón en el exterior del alojamiento 202. Alternativamente, la medición puede iniciarse por medio de una conexión remota; por ejemplo, una señal transmitida en una red inalámbrica y recibida por el medidor 200, 300, 400, 500 del peso molecular a través de una antena.

Como adición o alternativa adicional, el medidor 200, 300, 400, 500 del peso molecular puede ser configurado para que se inicie de manera remota o mediante un temporizador. El método prosigue a la etapa 552.

Etapa 552: Excitar el oscilador de cristal de cuarzo

Una vez inicializado, se usa el circuito 212 de excitación para excitar el oscilador 210 de cristal de cuarzo. Durante la inicialización, el circuito 212 de excitación aplica una tensión de CA de ruido aleatorio entre los extremos del cristal 210. Al menos una porción de esa tensión aleatoria será una frecuencia adecuada para hacer que el cristal 210 oscile. El cristal 210 empezará a oscilar entonces en sincronía con esa señal.

Según se apreciará, el oscilador 210 de cristal de cuarzo es, en esencia, un detector y controlador autónomo, dado que se está midiendo la frecuencia de resonancia del propio cristal.

Por medio del efecto piezoeléctrico, el movimiento del oscilador 210 de cristal de cuarzo generará entonces una tensión en la banda de la frecuencia de resonancia del oscilador 210 de cristal de cuarzo. El circuito 212 de excitación amplifica entonces la señal generada por el oscilador 210 de cristal de cuarzo, de modo que las señales generadas en la banda de frecuencia del resonador 202 de cristal de cuarzo dominen la salida del circuito 212 de excitación. La estrecha banda de resonancia del cristal de cuarzo filtra todas las frecuencias no deseadas y el circuito 212 de excitación excita entonces el oscilador 210 de cristal de cuarzo a la frecuencia fundamental de resonancia f . Una vez que el oscilador 210 de cristal de cuarzo se ha estabilizado a una frecuencia particular de resonancia, el método prosigue a la etapa 554.

Etapa 554: Medir la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo

La frecuencia de resonancia f depende de las condiciones ambientales dentro del alojamiento 202. En la presente realización, el cambio en la frecuencia de resonancia Δf es, con buena aproximación, proporcional en magnitud al cambio de densidad del gas en el interior 206 del alojamiento 202 y disminuirá con la densidad creciente.

Para realizar una medición, se mide la frecuencia del oscilador 210 de cristal de cuarzo durante un periodo de aproximadamente 1 s. Esto es para permitir que la lectura se estabilice y para que se cuenten suficientes oscilaciones para determinar una medición precisa. La medición de la frecuencia se lleva a cabo en el procesador 230. El procesador 230 también puede registrar la hora, T_1 , en que se inició la medición.

Una vez que se ha medido la frecuencia, el método prosigue a la etapa 556.

Etapa 556: Medir la temperatura del gas

En la etapa 556, el sensor 214 de temperatura mide la temperatura del gas dentro del alojamiento 202. Esta medición se realiza para mejorar la precisión del cálculo del peso molecular a partir del cambio de frecuencia medido en la etapa 554.

No es preciso que la medición de la temperatura sea particularmente precisa. Por ejemplo, si el sensor 214 de temperatura tiene una precisión de $0,5^\circ\text{C}$, entonces esto corresponde a un error de solo aproximadamente una parte entre seiscientos (suponiendo temperaturas atmosféricas normales) sobre el valor de temperatura absoluta requerido para el cálculo del peso molecular en etapas posteriores.

Como alternativa, esta etapa puede implicar, simplemente, que se introduzca un valor de temperatura fija en el procesador 230. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en situaciones en las que se usa un entorno de temperatura conocida. En este caso, no hace falta el sensor 214 de temperatura.

Etapa 558: Determinar la presión del gas

A continuación, una vez que se ha medido satisfactoriamente la frecuencia del oscilador 210 de cristal de cuarzo en la etapa 554 y se ha medido la temperatura en la etapa 556, el procesador 230 determina la presión del gas en el interior 206 del alojamiento 202.

Puede hacer esto con un valor de entrada procedente del sensor 302 de presión (si lo hay) que proporcione una señal eléctrica proporcional a la presión medida en el alojamiento 202. Esto se aplica para las realizaciones segunda y cuarta.

Alternativamente, el valor de la presión puede ser introducido en el procesador 230 manual o automáticamente si la presión es conocida con un grado razonable de precisión. Esta puede corresponder a la salida de un regulador de

presión fija (como en la primera realización) o puede corresponder a la presión atmosférica (como en la tercera realización).

Etapa 560: Determinar el peso molecular del gas

Esto se hace usando la ecuación 8) anterior, en la que se conocen la densidad ρ , la presión P y la temperatura T del gas. Por lo tanto, sabiendo la frecuencia de resonancia medida en la etapa 554, la temperatura conocida T del gas en el alojamiento 202 medida en la etapa 556 y la presión conocida del gas determinada en la etapa 558, puede efectuarse una medición precisa del peso molecular (o del peso molecular medio para una mezcla homogénea de gases). El método prosigue entonces a la etapa 562.

Etapa 562: Comunicar y almacenar los resultados

El peso molecular del gas puede ser mostrado de varias formas. Por ejemplo, una pantalla (no mostrada) fijada al alojamiento 202 o al regulador 150, 250 podría mostrar visualmente el peso molecular (o el peso molecular medio) del gas. Como alternativa, la medición de la presión podría ser comunicada de manera remota a una estación base o a un medidor situado en un accesorio adyacente, como se describirá posteriormente.

Una vez que el medidor 200, 300, 400, 500 del peso molecular obtiene el peso molecular, este puede ser almacenado para su posterior recuperación. Como otra alternativa adicional, la presión del gas en el momento T₁ podría ser almacenada en una memoria local de dicho procesador 230 para generar un registro de tiempo.

El método prosigue entonces a la etapa 564.

Etapa 564: Desactivar el conjunto sensor

No es necesario mantener el medidor 200, 300, 400, 500 del peso molecular operativo en todo momento. Al contrario, es beneficioso reducir el consumo de energía desactivando el medidor 200, 300, 400, 500 del peso molecular cuando no está en uso. Esto prolonga la vida de la batería 216.

La configuración del circuito 212 de excitación permite que el oscilador 210 de cristal de cuarzo se reinicie con independencia de la presión que haya en el alojamiento 202. Por lo tanto, el medidor 200, 300, 400, 500 del peso molecular puede ser apagado como y cuando se requiera para ahorrar batería.

Una aplicación adicional del medidor del peso molecular según la presente invención es en una mezcladora de gases de tipo retroalimentación. En tal disposición, se requiere que dos gases disimilares se mezclen en concentraciones y proporciones precisas. Esto puede hacer falta en situaciones como, por ejemplo, aplicaciones de soldadura en las que se requiere una mezcla de argón y dióxido de carbono, estando bien definido el porcentaje de dióxido de carbono. Además, para aplicaciones médicas, puede requerirse que se conozca con alto grado de precisión el porcentaje relativo de un tipo particular de gas.

En la Figura 15 se muestra una quinta realización de la presente invención. La Figura 15 muestra una mezcladora 600 de gas y un medidor 650 del peso molecular según una quinta realización de la presente invención.

La mezcladora 600 de gas comprende una primera fuente 602 de gas y una segunda fuente 604 de gas. En esta realización, las fuentes 602, 604 de gas comprenden cilindros de gas que están dispuestos para almacenar a alta presión gases permanentes. Cada cilindro comprende una válvula (no mostrada) que puede ser similar a la válvula 104 mostrada en la primera realización.

Los gases contenidos dentro de cada cilindro de gas son distintos y se seleccionan dependiendo del uso requerido. Por ejemplo, en aplicaciones de soldadura, se usa una mezcla de argón y dióxido de carbono. Alternativamente, para aplicaciones médicas, puede requerirse una mezcla de oxígeno y nitrógeno.

Las fuentes 602, 604 de gas primera y segunda están conectadas a líneas primera y segunda 606, 608 de suministro, respectivamente. Hay situadas válvulas 610, 612 de retención en las líneas primera y segunda de suministro, respectivamente aguas debajo de las respectivas fuentes primera y segunda 602, 604 de gas para evitar el reflujo de gases hacia las fuentes 602, 604 de gas.

Además, hay una válvula principal 614 situada en la primera línea 606 de suministro aguas abajo de la válvula 610 de retención. La válvula principal 614 es operable manualmente y puede adoptar cualquier forma adecuada. Por ejemplo, la válvula principal 614 puede adoptar la forma de una simple válvula de paso/cierre, o puede comprender una válvula de flujo regulable, una VIPR o un regulador. De forma alternativa, la válvula principal 614 puede ser controlada electrónicamente por un usuario alejado de la mezcladora 600 de gas. El caudal total de la mezcladora de gases (descrita posteriormente) es fijado por la válvula principal 614.

Hay una electroválvula 616 situada en la segunda línea 608 de suministro aguas abajo de la válvula 612 de retención. La electroválvula 616 comprende un inducido que es amovible en respuesta a una corriente eléctrica que atraviesa un conjunto de bobinas (no mostradas) situadas en el cuerpo de la electroválvula 616. El inducido es

amovible para abrir o cerrar la electroválvula 616 para permitir que el gas fluya a través de la electroválvula 616 hasta componentes aguas abajo de la misma.

La electroválvula 616 puede estar en la condición normalmente abierta. En otras palabras, en ausencia de una corriente eléctrica que atraviesa la electroválvula 616, el inducido está en una posición retraída, de modo que la electroválvula 616 esté abierta, es decir, que el gas procedente de la segunda fuente 604 de gas sea capaz de fluir a través de la misma hasta componentes aguas abajo de la electroválvula 616. Si se aplica una corriente a la electroválvula 616, el inducido se retraerá y la electroválvula 616 se cerrará, impidiendo que el gas fluya a través de la misma. En esta realización, la electroválvula 616 es continuamente variable en una dirección lineal.

La persona experta será inmediatamente consciente de los diferentes tipos de electroválvula que podrían usarse con la presente invención. Por ejemplo, el inducido puede actuar directamente como una restricción al flujo operable de manera selectiva. Alternativamente, el inducido podría actuar directamente sobre un diafragma. Como alternativa adicional, el inducido podría controlar el flujo a través de un conducto estrecho en comunicación con la línea 608 de suministro aguas abajo de la electroválvula 616 para regular el movimiento de un diafragma. Tal disposición es denominada válvula auxiliar de diafragma. La electroválvula 616 es controlada por el medidor 650 del peso molecular según se describirá posteriormente.

Las líneas primera y segunda 606, 608 de suministro están conectadas ambas a una unidad mezcladora 618. La unidad mezcladora 618 es operable para combinar los dos flujos de las líneas primera y segunda 606, 608 de suministro y pasar el flujo combinado a una tercera línea 620 de suministro. La unidad mezcladora 618 meramente actúa combinando los dos flujos y no altera la proporción de gas o la presión de cada flujo.

Hay un regulador 622 de presión fija situado en la tercera línea 620 de suministro aguas abajo de la unidad mezcladora 618. El regulador 622 de la presión es sustancialmente similar al regulador 150 de presión fija descrito con referencia a la primera realización y, por ello, no será descrito adicionalmente aquí. El regulador 622 de presión fija está dispuesto para regular la presión del gas recibido de la unidad mezcladora 618 y proporcionar gas a porciones de la tercera línea 620 de suministro aguas abajo del regulador 622 de presión fija a una presión constante. Esta presión puede ser, por ejemplo, de 500 kPa.

La quinta realización comprende un medidor 650 del peso molecular. Los componentes del medidor 650 del peso molecular son sustancialmente similares a los del medidor 200 del peso molecular de la primera realización y por ello, no serán descritos adicionalmente aquí.

Sin embargo, el medidor 650 del peso molecular comprende, además, un excitador electrónico 652 de solenoide conectado a la electroválvula 616 y al conjunto sensor 204 del medidor 650 del peso molecular.

El excitador 652 de solenoide está dispuesto para recibir una señal del conjunto sensor 204 y controlar la electroválvula 616 en respuesta a esa señal. En consecuencia, el medidor 650 del peso molecular es operable para controlar el flujo de gas a través de la electroválvula 616. En otras palabras, el medidor 650 del peso molecular y la electroválvula 616 forman un bucle de retroalimentación que permite una regulación precisa y remota de la presión del flujo de gas a lo largo de la segunda línea 608 de suministro hacia la mezcladora 618. Por lo tanto, la proporción de los gases mezclados en la unidad mezcladora 618 puede ser controlada de manera precisa, como se describirá posteriormente.

El excitador 652 de solenoide puede comprender cualquier circuito adecuado de excitación para controlar la electroválvula 616. Un circuito adecuado puede ser una disposición de amplificador operacional que tiene una entrada procedente del conjunto sensor 204 al terminal negativo del amplificador operacional. En consecuencia, se podría conectar una resistencia variable al terminal positivo. La resistencia variable puede disponerse para proporcionar un nivel de referencia constante y actuar como comparador. El nivel de referencia puede variar automática o manualmente.

Una entrada del conjunto sensor 204 al excitador 652 de solenoide provocará la operación de la electroválvula 616. Por ejemplo, si la señal de entrada procedente del conjunto sensor 204 (o, alternativamente, el procesador 230) supera un nivel umbral particular, el excitador 652 de solenoide puede energizar a la electroválvula 616. La electroválvula 616 puede ser controlada de manera digital (es decir, ser activada o desactivada) cuando varíe una tensión de CC entre un valor máximo y uno mínimo. Alternativamente, la tensión de CC procedente del excitador 652 de solenoide puede ser continuamente variable para regular con precisión la cantidad de restricción de flujo a través de la electroválvula 616.

Además o alternativamente, el excitador 652 de solenoide puede controlar a la electroválvula 616 por medio de una salida de CC que comprende un componente de CA. Dado que la extensión del inducido desde la electroválvula 616 es aproximadamente proporcional a la corriente aplicada, esto hace que el inducido de la electroválvula 616 oscile. Tales oscilaciones mitigan la fricción estática del inducido; es decir, ayudan a prevenir que el inducido se quede atascado o atorado.

Alternativamente, pueden usarse otras disposiciones de control, tales como unos FET, procesadores o ASIC, según sea apropiado, para controlar la operación de la electroválvula 616. Además, la electroválvula 616 puede operar en modo ya sea digital (es decir, ser activada o desactivada) o analógico (es decir, ser continuamente variable) para permitir un movimiento preciso del inducido o similar.

En la Figura 15, se muestran por separado de la electroválvula 616 los principales componentes del medidor 650 del peso molecular. En tal situación, la electroválvula 616 puede ser controlada de manera remota por medio de una comunicación inalámbrica entre el conjunto sensor 204 y el excitador 652 de solenoide.

Aunque la anterior realización ha sido descrita con referencia al medidor 650 del peso molecular y al regulador 622 de presión fija, pueden usarse otras variaciones. Por ejemplo, el regulador 622 de presión fija puede ser omitido o sustituido con un regulador variable de la presión, tal como el regulador 250 mostrado en la Figura 3. En esta alternativa, el medidor 650 del peso molecular requerirá un sensor de presión como el sensor 302 de presión del medidor 300 del peso molecular de la segunda realización.

Alternativamente, puede omitirse el regulador 622 de presión fija y el medidor 650 del peso molecular puede tener un conducto a la atmósfera, como se ha expuesto en el medidor 300 del peso molecular de la tercera realización. En esta situación, no se requiere un manómetro, ya que la presión dentro del alojamiento 202 del medidor 650 del peso molecular siempre estará a la presión atmosférica.

Ahora se describirá la operación de la mezcladora 600 de gas. Según se ha expuesto anteriormente, el medidor 650 del peso molecular es capaz de determinar el peso molecular de un gas, o el peso molecular medio de un gas. Cuando se mezclan dos gases en diferentes proporciones, el peso molecular medio de la mezcla de gases variará según la proporción relativa de cada gas. Por lo tanto, realizando una medición del peso molecular medio de la mezcla, y con el conocimiento de los pesos moleculares de cada gas individual, puede determinarse la proporción de cada gas de la mezcla.

El caudal principal del gas procedente de la primera fuente 602 de gas es fijado por la válvula principal 614 que, según se ha descrito previamente, es operable por el usuario. Una vez esta ha sido fijada, el medidor 650 del peso molecular es capaz de controlar la electroválvula 616 para que suministre la cantidad correcta de gas de la segunda fuente 604 de gas para lograr una mezcla de gases con la proporción deseada. Esto se hace a través del excitador 652 de solenoide.

Por lo tanto, si la proporción de gas procedente de la segunda fuente 604 de gas es demasiado alta, el medidor 650 del peso molecular, mediante el excitador 652 de solenoide, cerrará la electroválvula 616, o lo hará parcialmente, para restringir el flujo de gas procedente de la segunda fuente 604 de gas. De forma concomitante, si la proporción de gas procedente de la segunda fuente 604 de gas es demasiado baja, el medidor 650 del peso molecular, mediante el excitador 652 de solenoide, abrirá la electroválvula 616, o lo hará parcialmente, para aumentar el flujo de gas procedente de la segunda fuente 604 de gas.

La anterior realización proporciona un método de bajo coste, fiable y robusto para proporcionar una mezcla de gas en la cual puede determinarse y mantenerse de manera fiable y precisa la proporción de cada gas de la mezcla.

Para la persona experta resultarán evidentes variaciones a las anteriores realizaciones. La configuración precisa de los componentes de soporte físico y soporte lógico puede diferir y seguir encontrándose dentro del alcance de presente invención. La persona experta será inmediatamente consciente de configuraciones alternativas que podrían usarse.

Por ejemplo, las realizaciones anteriormente descritas han utilizado un oscilador de cristal de cuarzo que tiene una frecuencia fundamental de 32,768kHz. Sin embargo, pueden usarse cristales que operen a frecuencias alternativas. Por ejemplo, con las realizaciones descritas anteriormente pueden usarse osciladores de cristal de cuarzo que operen a 60kHz y 100kHz. En la Figura 16 se muestra un gráfico que muestra el cambio de la frecuencia con la densidad para diferentes cristales. Como ejemplo adicional, podría usarse un oscilador de cristal que opere a una frecuencia de 1,8 MHz.

Una operación a mayor frecuencia permite que la presión sea monitorizada más frecuentemente debido a que se requiere un menor periodo de tiempo para muestrear un número dado de ciclos. Además, los cristales de mayor frecuencia permiten que se use un menor ciclo de trabajo en un modo de "suspensión" de un cristal. A título de explicación, en la mayoría de los casos, el cristal y el circuito de excitación pasarán la mayor parte del tiempo desactivados, activándose únicamente durante un segundo o así cuando se necesite una medición. Esto puede ocurrir, por ejemplo, una vez por minuto. Cuando se usa un cristal de mayor frecuencia, la presión puede ser medida más rápidamente. Por lo tanto, puede reducirse el tiempo que el cristal está operativo. Esto puede reducir el consumo de energía y, de forma concomitante, mejorar la vida útil de la batería.

Además, las anteriores realizaciones han sido descritas midiendo la frecuencia absoluta de un oscilador de cristal de cuarzo. Sin embargo, en componentes electrónicos autónomos incorporados en un regulador asociado con un cilindro de gas, puede ser ventajoso medir el cambio en la frecuencia del sensor comparando esa frecuencia con un cristal de referencia de tipo idéntico, pero encerrado en una cápsula al vacío o a presión. La cápsula a presión puede contener gas a una densidad seleccionada, gas en condiciones atmosféricas o puede estar abierta a la atmósfera externa del cilindro de gas.

En la Figura 17 se muestra un conjunto sensor 700 adecuado. El conjunto sensor 700 comprende un primer oscilador 702 de cristal de cuarzo y un segundo oscilador 704 de cristal de cuarzo. El primer oscilador 702 de cristal de cuarzo es un cristal de referencia que está situado dentro de un recipiente sellado 706 al vacío. El primer oscilador 702 de cristal de cuarzo es excitado por un circuito 708 de excitación.

El segundo oscilador 704 de cristal de cuarzo es un cristal similar al cristal 210 descrito en las realizaciones anteriores. El segundo oscilador 704 de cristal de cuarzo está expuesto al entorno gaseoso del interior del alojamiento 202. El segundo oscilador 704 de cristal de cuarzo es excitado por un circuito 710 de excitación.

Esta comparación se puede llevar a cabo usando un circuito mezclador electrónico 714 que combina las dos señales de frecuencia y produce una salida a una frecuencia igual a la diferencia entre los dos cristales. Esta disposición permite anular pequeños cambios debidos, por ejemplo, a la temperatura.

Además, puede simplificarse la circuitería usada en el conjunto sensor 204, porque solo hace falta medir la frecuencia de diferencia. Además, este planteamiento es particularmente adecuado para ser usado con un oscilador de cristal de alta frecuencia (MHz), en el que puede resultar difícil medir la frecuencia del cristal directamente.

Además, no es preciso que todos los componentes electrónicos que hacen falta para medir y mostrar la densidad, la masa o el flujo másico estén montados en o sobre el cilindro de gas. Por ejemplo, las funciones electrónicas podrían repartirse entre unidades montadas sobre el cilindro permanentemente y unidades montadas ya sea en una estación de uso del cliente o montadas temporalmente en la salida del cilindro, tal como la posición normalmente usada para un caudalímetro convencional.

Se muestra un ejemplos de esta disposición con referencia a la Figura 18. La disposición comprende un conjunto 80 de cilindro de gas que comprende un cilindro 800 de gas, un regulador 802 y un medidor 804 del peso molecular. El cilindro 800 de gas, el regulador 802 y el medidor 804 del peso molecular son sustancialmente similares al cilindro 100 de gas, al regulador 150 y al medidor 200, 300, 400, 500 del peso molecular, sustancialmente como se ha descrito previamente con referencia a realizaciones anteriores.

En esta realización, el medidor 804 del peso molecular comprende un oscilador de cristal de cuarzo y un circuito de excitación (no mostrados) similares al oscilador 210 de cristal de cuarzo y al circuito 212 de excitación de realizaciones anteriores. Se proporciona una antena 806 para la comunicación mediante cualquier protocolo adecuado de comunicaciones remotas; por ejemplo, Bluetooth, infrarrojos (IR) o RFID. Alternativamente, puede utilizarse una comunicación a través de un solo hilo.

Como alternativa adicional, pueden usarse métodos de comunicación acústica. La ventaja de tales métodos es que puede efectuarse una comunicación remota sin el requisito de una antena externa.

Hay una tubería 808 de conexión conectada a la salida del cilindro 800 de gas. La tubería de conexión termina en un conector rápido 810. El conector rápido 810 permite conectar fácil y rápidamente canalizaciones de conexión o componentes al cilindro 800 de gas y desconectarlos del mismo.

Se proporciona una unidad 850 de conexión rápida para la conexión al cilindro 800 de gas. Se proporciona un conector rápido complementario 812 para la conexión al conector 808. Además, la unidad 850 de conexión rápida está dotada de una unidad 852 de datos. La unidad 852 de datos comprende un medio 854 de visualización y una antena 856 para la comunicación con la antena 804 del conjunto 80 de cilindro de gas. El medio 854 de visualización puede comprender, por ejemplo, una pantalla LCD, LED o legible a la luz del día para minimizar el consumo de energía y maximizar la visibilidad de la pantalla.

La unidad 852 de datos puede registrar diversos parámetros medidos por el conjunto sensor 802 del conjunto 80 de cilindro de gas. Por ejemplo, la unidad 852 de datos podría registrar el peso molecular en función del tiempo. Tal registro podría ser útil, por ejemplo, para soldadores que deseen comprobar que haya presente un flujo de gas y que sea correcto durante procedimientos prolongados de soldadura con gas en componentes críticos, o para suministrar a una empresa datos sobre el uso de un cliente particular.

Además, la unidad 850 de datos puede estar dispuesta para proporcionar las siguientes funciones: proporcionar una alarma audible o visible si cambia el tipo de gas; contener y mostrar datos sobre el tipo de gas; proporcionar una operación multimodo, por ejemplo, un modo de proveedor/recargador y un modo de cliente; permitir la introducción

de datos; proporcionar datos como un número de cilindro, el tipo de gas, un certificado de análisis, un historial de cliente (quién tuvo el cilindro en qué fechas), y se pueden poner de forma resumida sobre el cilindro datos de seguridad y consejos operativos.

5 Como alternativa, opcionalmente, todos los ejemplos anteriores pueden ser procesados, almacenados u obtenidos de un sistema situado por entero sobre el cilindro 800 de gas o el alojamiento 202 (o en su interior), según se ha expuesto en términos del medidor 200, 300, 400, 500 del peso molecular.

10 Aunque las anteriores realizaciones han sido descritas con referencia al uso de un oscilador de cristal de cuarzo, la persona experta será inmediatamente consciente de materiales piezoeléctricos alternativos que también se podrían usar. Por ejemplo, una lista no exhaustiva puede incluir osciladores de cristal que comprenden: tantalato de litio, niobato de litio, borato de litio, berlinita, arseniuro de galio, tetraborato de litio, fosfato de aluminio, germanato de bismuto, cerámicas policristalinas de titanato de circonio, cerámicas ricas en alúmina, material compuesto de silicio-óxido de cinc, o tartrato dipotásico.

15 Se han descrito realizaciones de la presente invención con referencia particular a los ejemplos ilustrados. Aunque en la presente memoria se muestran con detalle y en los dibujos se muestran ejemplos específicos, debería entenderse, no obstante, que no se pretende que los dibujos y la descripción detallada limiten la invención a la forma particular divulgada. Se apreciará que pueden efectuarse variaciones y modificaciones a los ejemplos descritos
20 dentro del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un método de medición del peso molecular de un gas que usa un oscilador (210) de cristal piezoeléctrico planario de alta frecuencia en contacto con el gas, comprendiendo el método:
- 5 a) utilizar dicho oscilador de cristal piezoeléctrico para medir la densidad del gas:
- utilizando un circuito (212) de excitación configurado para obtener una señal de tensión del oscilador (210) de cristal piezoeléctrico para amplificar la señal de tensión y excitar (552) el oscilador de cristal piezoeléctrico con la señal amplificada de tensión de modo que el oscilador de cristal piezoeléctrico resuene en una frecuencia de resonancia única a pesar de los cambios en el factor Q del oscilador de cristal piezoeléctrico; y
- 10 midiendo (554) dicha frecuencia de resonancia única de dicho cristal piezoeléctrico para determinar la densidad (ρ) del gas basándose en la aproximación de que un cambio en la frecuencia de resonancia (Δf) es linealmente proporcional a un cambio en la densidad; y
- 15 b) determinar (556, 558, 560), a partir de la densidad, de la presión determinada o predeterminada del gas y de la temperatura determinada o predeterminada del gas, el peso molecular del gas.
- 20 2. Un método según la reivindicación 1 que, además, comprende la medición de la presión del gas.
3. Un método según la reivindicación 2 en el que la presión del gas es medida usando un sensor electrónico de presión.
- 25 4. Un método según la reivindicación 1 en el que la presión predeterminada del gas es la presión fija de salida de un regulador de gas situado aguas arriba de dicho oscilador.
5. Un método según la reivindicación 1 en el que la presión predeterminada del gas es la presión atmosférica.
- 30 6. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes que, además, comprende la medición de la temperatura del gas con un sensor de temperatura.
7. Un medidor (200; 300; 400; 500; 650) para medir el peso molecular de un gas, comprendiendo el medidor un alojamiento (202; 502) que tiene una entrada (208; 506) y un interior (206) para recibir dicho gas que ha de ser medido, un conjunto sensor (204) que comprende un oscilador (210) de cristal piezoeléctrico planario de alta frecuencia situado dentro de dicho alojamiento para que, en uso, el oscilador de cristal piezoeléctrico esté en contacto con dicho gas, comprendiendo además dicho conjunto sensor un circuito (210) de excitación y estando dispuesto dicho conjunto sensor para:
- 35 excitar el oscilador de cristal piezoeléctrico usando el circuito de excitación, estando configurado el circuito de excitación para obtener una señal de tensión del oscilador de cristal piezoeléctrico, para amplificar la señal de tensión y para excitar el oscilador de cristal piezoeléctrico con la señal amplificada de tensión de modo que el oscilador de cristal piezoeléctrico resuene a una frecuencia de resonancia única a pesar de los cambios en el factor Q del oscilador de cristal piezoeléctrico;
- 40 medir dicha frecuencia de resonancia única de dicho oscilador de cristal piezoeléctrico para determinar la densidad (ρ) del gas basándose en la aproximación de que un cambio en la frecuencia de resonancia (Δf) es linealmente proporcional a un cambio en la densidad; y
- 45 determinar, a partir de la densidad, de la presión determinada o predeterminada del gas y de la temperatura determinada o predeterminada del gas, el peso molecular del gas.
- 50 8. Un medidor según la reivindicación 7 en el que el conjunto sensor comprende un circuito de excitación que comprende un par Darlington dispuesto en una configuración de retroalimentación a partir de un amplificador de emisor común.
- 55 9. Un medidor según la reivindicación 7 u 8 que, además, comprende un sensor de presión para medir la presión del gas.
10. Un medidor según la reivindicación 9 en el que dicho sensor de presión es un sensor electrónico de presión.
- 60 11. Un medidor según la reivindicación 7 u 8 situado aguas abajo de un regulador de presión fija en el que la presión del gas tiene un valor predeterminado en función de la salida de dicho regulador de presión fija.
12. Un medidor según la reivindicación 7 u 8 que, además, comprende un orificio restringido aguas arriba de dicha entrada y una salida a la atmósfera aguas abajo de dicha entrada, en el que dicha presión predeterminada del gas es la presión atmosférica.
- 65

13. Un medidor según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12 en el que el conjunto sensor comprende, además, un sensor de temperatura.
- 5 14. Un método según una de las reivindicaciones 1 a 6 en el que dicho oscilador de cristal piezoeléctrico comprende al menos dos brazos planarios.
15. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 o 14 en el que dicho oscilador de cristal piezoeléctrico tiene una frecuencia de resonancia de 32 kHz o mayor.
- 10 16. Un medidor según una de las reivindicaciones 7 a 13 en el que dicho oscilador de cristal piezoeléctrico comprende al menos dos brazos planarios.
- 15 17. Un medidor según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 13 o 16 en el que dicho oscilador de cristal piezoeléctrico tiene una frecuencia de resonancia de 32 kHz o mayor.
18. Un producto de programa informático ejecutable por un aparato programable de procesamiento que comprende una o más porciones de soporte lógico para realizar las etapas de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6.
- 20 19. Un soporte de almacenamiento utilizable en un ordenador que tiene almacenado en el mismo el producto de programa informático según la reivindicación 18.

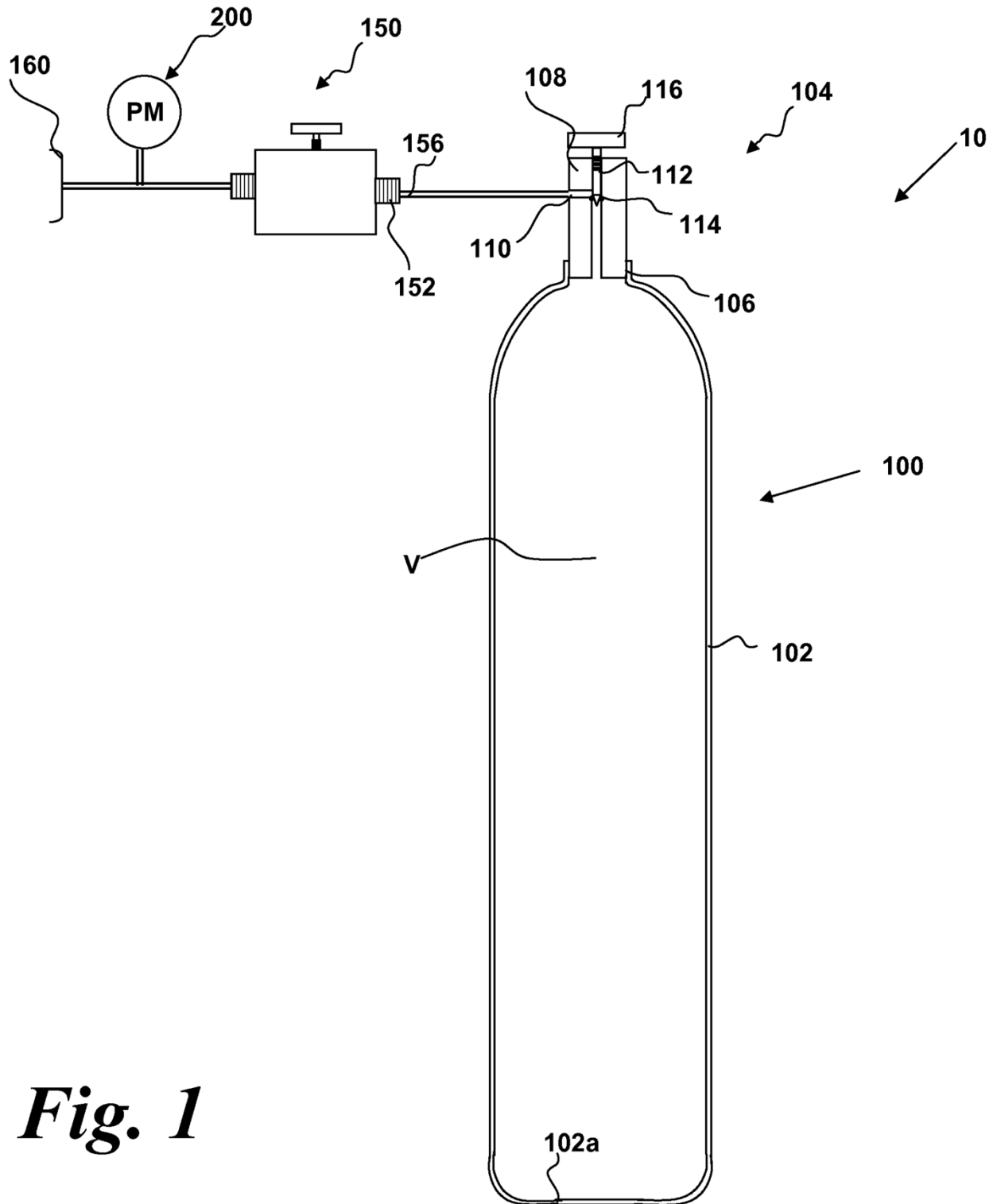


Fig. 1

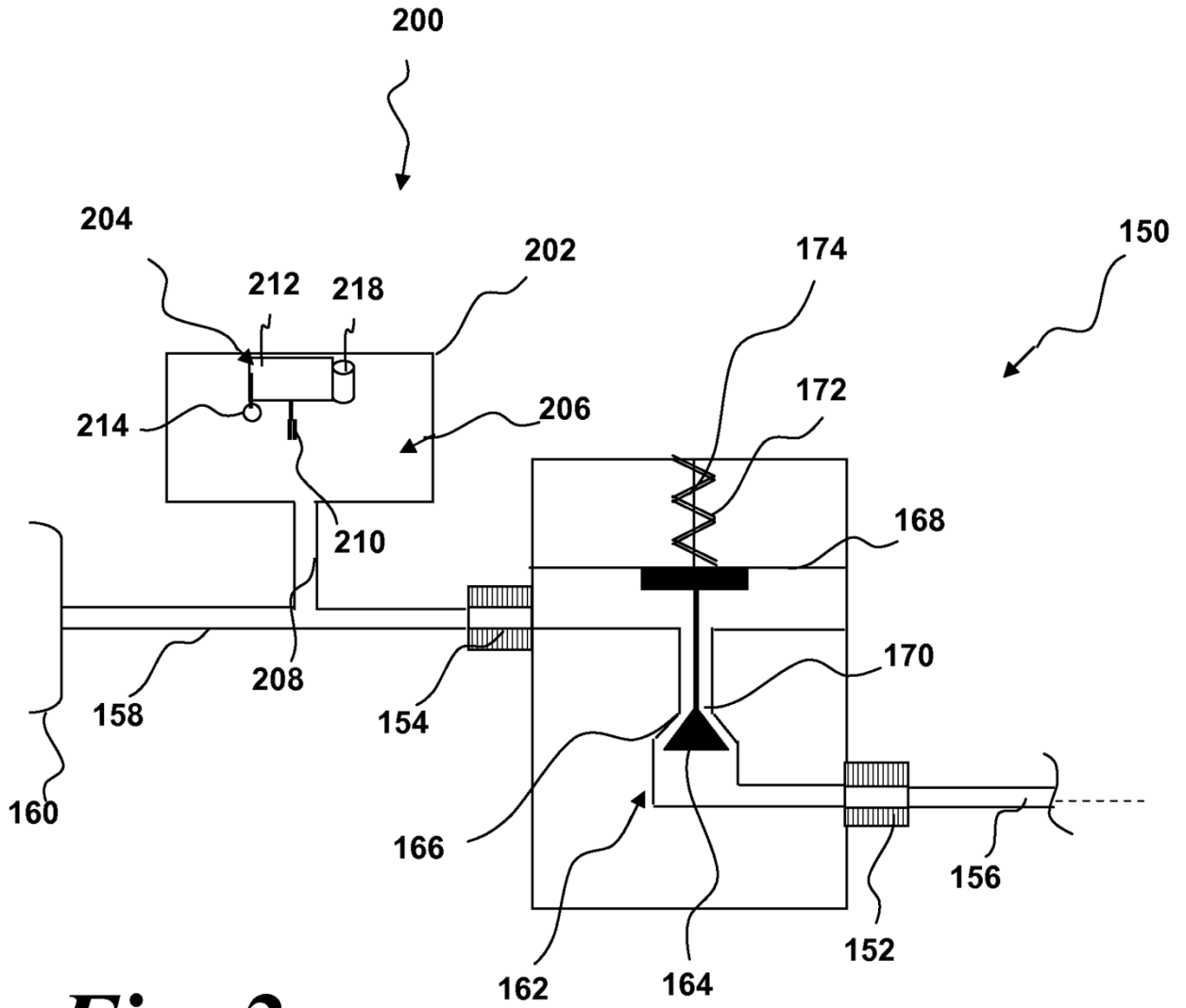


Fig. 2

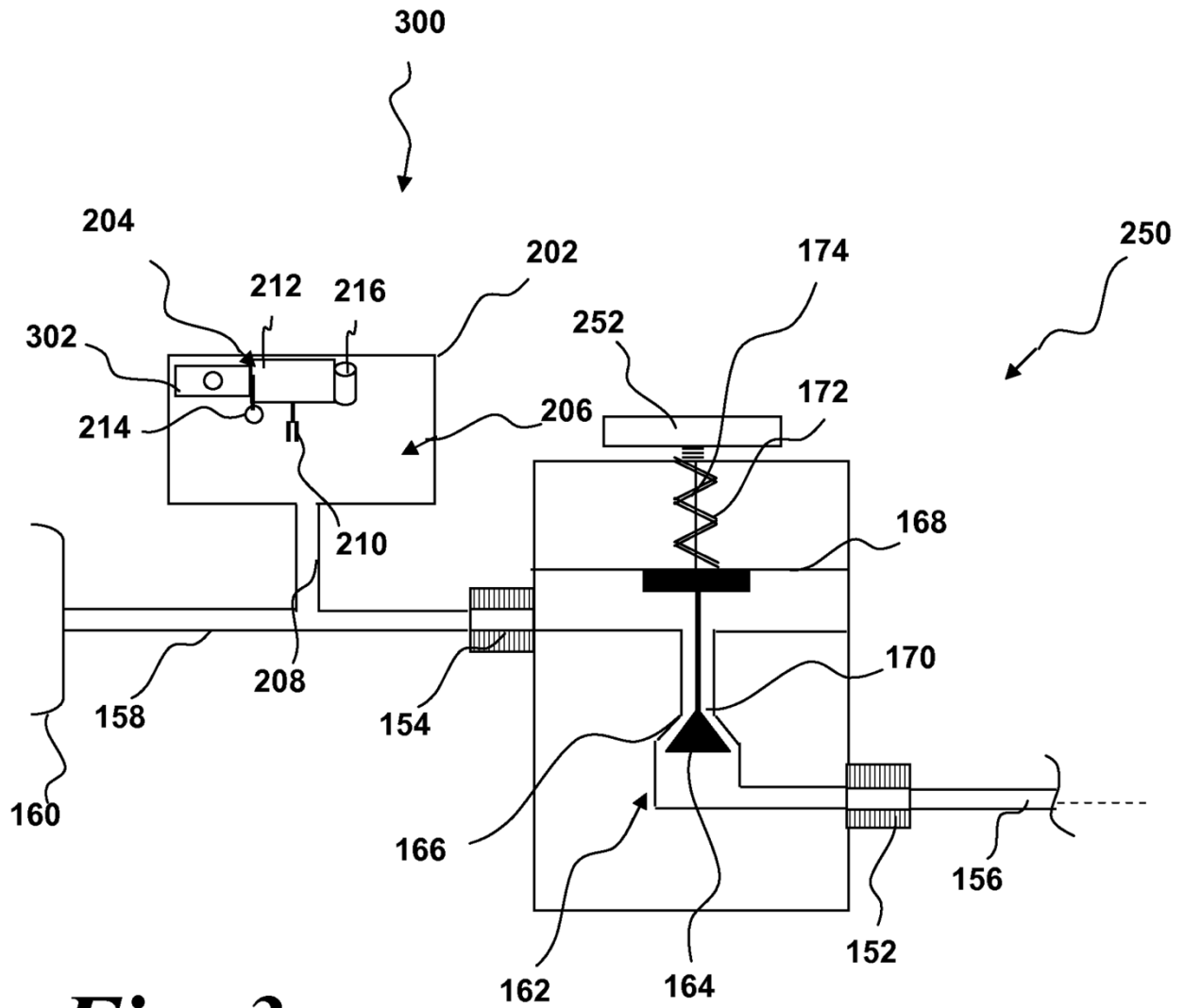


Fig. 3

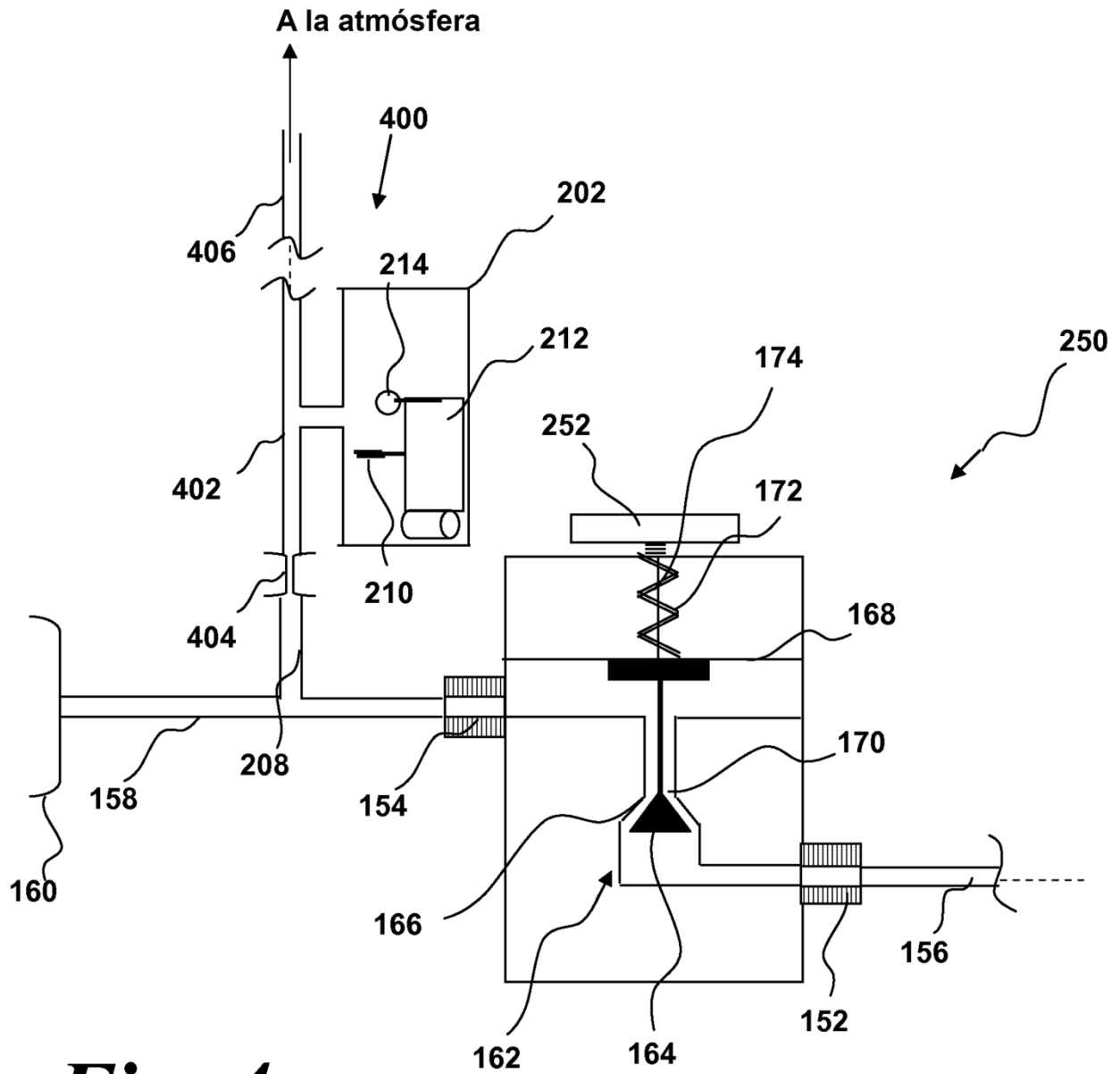


Fig. 4

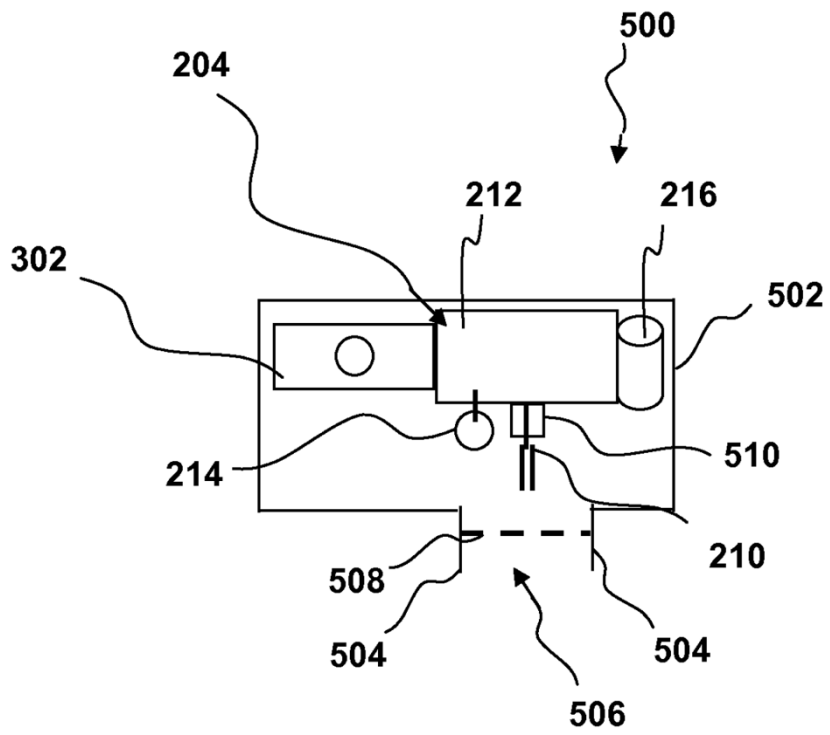


Fig. 5

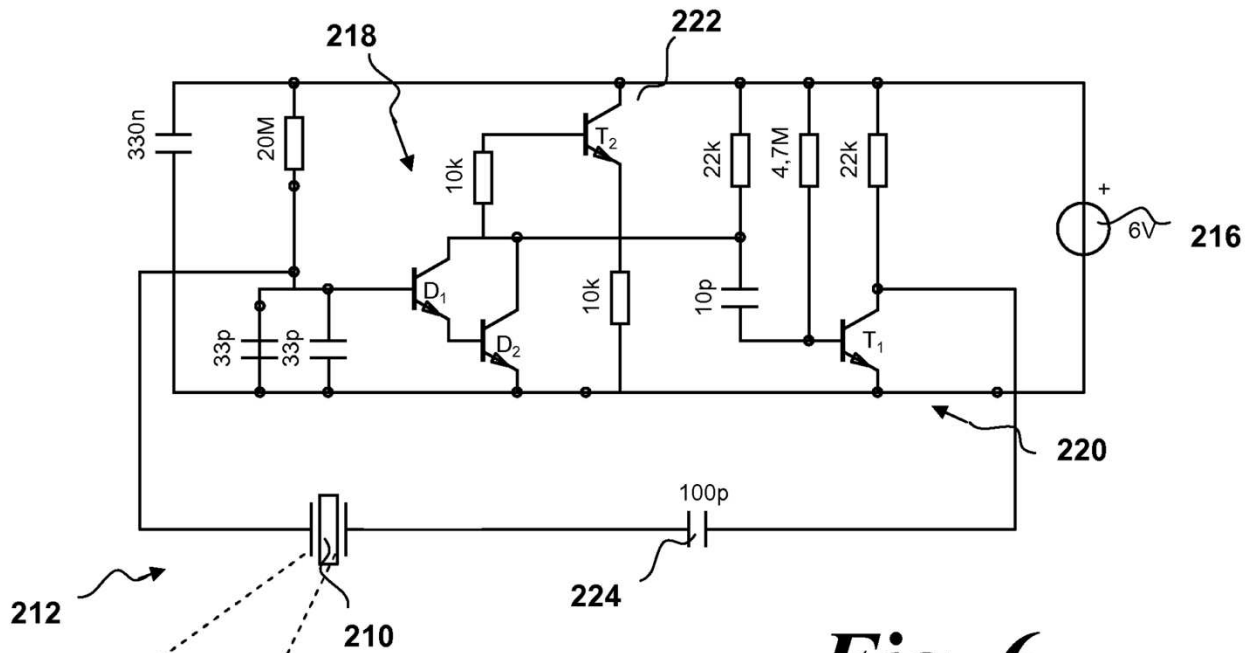


Fig. 6

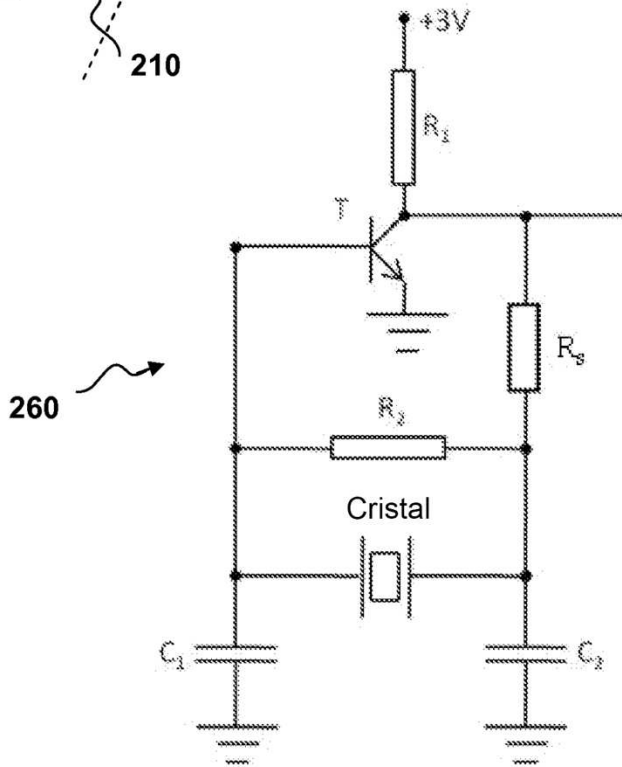
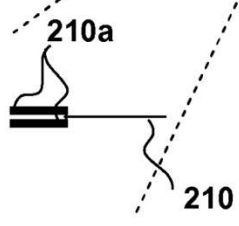


Fig. 7

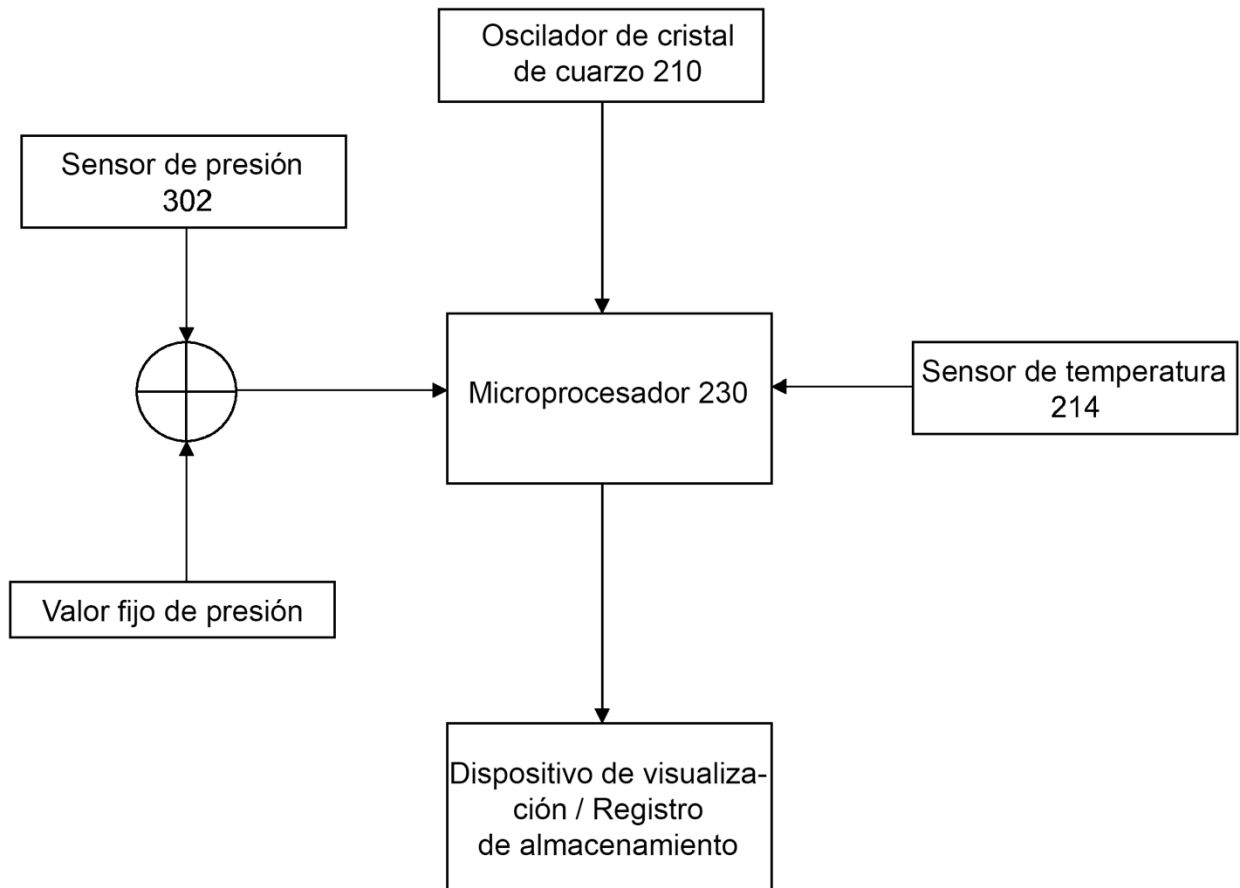


Fig. 8

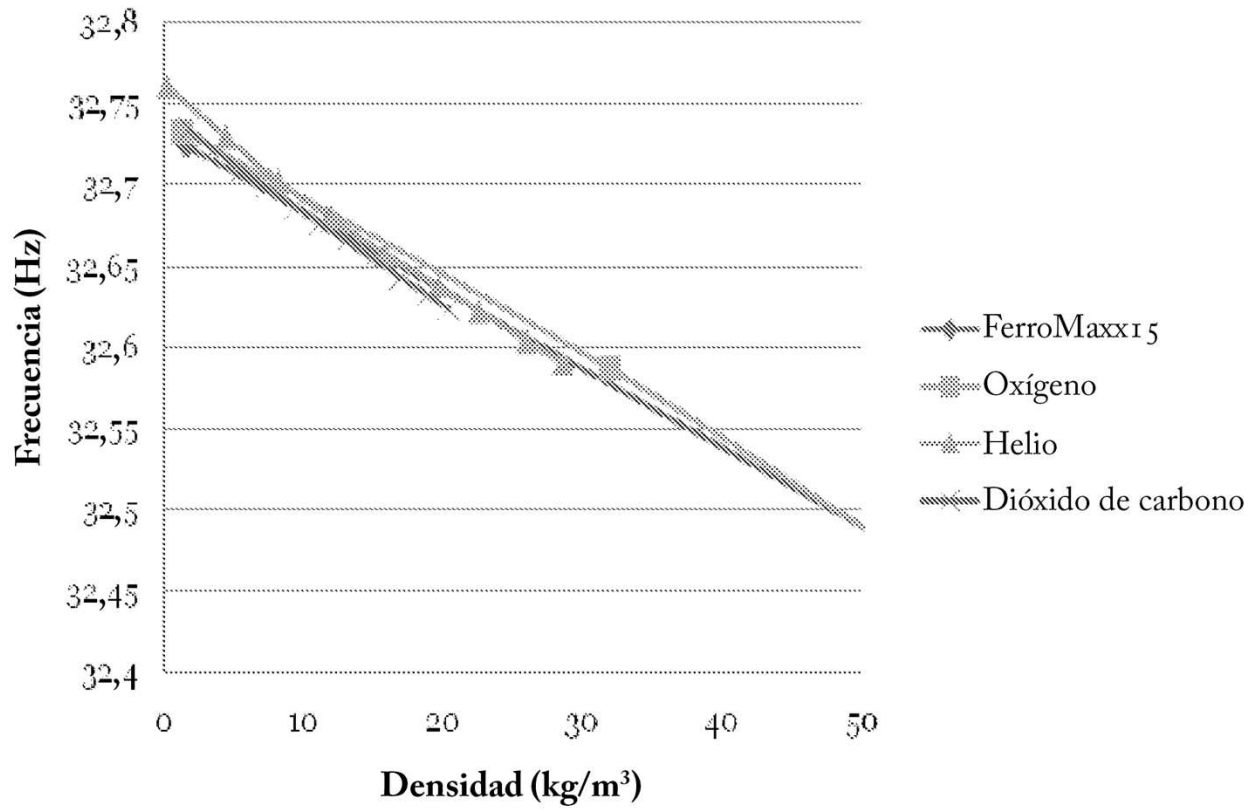


Fig. 9

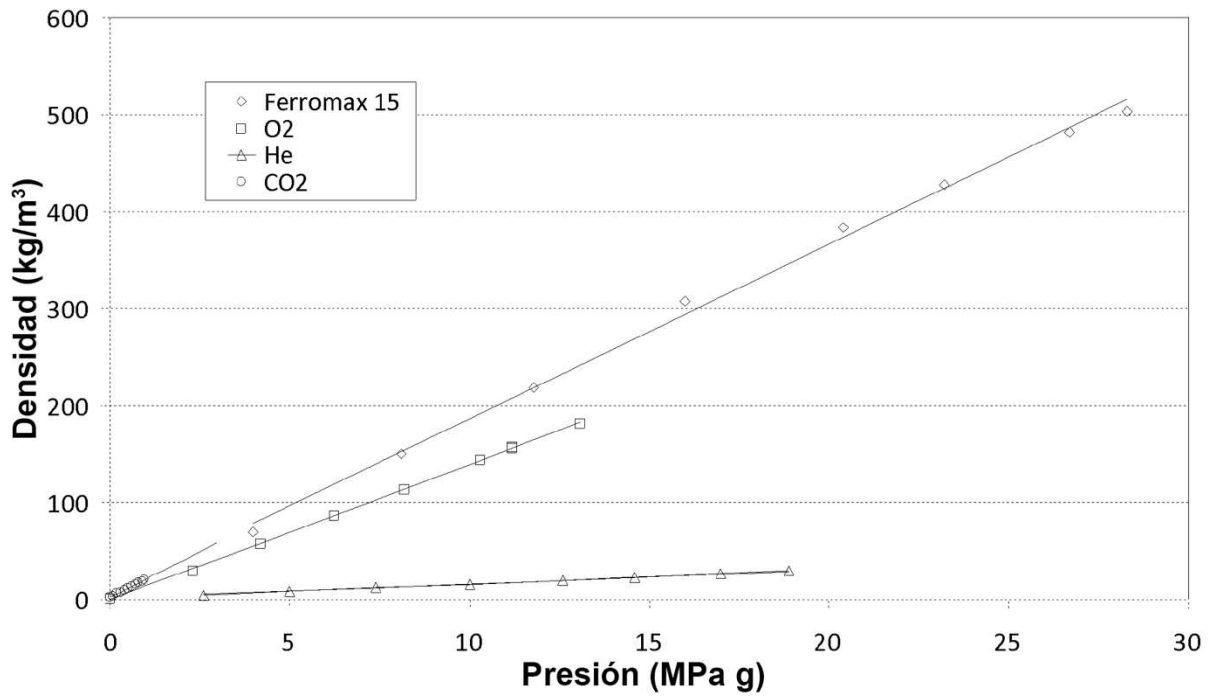


Fig. 10

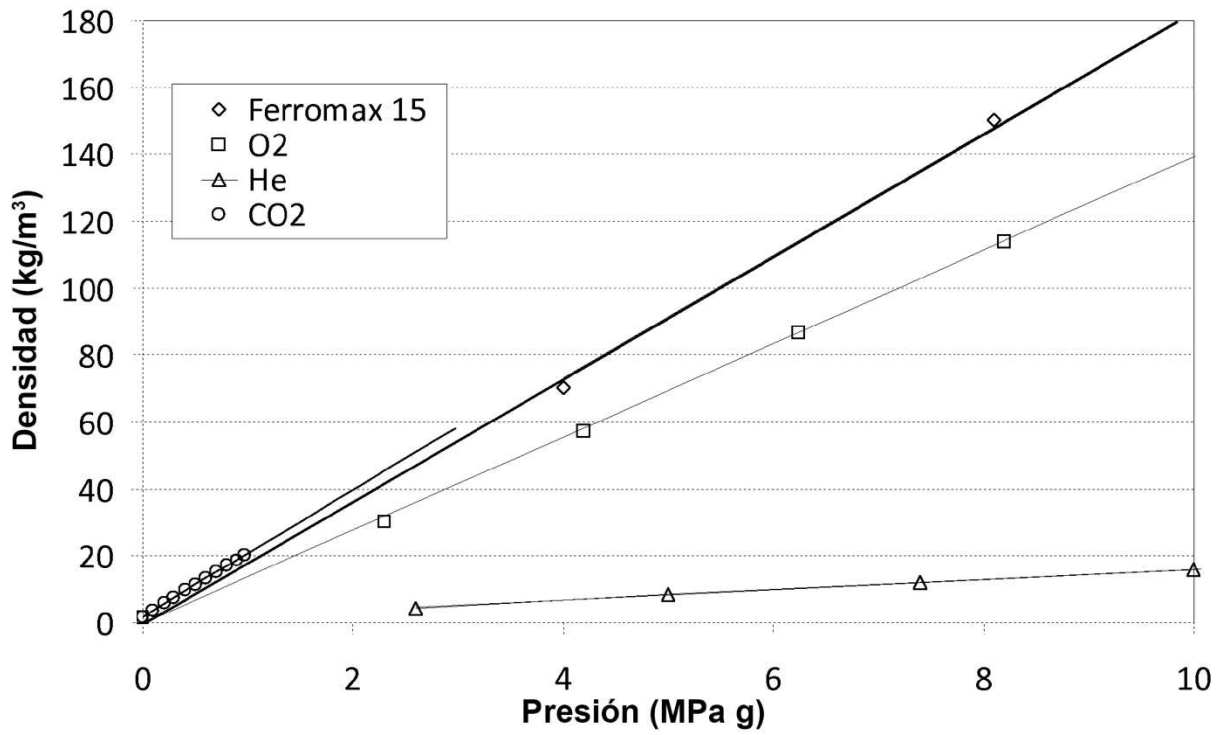


Fig. 11

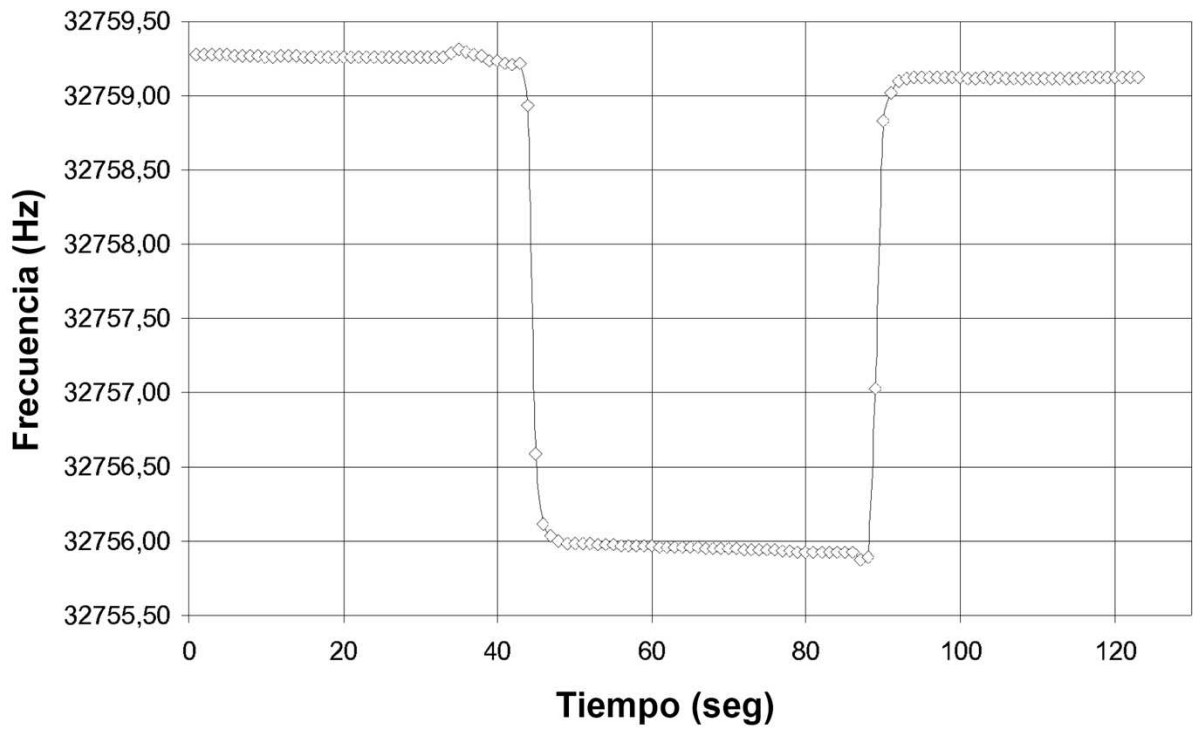


Fig. 12

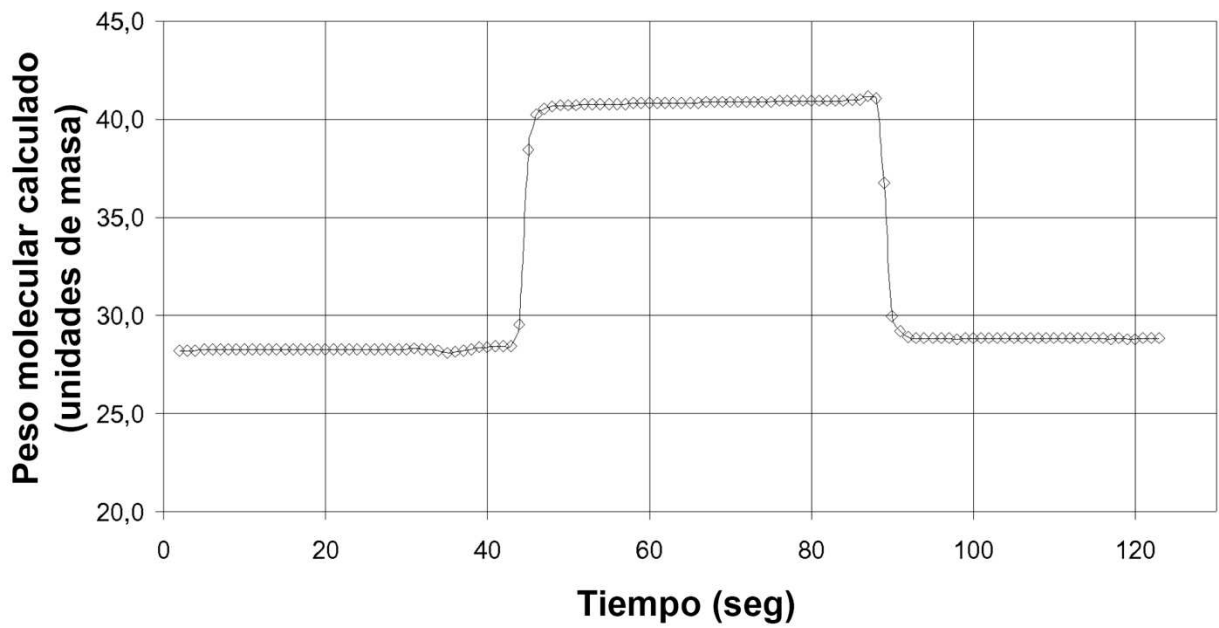


Fig. 13

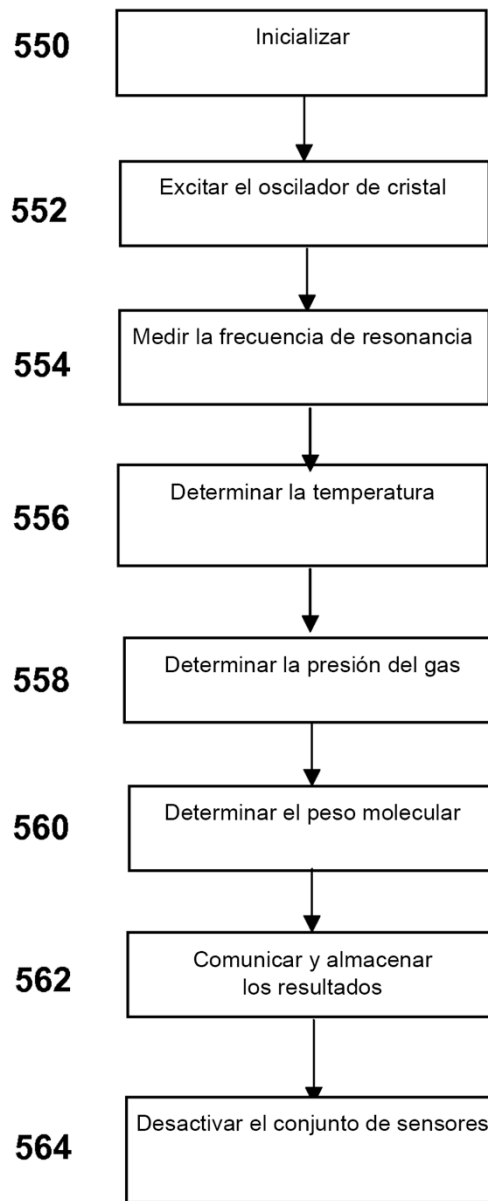


Fig. 14

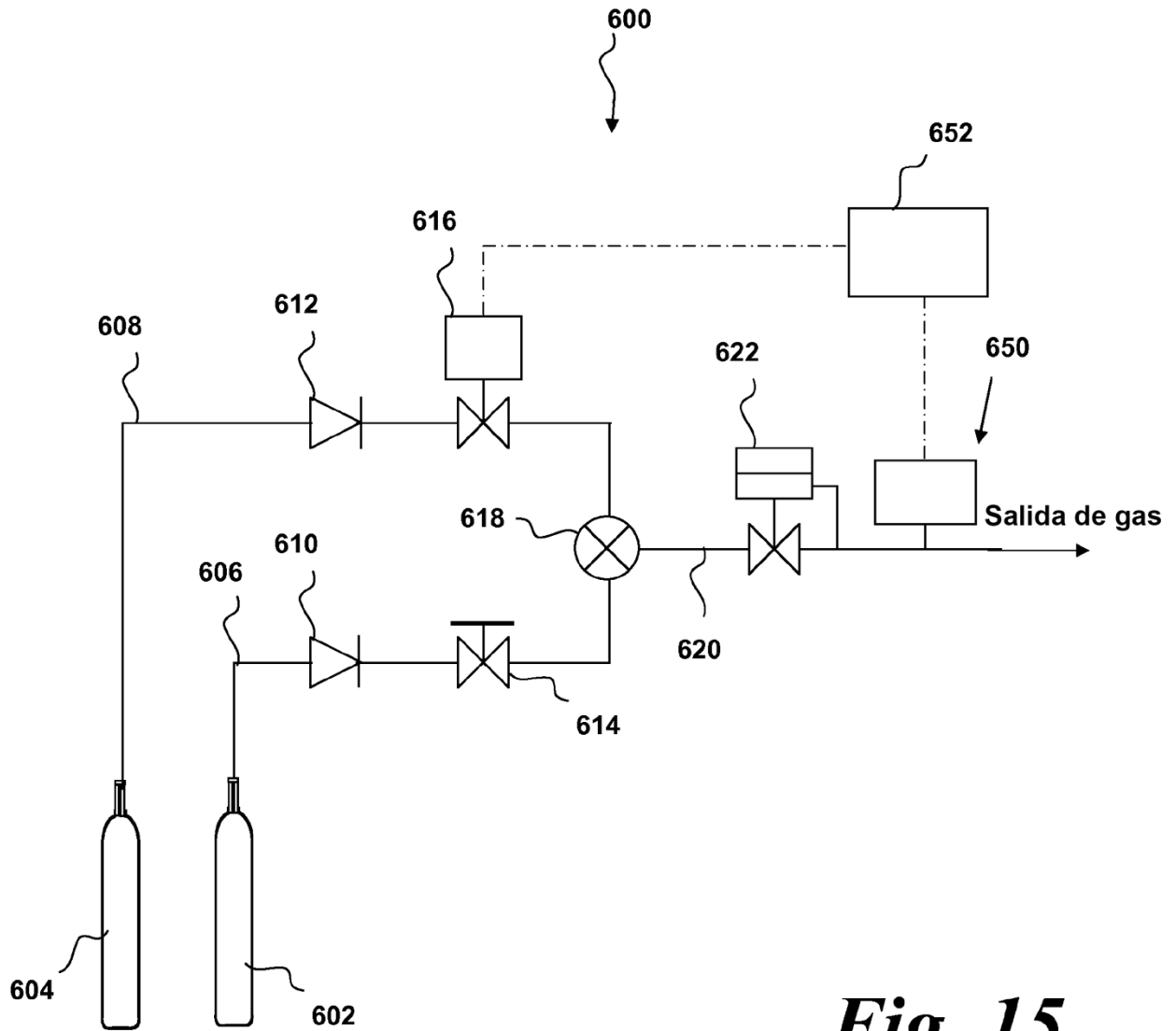


Fig. 15

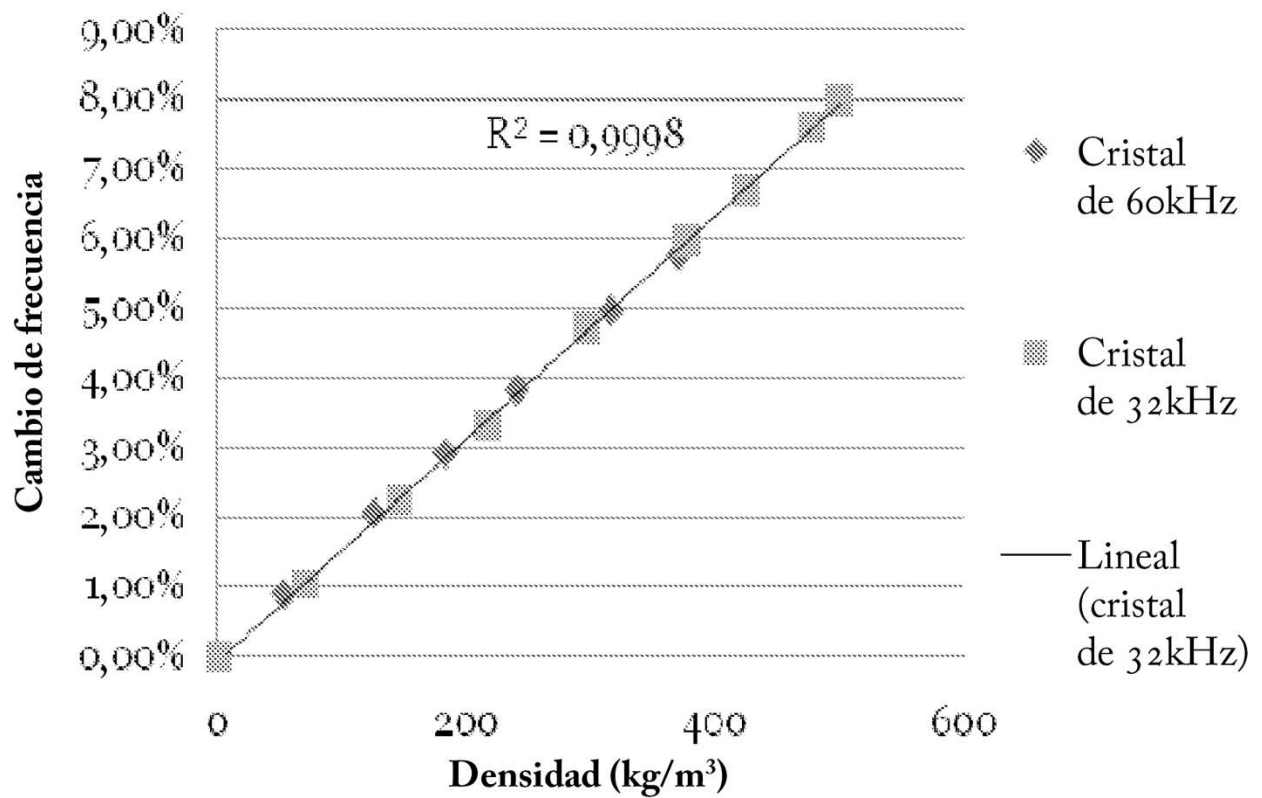


Fig. 16

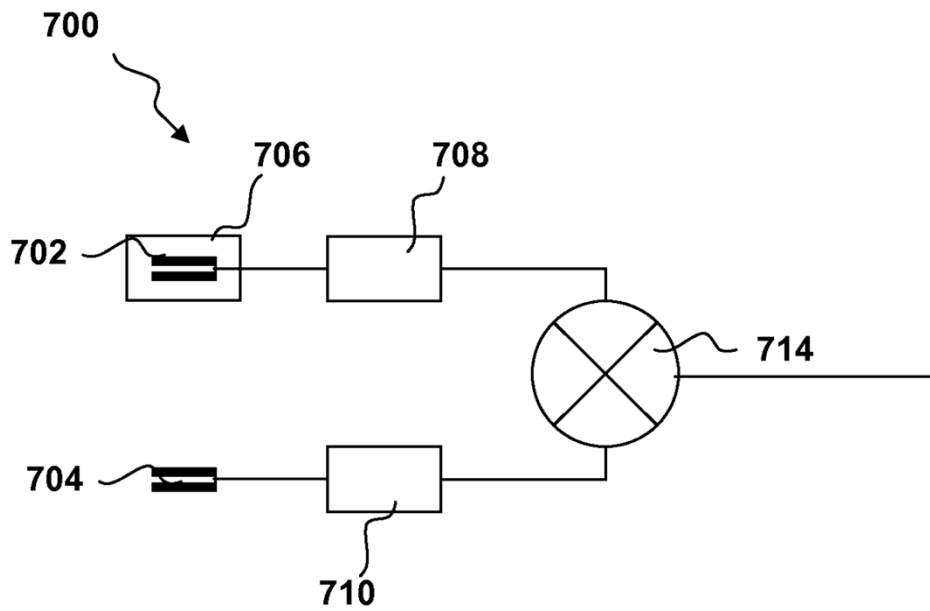


Fig. 17

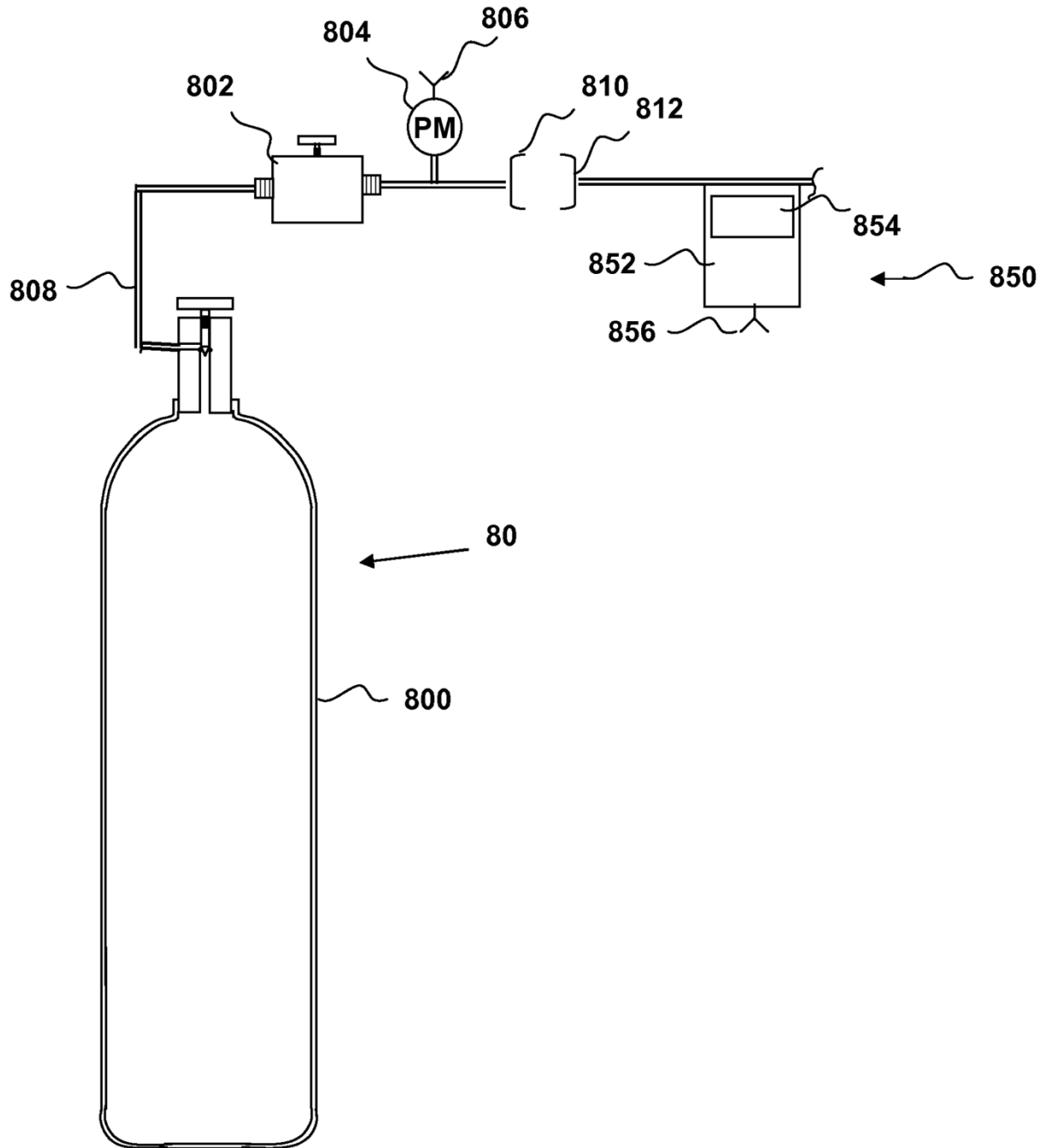


Fig. 18