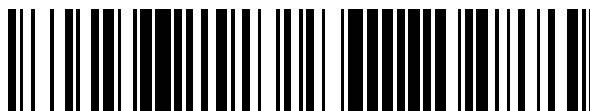


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 467 697**

51 Int. Cl.:

G01L 9/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2010 E 10192966 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **18.10.2017 EP 2458357**

54 Título: **Método y aparato para medir la presión de un gas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente modificada:
27.02.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DOWNIE, NEIL ALEXANDER y
BEHRENS, MARCEL**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para medir la presión de un gas.

5 La presente invención está relacionada con un aparato para medir la presión de un gas. Más particularmente, la presente invención está relacionada con un aparato para medir la presión de un gas utilizando un oscilador piezoeléctrico.

10 El aparato descrito en esta memoria es particularmente aplicable a sistemas en los que puede haber presentes fluidos a presión relativamente alta (por ejemplo aproximadamente 10 bar o más), tal como por ejemplo, el suministro de gas desde cilindros a alta presión o plantas de fabricación que utilizan gases a alta presión. La presente invención está relacionada particularmente con gases "limpios", es decir gases con pocas o sin impurezas o contaminantes, tal como vapor de agua o polvo.

15 Un cilindro de gas comprimido es un envase a presión diseñado para contener gases a presiones altas, es decir a presiones significativamente mayores que la presión atmosférica. Los cilindros de gas comprimido se utilizan en una gran variedad de mercados, desde el mercado industrial general de coste bajo, pasando por el mercado médico, a aplicaciones de coste más alto, como la fabricación de electrónica utilizando gases específicos de alta pureza, corrosivos, tóxicos o pirofóricos. Comúnmente, los recipientes de gas presurizado comprenden acero, aluminio o compuestos y son capaces de almacenar gases comprimidos, licuados o disueltos con una presión máxima de llenado hasta 450 bar manométricos para la mayoría de gases, y hasta 900 bar para gases tales como hidrógeno y helio.

20 La presente invención es particularmente aplicable a gases permanentes. Los gases permanentes son gases que no pueden licuarse solo por presión, y por ejemplo pueden suministrarse en cilindros de gas a presiones hasta 450 bar de presión manométrica. Unos ejemplos son el argón y el nitrógeno. Sin embargo, esto debe tomarse como limitativo y el término gas puede considerarse que abarca un abanico más amplio de gases, por ejemplo, un gas permanente y un vapor de un gas licuado.

30 Los vapores de gases licuados están presentes encima del líquido que hay en un cilindro de gas comprimido. Los gases que se licuan bajo presión cuando son comprimidos para llenar en un cilindro no son gases permanentes y se describen con más precisión como gases licuados bajo presión o como vapores de gases licuados. Como ejemplo, el óxido nitroso se suministra en un cilindro en forma líquida, con una presión de vapor de equilibrio de 44,4 bar manométricos a 15° C. Tales vapores no son gases permanentes o verdaderos ya que son licuables por presión o temperatura alrededor de condiciones ambientales.

35 Con el fin de dispensar gases de manera eficaz y controlable desde un cilindro de gas u otro envase a presión, se necesita un regulador. El regulador puede regular el flujo del gas de tal manera que el gas se dispensa a una presión constante o variable por el usuario.

40 La medición de la presión en tales sistemas se conoce bien en la técnica y hay una variedad de dispositivos que funcionan para medir la presión. El tipo más convencional utiliza un diafragma elástico equipado con elementos de galga extensiométrica. Otro manómetro comúnmente utilizado es un medidor de Bourdon. Tal medidor comprende un tubo aplanado de extremos cerrados y de pared delgada que se conecta en el extremo hueco a una tubería fija que contiene la presión de fluido a medir. Un aumento de presión hace que el extremo cerrado del tubo describa un arco.

45 Si bien estos tipos de manómetros son de coste relativamente bajo, tienden a tener un tamaño relativamente grande, y tienen una estructura mecánica que es relativamente compleja y cara de hacer. Adicionalmente, tales medidores comprenden unos componentes delicados que los hacen vulnerables a dañarse con los factores ambientales, tales como la exposición a altas presiones.

50 Por ejemplo, un manómetro convencional diseñado para funcionar de manera fiable a presión entre 0 - 5 bar se dañará irreparablemente si se expone a presiones significativamente más grandes como, por ejemplo, 200 bar. Si ocurre esto, el medidor necesitará sustitución. Además, el medidor puede fallar peligrosamente y puede tener fugas. Esto es un asunto particular si hay presentes gases inflamables o combustibles.

55 Una situación en la que tal medidor podría quedar expuesto inadvertidamente a presiones excesivamente altas se conoce como "*creep o fluencia*". Considérese una disposición por la que se proporciona un manómetro en la salida de un regulador de alta presión de un cilindro de gas a alta presión, y la salida se desconecta. En este caso, el cilindro de gas puede estar, por ejemplo, a 300 bar de presión interna. Cuando se deja durante un periodo de tiempo, incluso una pequeña fuga de gas a través del asiento de válvula del regulador puede llevar a presiones entre el regulador y la salida cerrada que son cercanas y posiblemente iguales a la presión interna del cilindro de gas. Tales presiones pueden dañar un manómetro convencional y quedar irreparable.

60

Como otro ejemplo, considérese un regulador de presión fija a 300 bar que tiene una entrada conectada, a través de una válvula de aislamiento de alta presión, a un cilindro de gas a alta presión. La salida del regulador se conecta a un manómetro de presión baja. Tales disposiciones de presión fija se configuran para proporcionar una presión constante de salida de, por ejemplo, 5 bar. Sin embargo, cuando se abre primero la válvula de aislamiento de presión alta, la presión dará brevemente un impulso a un valor mucho más alto antes de que el diafragma del regulador sea capaz de ajustarse para regular la presión. Este breve impulso de presión alta puede dañar el manómetro.

Un tipo alternativo de dispositivo utilizado para medir las propiedades físicas de gases es un dispositivo piezoeléctrico tal como un cristal de cuarzo. Los cristales de cuarzo demuestran un comportamiento piezoeléctrico, es decir la aplicación de voltaje a ellos tiene como resultado un ligero encogimiento o estiramiento del sólido, y viceversa.

El documento "A Precise And Robust Quartz Sensor Based On Tuning Fork Technology For (SF₆) - Gas Density Control" de Zeisel et al, Sensors and Actuators 80 (2000) 233-236 describe una disposición por la que se utiliza un sensor de cristal de cuarzo para medir la densidad de gas SF₆ en equipos eléctricos de alto y medio voltaje. La medición de la densidad del gas SF₆ es crítica para la seguridad del aparato. Por lo tanto, esta descripción no concierne a la medición de presión.

El documento US 4.644.796 describe un método y un aparato para medir la presión de un fluido utilizando un oscilador de cristal de cuarzo alojado dentro de un alojamiento de volumen variable que comprende una disposición de fuelles. El volumen interno del alojamiento varía debido a la compresión/expansión de los fuelles por la presión del fluido externo. En consecuencia, la densidad del fluido dentro del alojamiento varía a medida que varía el volumen interno del alojamiento. La densidad dentro del alojamiento puede medirse utilizando un oscilador de cristal de cuarzo. Sin embargo, el oscilador de cristal de cuarzo no está en contacto con el fluido que se mide y, en vez de eso, mide indirectamente la presión de gas por cambios en el volumen interno del alojamiento.

El documento US-A-4.734.609 describe un transductor de densidad de gas que compara la frecuencia resonante de un oscilador de cristal encerrado de diapasón de referencia con la frecuencia resonante de un oscilador de cristal de diapasón detector expuesto al gas circundante. La frecuencia de oscilación del oscilador de cristal detector expuesto varía según la densidad de gas. La frecuencia del oscilador detector se compara con la frecuencia del oscilador de referencia para determinar la densidad de gas.

El documento US-A-5.471.882 describe un conjunto de transductor de presión para medir presión de fluido. El conjunto de transductor incluye un sensor de presión de resonador de modo de cizallamiento en grosor (*thickness-shear mode*) y un sensor de temperatura de resonador de modo de cizallamiento en grosor para la compensación de temperatura del sensor de la presión. El documento EP-A-0273649 describe unos medios que perciben presión en modo de cizallamiento en grosor y un sensor de temperatura. El aparato puede funcionar para compensar los gradientes de temperatura.

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un manómetro de acuerdo con la reivindicación 1.

Al proporcionar tal manómetro, puede proporcionarse un manómetro preciso a prueba de sobre-presión. El oscilador piezoeléctrico es un dispositivo de estado sólido que es resistente a presiones altas, cambios repentinos en la presión u otros factores ambientales. Esto permite al oscilador piezoeléctrico ser sumergido enteramente en el gas y ser invulnerable al "*creep o fluencia*" u otras situaciones de sobre-presión. Esto es a diferencia de los medidores convencionales (tal como un medidor de Bourdon) que requiere un diferencial de presión con el fin de funcionar y que se daña permanentemente por situaciones de sobre-presión.

En una disposición, el conjunto de sensor comprende además un sensor de temperatura para medir la temperatura del gas dentro de dicho alojamiento.

En una disposición, el conjunto de sensor comprende un circuito impulsor para impulsar dicho oscilador piezoeléctrico en dicha frecuencia resonante.

En una realización, el conjunto de sensor comprende uno o más de: un circuito impulsor, un procesador y una fuente de alimentación.

En una realización, el circuito impulsor comprende un par Darlington dispuesto en una configuración de realimentación desde un amplificador de emisor común.

En una realización, dicho oscilador piezoeléctrico comprende un oscilador de cristal de cuarzo.

En una realización, el cristal de cuarzo comprende por lo menos una púa. En una variación, el cristal de cuarzo comprende un par de púas planas.

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

En una variación, la superficie del cristal de cuarzo se expone directamente al gas.

5 El conjunto de sensor comprende un circuito impulsor. En una variación, el conjunto de sensor comprende un circuito impulsor que comprende un par Darlington dispuesto en una configuración de realimentación desde un amplificador de emisor común.

10 En una realización, el conjunto de sensor comprende una fuente de alimentación. En una disposición, la fuente de alimentación comprende una batería de ion litio.

El conjunto de sensor comprende un procesador.

15 Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo de reducción de presión que comprende el manómetro del segundo aspecto.

En una realización, el dispositivo de reducción de presión es en forma de un regulador de presión.

20 En una realización, el dispositivo de reducción de presión es en forma de una válvula o una válvula con regulador de presión integrado.

En una realización, el regulador de presión tiene un intervalo de presión entre 0 a 5 bar.

25 En una realización, el regulador de la presión es un regulador electrónico de presión y el manómetro puede funcionar para controlar el regulador electrónico de presión.

En una realización, el regulador electrónico de presión comprende una electroválvula, el conjunto de sensor puede funcionar para controlar, durante el uso, la electroválvula.

30 En una realización, el regulador de presión tiene un intervalo de presión entre 0 a 5 bar.

Ahora se describirán con detalle unas realizaciones de la presente invención, haciendo referencia a los dibujos acompañantes, en los que:

35 La Figura 1 es un diagrama esquemático de un conjunto de regulador y cilindro de gas;
La Figura 2 es un diagrama esquemático que muestra una parte superior de un cilindro de gas, un regulador y una disposición de manómetro;

La Figura 3 es un diagrama esquemático que muestra una parte superior de un cilindro de gas, un regulador y una disposición de manómetro según una realización de la invención;

40 La Figura 4 es un diagrama esquemático de un circuito impulsor para el uso con una realización de la presente invención;

La Figura 5 es un diagrama esquemático que muestra una alternativa al circuito impulsor para el uso con una realización de la presente invención;

45 La Figura 6 muestra un gráfico de frecuencia (kHz) de cristal de cuarzo en el eje Y como una función de la densidad (kg/m^3) para varios gases diferentes;

La Figura 7 muestra un gráfico del cambio de frecuencia (en kHz) en el eje Y como una función de la presión (bar manométricos) en el eje X para un oscilador de cristal de cuarzo sumergido en Ferromax 15 (que comprende 82,5% de Ar, 15% de CO_2 y 2,5% de O_2) para presiones bajas;

50 La Figura 8 muestra un gráfico del cambio de frecuencia (en kHz) en el eje Y como una función de la presión (bar manométricos) en el eje X para un oscilador de cristal de cuarzo sumergido en Ferromax 15 (que comprende 82,5% de Ar, 15% de CO_2 y 2,5% de O_2) para presiones altas;

La Figura 9 es un diagrama de flujo que ilustra un método;

La Figura 10 muestra un gráfico del comportamiento de frecuencia de diferentes tipos de cristal;

55 La Figura 11 es un diagrama esquemático que muestra un conjunto alternativo de sensor que comprende dos cristales de cuarzo; y

La Figura 12 es un diagrama esquemático que muestra un conjunto alternativo adicional de sensor que comprende dos cristales de cuarzo; y

La Figura 13 muestra una disposición alternativa que utiliza una unidad electrónica remota de datos.

60 La Figura 1 muestra una vista esquemática de un conjunto 10 de cilindro de gas, regulador y manómetro. El conjunto 10 de cilindro de gas comprende un cilindro de gas 100 que tiene un cuerpo 102 de cilindro de gas y una válvula 104. El cuerpo 102 de cilindro de gas comprende un envase generalmente cilíndrico de presión que tiene una base plana 102a dispuesta para permitir al conjunto 10 de cilindro de gas estar de pie sin soportes en una superficie plana.

65

El cuerpo 102 de cilindro de gas se forma de acero, aluminio y/o material compuesto y se adapta y se dispone para resistir presiones internas hasta aproximadamente 900 bar manométricos. Una abertura 106 se ubica en un extremo proximal del cuerpo 102 de cilindro de gas opuesto a la base 102a y comprende un hilo de rosca (no se muestra) adaptado para recibir la válvula 104.

El cilindro de gas 100 define un envase a presión que tiene un volumen interno V. Dentro del cilindro de gas 100 puede contenerse cualquier fluido adecuado. Sin embargo, la presente realización está relacionada, pero no se limita exclusivamente a esto, con gases permanentes purificados que están libres de impurezas tales como polvo y/o humedad. Unos ejemplos no exhaustivos de tales gases pueden ser: Oxígeno, Nitrógeno, Argón, Helio, Hidrógeno, Metano, Trifluoruro de nitrógeno, Monóxido de carbono, Criptón o Neón.

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 un hilo de rosca complementario para el acoplamiento con la abertura 106 del cuerpo 102 de cilindro de gas. La salida 110 se adapta y se dispone para permitir al cilindro de gas 100 conectarse a otros componentes en un conjunto de gas; por ejemplo, mangueras, tubos o válvulas de presión o reguladores adicionales. La válvula 104, opcionalmente, puede comprender una VIPR (*Valve with Integrated Pressure Regulator*, Válvula con Regulador Integrado de Presión). En esta situación, el regulador 150 (se describe más adelante) puede omitirse opcionalmente.

El cuerpo 112 de válvula puede ajustarse axialmente respecto al asiento 114 de válvula por medio de la rotación de un asidero 116 que se puede agarrar para abrir o cerrar selectivamente la salida 110. Con otras palabras, el movimiento del cuerpo 112 de válvula acercándose o alejándose del asiento de válvula 112 controla selectivamente el área del conducto de comunicación entre el interior del cuerpo 102 de cilindro de gas y la salida 110. Esto, a su vez, controla el flujo de gas desde el interior del conjunto 100 de cilindro de gas al ambiente externo.

Aguas abajo de la salida 110 se ubica un regulador 150. El regulador 150 tiene una entrada 152 y una salida 154. La entrada 152 del regulador 150 se conecta a un tubo de entrada 156 que proporciona un recorrido de comunicación entre la salida 110 del cilindro de gas 100 y el regulador 150. La entrada 152 del regulador 150 se dispone para recibir gas a alta presión desde la salida 110 del cilindro de gas 100. Esta puede ser cualquier presión adecuada; sin embargo, generalmente, la presión del gas que sale por la salida 110 será superior a 20 bar y más probablemente estará en la región de 100 - 900 bar.

La salida 154 se conecta a un tubo de salida 158. En el extremo distal del tubo de salida 158 se ubica un acoplamiento 160 y se adapta para la conexión a tubos o dispositivos adicionales (no se muestra) para los que se necesita el gas.

Una disposición de manómetro 200 se ubica en comunicación con el tubo de salida 158 entre la salida 154 y el acoplamiento 160. La disposición de manómetro 200 se ubica inmediatamente aguas abajo del regulador 150 y se dispone para determinar la presión del gas aguas abajo del regulador 150.

El regulador 150 y la disposición de manómetro 200 se muestran con más detalle en la Figura 2.

En esta realización, el regulador 150 comprende un regulador de un diafragma. Sin embargo, el experto en la técnica será fácilmente consciente de variaciones que podrían utilizarse con la presente invención; por ejemplo, un regulador de dos diafragmas u otra disposición.

El regulador 150 comprende una región de válvula 162 en comunicación con la entrada 152 y la salida 154. La región 162 de válvula comprende una válvula de vástago 164 ubicada adyacente a un asiento 166 de válvula. La válvula de vástago 164 se conecta a un diafragma 168 que se configura para permitir el movimiento de translación de la válvula de vástago 164 acercándose y alejándose del asiento 166 de válvula para cerrar y abrir respectivamente una abertura 170 entremedio.

El diafragma 168 se predispone con resiliencia por un resorte 172 ubicado alrededor de un vástago 174. Se proporciona un asidero 176 que se puede agarrar para permitir a un usuario ajustar la fuerza de predisposición del resorte 172, moviendo de ese modo la posición del diafragma 168, y, como resultado, ajustando el espaciamiento de equilibrio entre la válvula de vástago 164 y el asiento 166 de válvula. Esto permite el ajuste de las dimensiones de la abertura 170 por la que puede pasar el flujo de gas a alta presión desde la salida 110.

El regulador 150 puede funcionar para recibir gas desde la salida 110 a plena presión de cilindro (por ejemplo 100 bar), pero para entregar gas a baja presión fija substancialmente constante (por ejemplo 5 bar) a la salida 154. Esto se consigue mediante un mecanismo de realimentación por el que la presión de gas aguas abajo de la abertura 170 puede funcionar para actuar sobre el diafragma 168 en oposición a la fuerza de predisposición del resorte 172.

Por lo tanto, si la presión de gas en la región adyacente al diafragma 168 supera el nivel especificado, el diafragma 168 puede funcionar para moverse hacia arriba (relativo en la Figura 2). Como resultado, la válvula de vástago 164

se mueve más cerca del asiento 166 de válvula, reduciendo el tamaño de la abertura 170, y restringiendo, en consecuencia, el flujo de gas desde la entrada 152 a la salida 154.

La disposición de manómetro 200 comprende un alojamiento 202 y un conjunto de sensor 204. El alojamiento 202 puede comprender cualquier material adecuado; por ejemplo, acero, aluminio o compuestos. El alojamiento tiene un interior 206 que está en comunicación con el interior del tubo de salida 158 a través de un tubo corto de alimentación 208. En consecuencia, el interior 206 del alojamiento 202 está a la misma presión que el interior del tubo de salida 158. Durante el uso, el alojamiento 202 generalmente se sella y se aísla de la atmósfera externa.

Como alternativa, el alojamiento 202 podría proporcionarse como parte del tubo de salida 158. Por ejemplo, una parte del tubo de salida 158 podría ensancharse para albergar el conjunto de sensor 204. Como alternativa, dentro del tubo 158 puede ubicarse sólo parte del conjunto de sensor 204, y el resto ubicarse fuera o espaciado del mismo.

Adicionalmente, el alojamiento 202 puede formar una parte integral del regulador 150. Por ejemplo, el conjunto de sensor 204 puede ubicarse enteramente dentro de la salida 154 del regulador 150. El experto en la técnica será fácilmente consciente de variaciones y alternativas que entran dentro del alcance de la presente invención.

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

Más adelante se describirá con detalle el circuito impulsor 212 y el oscilador de cristal de cuarzo 210 haciendo referencia a las Figuras 4 y 5. El sensor de temperatura 214 comprende un termistor. Se puede utilizar cualquier termistor adecuado. No se necesita un termistor con alta precisión. Por ejemplo, para esta realización es adecuada una precisión de 0,5 °C. En consecuencia, pueden utilizarse pequeños componentes baratos. Sin embargo, en ciertas circunstancias puede omitirse el sensor de temperatura 214. Por ejemplo, en situaciones en las que se probable conocer bien la temperatura (por ejemplo a temperatura ambiente) o si la precisión de la medición de temperatura no es crítica para la aplicación (por ejemplo puede asumirse que la temperatura está dentro de un intervalo particular).

En esta realización, el oscilador de cristal de cuarzo 210 se ubica en comunicación con el gas de la fuente de gas a alta presión. Con otras palabras, el oscilador de cristal de cuarzo 210 está en contacto y se expone al gas de la fuente de gas. También se proporciona un procesador 230 (se muestra en la Figura 3), ya sea por separado o como parte del circuito impulsor 212. Esto se describe más adelante.

En esta disposición, el oscilador de cristal de cuarzo 210 está constantemente bajo presión isostática dentro del alojamiento 202 de la disposición de manómetro 200, y en consecuencia no experimenta un gradiente de presión. Con otras palabras, el estrés mecánico originado por la diferencia de presión entre la atmósfera externa y los componentes internos de la disposición de manómetro 200 se expresa a través del alojamiento 202.

En la Figura 2, todo el conjunto de sensor 204 se ubica dentro del alojamiento 202. Por lo tanto, el oscilador de cristal de cuarzo 210, el circuito impulsor 212 (y el procesador 230) y la batería 216 se ubican dentro del interior 210 del alojamiento 202 de la disposición de manómetro 200. Con otras palabras, todos los componentes del conjunto de sensor 204 se sumergen completamente en el gas y están bajo la presión isostática de gas dentro del alojamiento 202.

Los inventores han encontrado que sólo unos pocos componentes del conjunto de sensor 204 son sensibles a la alta presión. En particular, los componentes más grandes tales como baterías pueden ser susceptibles a presiones altas. Sin embargo, se ha encontrado que las baterías de ion de litio se comportan particularmente bien a presiones altas que se encuentran dentro del cilindro de gas 100. En consecuencia, la batería 216 comprende células de ion de litio. Sin embargo, el experto en la técnica podría contemplar fácilmente fuentes de alimentación adecuadas alternativas.

La ubicación del conjunto de sensor 204 enteramente dentro del alojamiento 202 proporciona una flexibilidad adicional al configurar los reguladores 150. En particular, la ubicación de componentes electrónicos relativamente frágiles enteramente dentro de las paredes de metal fuerte o de compuesto del alojamiento 202 proporciona una protección considerable contra daños ambientales o accidentales. Esto es particularmente importante, por ejemplo, en áreas de almacenamiento o estaciones, en las que los cilindros de gas 100 que comprenden reguladores 150 se ubican adyacentes a otros cilindros de gas 100, maquinaria pesada o superficies ásperas.

Adicionalmente, la ubicación interna del conjunto de sensor 204 protege estos componentes de las condiciones ambientales tal como sal, agua y otros contaminantes. Esto permitiría, por ejemplo, la utilización de un circuito de alta impedancia que es sumamente sensible a daño por sal y agua como parte del conjunto de sensor 204.

Los beneficios de la ubicación interna del conjunto de sensor 204 son únicos de los dispositivos de sensor de estado sólido tal como el oscilador de cristal de cuarzo 210. Por ejemplo, un sensor convencional de presión tal como un medidor Bourdon no puede ubicarse de esta manera. Si bien un sensor basado en cristal puede funcionar totalmente sumergido en gas a presión constante, un sensor convencional de presión no es capaz de medir la presión isostática

y requiere un gradiente de presión para funcionar. En consecuencia, un manómetro convencional debe ubicarse entre la alta presión a medir y la atmósfera. Esto aumenta el riesgo de daño a los componentes externos del manómetro.

5 Una realización de la invención se muestra en la Figura 3. Las características de la realización mostrada en la Figura 3 que son comunes con la Figura 2 tienen asignados los mismos números de referencia y no se describirán otra vez aquí.

10 En la realización de la Figura 3, el regulador 250 difiere del regulador 150 de la Figura 2 en que el regulador 250 se dispone para proporcionar un control automático del gas de la salida 154 por medio de una electroválvula 252. La electroválvula 252 comprende una armadura 254 que es movable en respuesta a una corriente eléctrica a través de las bobinas (no se muestra) de la electroválvula 252. La armadura 254 es movable para abrir o cerrar la válvula de vástago 164, y en consecuencia la abertura 170.

15 La electroválvula 252 mostrada en la Figura 3 está en estado normalmente abierto. Con otras palabras, en ausencia de una corriente eléctrica a través de la electroválvula 252, la armadura 254 está en una posición extendida de tal manera que la válvula de vástago 164 esté abierta, es decir la abertura 170 está abierta. Si se aplica una corriente a la electroválvula 252, la armadura 254 se retraerá y la válvula de vástago 164 se cerrará.

20 El experto en la técnica será fácilmente consciente de las variaciones alternativas de electroválvula que podrían utilizarse con la presente invención. Por ejemplo, en lugar de actuar directamente en la válvula de vástago 164, la armadura 254 podría actuar directamente en un diafragma tal como el diafragma 168 mostrado en la Figura 2. Como alternativa, la armadura 254 podría controlar el flujo a través de un conducto estrecho en comunicación con la salida 154 con el fin de regular el movimiento del diafragma 168. Tal disposición se conoce como una válvula pilotada por diafragma. Como alternativa, podría eliminarse la válvula de vástago y un diafragma podría ser el miembro de
25 válvula que controla directamente el flujo de gas desde la entrada 152 a la salida 154.

La realización comprende una disposición de manómetro 260. Los componentes de la disposición de manómetro 260 comunes con la disposición de manómetro 200 tienen asignados los mismos números de referencia por motivos de claridad.

30 La disposición de manómetro 260 es substancialmente similar a la disposición de manómetro 200 de la primera realización. Sin embargo, la disposición de manómetro 260 comprende además un impulsor electrónico 262 de solenoide conectado a la electroválvula 252 y al conjunto de sensor 204. El impulsor 262 de solenoide se dispone para recibir una señal desde el conjunto de sensor 204 y para controlar la electroválvula 252 en respuesta a esa señal. En consecuencia, la disposición de manómetro 260 puede funcionar para controlar el flujo de gas a través del regulador 250. Con otras palabras, la disposición de manómetro 260 y la electroválvula 252 forman un circuito de realimentación que permite una regulación de presión precisa y a distancia, aguas abajo de la salida 154. Esto puede ser particularmente aplicable a situaciones en las que se necesita una gestión remota de flujo a presión, por ejemplo, en aplicaciones automáticas tales como máquinas de soldeo.

El impulsor 262 de solenoide puede comprender cualquier circuito impulsor adecuado para controlar la electroválvula 252. Un circuito adecuado puede ser una disposición de amplificador operacional que tiene un aporte desde el conjunto de sensor 204 al terminal negativo del amplificador operacional. En consecuencia, podría conectarse un
45 resistor variable al terminal positivo. El resistor variable puede disponerse para proporcionar un nivel constante de referencia y actuar como un comparador. El nivel de referencia puede variarse automática o manualmente.

Un aporte desde el conjunto de sensor 204 al impulsor 262 de solenoide hará que funcione la electroválvula 252. Por ejemplo, si la señal de aporte desde el conjunto de sensor 204 (o, como alternativa, el procesador 230) supera un nivel particular de umbral, el impulsor 262 de solenoide puede energizar la electroválvula 252. La electroválvula 252 puede controlarse de una manera digital (es decir activa o inactiva) en la que se varía un voltaje de CC entre un valor máximo y uno mínimo. Como alternativa, el voltaje de CC desde el impulsor 262 de solenoide puede ser continuamente variable para ajustar con precisión la posición de la válvula de vástago 164.

55 Adicionalmente o como alternativa, el impulsor 262 de solenoide puede controlar la electroválvula 252 por medio de una salida de CC que comprende un componente de CA. Dado que la extensión de la armadura 254 desde la electroválvula 252 es aproximadamente proporcional a la corriente aplicada, esto hace oscilar a la armadura 254 de la electroválvula 252. Tales oscilaciones mitigan el rozamiento estático de la armadura 254, es decir ayudan a evitar que la armadura 254 quede atascada o atorada.

60 Como alternativa, pueden utilizarse otras disposiciones de control, tal como FET, procesadores o ASIC según sea apropiado para controlar el funcionamiento de la electroválvula 252. Además, la electroválvula 252 puede funcionar en modo digital (es decir activa/inactiva) o analógico (es decir continuamente variable) para permitir un movimiento preciso de la válvula de vástago 164 o similar.

65

En la Figura 3 se muestran los principales componentes de la disposición de manómetro 260 por separado del regulador 250. En tal situación, el regulador 250 puede controlarse a distancia por medio de comunicación inalámbrica entre el conjunto de sensor 204 y el impulsor 252 de solenoide. Sin embargo, no es necesario que esto sea así. Por ejemplo, la disposición de manómetro 260 podría integrarse enteramente en el regulador 250 y formar una parte integral del mismo. Por lo tanto, la disposición de manómetro 260 y regulador 250 puede formar un componente unitario con autorregulación que podría colocarse en la salida a una fuente de gas y que podría controlar automáticamente y a distancia la presión del gas que fluye desde el mismo.

Ahora se describirá con más detalle el conjunto de sensor 204 haciendo referencia a las Figuras 4 y 5. El oscilador de cristal de cuarzo 210 comprende una pequeña sección delgada de cuarzo cortado. El cuarzo muestra un comportamiento piezoeléctrico, es decir la aplicación de un voltaje a través 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.

Dos superficies paralelas del oscilador de cristal de cuarzo 210 están metalizadas con el fin de proporcionar unas conexiones eléctricas a través del cristal en bruto. Cuando se aplica un voltaje a través del cristal por medio de los contactos metálicos, el cristal cambia de forma. Con la aplicación de un voltaje alterno al cristal, puede hacerse oscilar al cristal.

El tamaño y el grosor físicos del cristal de cuarzo determinan la frecuencia resonante o característica del cristal de cuarzo. Ciertamente, la frecuencia resonante o característica del cristal 210 es inversamente proporcional al grosor físico entre las dos superficies metalizadas. Los osciladores de cristal de cuarzo se conocen en la técnica y así la estructura del oscilador de cristal de cuarzo 210 no se describirá más aquí.

Adicionalmente, la frecuencia resonante de vibración de un cristal de cuarzo variará dependiendo del ambiente en el que se ubique el cristal. En un vacío, el cristal tendrá una frecuencia particular. Sin embargo, esta frecuencia cambiará en ambientes diferentes. Por ejemplo, en un fluido, la vibración del cristal será amortiguada por las moléculas circundantes y esto afectará a la frecuencia resonante y a la energía necesaria para hacer oscilar el cristal a una amplitud dada.

Adicionalmente, la deposición de materiales circundantes sobre el cristal afectará a la masa del cristal vibrante, alterando la frecuencia resonante. Esto forma la base para los analizadores selectivos comúnmente utilizados de gas en los que en el cristal se forma una capa absorbente y aumenta la masa a medida que se absorbe el gas.

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

El oscilador de cristal de cuarzo 210 de la presente realización tiene forma de diapason y comprende un par de púas 210a (Figura 4) de aproximadamente 5 mm de largo dispuestas para oscilar a una frecuencia resonante de 32,768 kHz. Las púas 210a se forman en la sección plana de cuarzo. Las púas 210a de la horquilla oscilan normalmente en su modo fundamental, en el que se mueven sincronamente acercándose y alejándose entre sí a la frecuencia resonante.

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

Adicionalmente, es deseable utilizar cuarzo con corte AT o corte SC. Con otras palabras, la sección plana de cuarzo se corta con unos ángulos particulares, de modo que el coeficiente de temperatura de la frecuencia de oscilación pueda disponerse para ser parabólico con un pico ancho alrededor de la temperatura ambiente. Por lo tanto, el oscilador de cristal puede disponerse de tal manera que la pendiente en la cima del pico sea precisamente cero.

Tales cristales están comúnmente disponibles con un coste relativo bajo. A diferencia de la mayoría de osciladores de cristal de cuarzo que se utilizan en vacío, en la presente realización el oscilador de cristal de cuarzo 210 se expone al gas a la presión en el alojamiento 202.

El circuito impulsor 212 para impulsar el oscilador de cristal de cuarzo 210 se muestra en la Figura 4. El circuito impulsor 212 debe cumplir varios criterios específicos. En primer lugar, el oscilador de cristal de cuarzo 210 de la presente invención puede exponerse a un intervalo de presiones de gas; potencialmente, las presiones pueden variar desde la presión atmosférica (cuando el cilindro de gas 100 está vacío) a alrededor de 900 bar manométricos si el cilindro de gas contiene un gas presurizado como hidrógeno. De este modo, se necesita que el oscilador de cristal de cuarzo 210 funcione (y se reinicie después de un período sin uso) bajo un gran intervalo de presiones.

En consecuencia, el factor de calidad (Q) del oscilador de cristal de cuarzo 210 variará considerablemente durante el uso. El factor Q es un parámetro adimensional relacionado con la tasa de amortiguación de un oscilador o

resonador. Equivalentemente, puede caracterizar el ancho de banda de un resonador con respecto a su frecuencia central.

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

El circuito impulsor 212 debe poder impulsar el oscilador de cristal de cuarzo 210 a pesar del factor Q cambiante. A medida que aumenta la presión en el cilindro de gas 100, la oscilación del oscilador de cristal de cuarzo 210 se amortiguará cada vez más, y el factor Q caerá. El factor Q que cae requiere que se proporcione una mayor ganancia mediante un amplificador en el circuito impulsor 212. Sin embargo, si se proporciona una amplificación demasiado alta, el circuito impulsor 212, la respuesta desde el oscilador de cristal de cuarzo 210 puede llegar a ser difícil de distinguir. En este caso, el circuito impulsor 212 puede oscilar simplemente a una frecuencia no relacionada, o a la frecuencia de un modo no fundamental del oscilador de cristal de cuarzo 210.

Como una limitación adicional, el circuito impulsor 212 debe ser de baja potencia para poder funcionar en pequeñas baterías de baja potencia durante mucho tiempo con o sin potencia suplementaria, tales como las células fotovoltaicas.

Ahora se describirá el circuito impulsor 212 con referencia a la Figura 4. Con el fin de impulsar el oscilador de cristal de cuarzo 210, el circuito impulsor 212 toma esencialmente una señal de voltaje del oscilador de cristal de cuarzo 210, la amplifica e introduce esa señal de nuevo en el oscilador de cristal de cuarzo 210. La frecuencia resonante fundamental del oscilador de cristal de cuarzo 210 es, en esencia, una función del índice de expansión y de contracción del cuarzo. Esto se determina en general por el corte y el tamaño del cristal.

Sin embargo, los factores externos también afectan a la frecuencia resonante. Cuando la energía de las frecuencias de salida generadas coincide con las pérdidas en el circuito, puede mantenerse una oscilación. El circuito impulsor 212 se dispone para detectar y mantener esta frecuencia de oscilación. La frecuencia entonces puede ser medida por el procesador 230, puede utilizarse para calcular la propiedad apropiada del gas necesaria por el usuario y, si necesario, puede sacarse para unos medios adecuados de exposición (como se describirá más adelante).

El circuito impulsor 212 es alimentado por una batería de 6 V 216. La batería 216, en esta realización, comprende una batería de ion de litio. Sin embargo, fuentes de alimentación alternativas serán fácilmente evidentes para el experto en la técnica; por ejemplo, otros tipos de batería, recargable y no recargable, y una disposición de célula solar.

El circuito impulsor 212 comprende además un amplificador de Emisor Común de par Darlington 218. El par Darlington comprende una estructura compuesta que consiste en dos transistores bipolares NPN D₁ y D₂ configurada de tal manera que la corriente amplificada por un primer transistor es amplificada aún más por el segundo. Esta configuración permite obtener una mayor ganancia de corriente cuando se compara con cada transistor tomado por separado. Como alternativa, pueden utilizarse transistores bipolares PNP.

El par Darlington 218 se dispone en una configuración de realimentación desde un amplificador de Emisor Común 220 de un solo transistor (T₁). En la Figura 5 se muestra un transistor bipolar NPN de empalme. Sin embargo, el experto en la técnica será consciente de disposiciones alternativas de transistores que pueden utilizarse; por ejemplo, un transistor bipolar PNP de empalme o Transistores de Efecto de Campo de Semiconductores de Oxido Metálico (MOSFET).

Como variante, en el circuito de realimentación entre el par Darlington 218 y el amplificador de Emisor Común 220 podría implementarse un control automático de ganancia (no se muestra). Esto puede adoptar la forma de un potenciómetro, resistor variable u otro componente adecuado ubicado en lugar de, por ejemplo, el resistor 22k de más a la derecha mostrado en la Figura 4.

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

El circuito impulsor 212 comprende un transistor T2 adicional seguidor de emisor NPN que actúa como un amplificador separador 222. El amplificador separador 222 se dispone para funcionar como un amortiguador entre el circuito y el ambiente externo. Sin embargo, esta característica es opcional y puede no ser necesaria; por ejemplo, un FET podría conectarse directamente para impulsar el circuito 212.

Un condensador 224 se ubica en serie con el oscilador de cristal de cuarzo 210. El condensador 224, en este ejemplo, tiene un valor de 100 pF y permite al circuito impulsor 212 impulsar al oscilador de cristal de cuarzo 210 en situaciones en las que el cristal se ha contaminado, por ejemplo por sales u otros materiales depositados.

Adicionalmente, el circuito impulsor 212 puede optimizarse para un arranque rápido del oscilador de cristal de cuarzo 210. Para lograr esto, un resistor adicional y un condensador adicional pueden conectarse entre la base del transistor D_1 y tierra. Estos componentes pueden comprender, por ejemplo, un resistor de 10 M Ω y un condensador de 10 nF.

Ahora se describirá un circuito impulsor alternativo 240 con referencia a la Figura 5. El circuito impulsor mostrado en la Figura 6 se configura similarmente a un oscilador Pierce. Los osciladores Pierce se conocen a partir de los osciladores digitales de reloj IC. En esencia, el circuito impulsor 240 comprende un único inversor digital (en forma de transistor) T, tres resistores R_1 , R_2 y R_S , dos condensadores C_1 , C_2 , y el oscilador de cristal de cuarzo 210.

En esta disposición, el oscilador de cristal de cuarzo 210 funciona como un elemento de filtro sumamente selectivo. El resistor R_1 actúa como un resistor de carga para el transistor T. El resistor R_2 actúa como un resistor de realimentación, que predispone el inversor T en su región lineal de funcionamiento. Esto permite eficazmente que el inversor T funcione como un amplificador inversor de ganancia alta. Para limitar la ganancia y para amortiguar oscilaciones no deseadas en el circuito, entre la salida del inversor T y el oscilador de cristal de cuarzo 210 se utiliza otro resistor R_S .

El oscilador de cristal de cuarzo 210, en combinación con C_1 y C_2 , forma un filtro de paso de banda de red Pi. Esto permite un cambio de fase de 180 grados y una ganancia de voltaje desde la salida a la entrada de aproximadamente la frecuencia resonante del oscilador de cristal de cuarzo. El circuito impulsor 240 descrito antes es fiable y barato de fabricar dado que comprende relativamente pocos componentes.

La ganancia del circuito impulsor 240 es generalmente menor que para el circuito impulsor 212. Una menor ganancia puede hacer más difícil el reinicio del oscilador de cristal de cuarzo 210 cuando el oscilador de cristal de cuarzo 210 se expone a presiones altas. Sin embargo, en la presente aplicación, el circuito 240 es particularmente atractivo debido a un ambiente a presión generalmente baja en el que es probable utilizar las disposiciones de manómetro 200, 260.

Como se ha mencionado antes, el conjunto de sensor 204 puede incluir un procesador 230 que recibe aportes desde el oscilador de cristal de cuarzo 210 y del circuito impulsor 212. El procesador 230 puede comprender cualquier disposición adecuada. El procesador 230 puede comprender un microprocesador o unidad de procesamiento central (CPU), o puede comprender un Circuito Integrado de Aplicación Específica (ASIC, *Application Specific Integrated Circuit*) o Distribución de Puerta Programable en Campo (FPGA, *Field Programmable Gate Array*). Como alternativa, el procesador 230 puede ser simplemente una colección de puertas lógicas u otro procesador simple configurado para realizar el cálculo necesario requerido en las realizaciones antes descritas.

Cuando se usa con el oscilador de cristal de cuarzo 210, el procesador 230 puede configurarse para medir la frecuencia f o el período de la señal del circuito impulsor 212. Esto puede lograrse, por ejemplo, contando oscilaciones en un tiempo fijo, y convirtiendo esa frecuencia en un valor de densidad que utiliza un algoritmo o tabla de consulta. Este valor se pasa al procesador 230.

El procesador 230 puede diseñarse, opcionalmente, para producción en masa con el fin de ser idéntico en todas las disposiciones de manómetro 200, con características diferentes en el software y el hardware habilitados para gases diferentes.

Adicionalmente, el procesador 230 también puede configurarse para minimizar el consumo de potencia mediante la implementación de modos de espera o "sleep" que pueden abarcar al procesador 230 y componentes adicionales tal como el circuito impulsor 212 y el oscilador de cristal de cuarzo 210.

Pueden implementarse varios esquemas; por ejemplo, el procesador 230 puede estar en espera durante 10 segundos de cada 11 segundos. Además, el procesador 230 puede controlar el oscilador de cristal de cuarzo 210 y el circuito impulsor 212 de tal manera que estos componentes se ponen en espera durante la mayor parte del tiempo, activando solo los componentes más hambrientos de energía durante $\frac{1}{2}$ segundo cada 30 segundos.

Adicionalmente, la disposición de manómetro 200 puede conectarse a una antena (no se muestra) para la comunicación a distancia con, por ejemplo, una estación base. Esto se menciona más adelante. En este caso, la antena puede ubicarse interna o externamente del alojamiento 202 y conectarse al conjunto de sensor 204 por medio de un cable o conector equivalente. La propia antena puede adaptarse y disponerse para utilizar algún protocolo de comunicaciones adecuado; por ejemplo, una lista no exhaustiva puede ser RFID, Bluetooth, Infrarrojos (IR), inalámbrico 802.11, frecuencia modulada (FM) transmisión o una red celular.

Como alternativa, puede implementarse comunicación por un solo cable. La comunicación por un solo cable solo necesita un conductor metálico para comunicarse: el recorrido de 'retorno' del circuito es proporcionado por el acoplamiento capacitivo a través del aire entre los dispositivos comunicados. El experto en la técnica será fácilmente consciente de alternativas a la antena (y equipo físico de transmisión asociado) que podrían utilizarse con las realizaciones mencionadas en esta memoria.

Sin embargo, la comunicación a distancia es posible sin que se necesite explícitamente una antena externa. Por ejemplo, la comunicación puede realizarse por medio de transmisión acústica desde dentro del alojamiento 202. La transmisión acústica puede ser efectuada por un transmisor situado dentro del alojamiento 202. El transmisor puede comprender, por ejemplo, un simple resonador piezoeléctrico de frecuencia fija.

También se necesita un receptor complementario y este componente puede ubicarse a distancia de la disposición de manómetro 200 y puede comprender equipo físico tal como, por ejemplo, un detector de tono de circuito trabado en fase integrado con un micrófono. Ese tipo de disposición acústica proporciona la ventaja de que no se necesita paso de alimentación (como es el caso para una antena externa) y que todos los componentes electrónicos pueden ubicarse enteramente dentro del alojamiento 202 de la disposición de manómetro 200.

Ahora se describirá la teoría y el funcionamiento de la disposición de manómetro 200 haciendo referencia a las Figuras 6 a 8.

El oscilador de cristal de cuarzo 210 tiene una frecuencia resonante que depende de la densidad del fluido en el que se ubica. La exposición de un oscilador de cristal de tipo diapasón oscilante al gas lleva a un cambio y amortiguación de la frecuencia resonante del cristal (cuando se compara con la frecuencia resonante del cristal en un vacío). Hay varias razones para esto. Si bien hay un efecto de amortiguación del gas en las oscilaciones del cristal, el gas se adhiere a las púas 210a vibrantes del oscilador de cristal tipo diapasón 210 que aumenta la masa del oscilador. Esto lleva a una reducción en la frecuencia resonante del oscilador de cristal de cuarzo según el movimiento de un haz elástico, fijo y unilateral:

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

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

Dónde ω_0 es el cambio relativo en la frecuencia angular resonante, ρ es la densidad de gas, t es el grosor del oscilador de cuarzo, ρ_q es la densidad del oscilador de cuarzo y w es la anchura de la horquilla, c_1 y c_2 son constantes geométricamente dependientes y ∂ es el grosor de la capa superficial de gas como se define por:

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

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

Las dos partes de la ecuación 1) se relacionan con a) la masa de aditivo del gas en las púas del oscilador de cristal de cuarzo 210 y con b) las fuerzas de cizalla que surgen en la capa superficial más exterior de las púas durante la oscilación.

La ecuación puede reescribirse de este modo en función de la frecuencia y simplificarse a:

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

$$\text{Dónde } A = \frac{c_1 t}{2\rho_q w} f_{0,B} = \frac{c_2}{2\rho_q w} \sqrt{\frac{\eta}{\pi}} \sqrt{f_0}$$

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

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

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

En consecuencia, para una buena aproximación, el cambio en la frecuencia es proporcional al cambio en la densidad del gas al que se expone el oscilador de cristal de cuarzo.

La Figura 6 muestra, para varias mezclas diferentes de gases/gas, que la frecuencia resonante del oscilador de cristal de cuarzo 210 varía linealmente como una función de la densidad.

En general, la sensibilidad del oscilador de cristal de cuarzo 210 es que un 5% de cambio en la frecuencia se ve con, por ejemplo, gas Oxígeno (que tiene un número másico 32) a 250 bar cuando se compara con la presión atmosférica. Tales presiones y densidades de gas son típicas de los cilindros de almacenamiento utilizados para gases permanentes, que normalmente están entre 137 y 450 bar manométricos para la mayoría de los gases, y hasta 700 o 900 bar manométricos para el helio y el hidrógeno.

Adicionalmente, el oscilador de cristal de cuarzo 210 es particularmente adecuado para el uso como un sensor para gases suministrados comercialmente. En primer lugar, para percibir correctamente la densidad de un gas, es necesario que el gas esté libre de polvo y gotitas de líquidos, que se garantiza con gases suministrados comercialmente, pero no con el aire o en la generalidad de situaciones de monitorización de presión.

Lo mencionado antes ilustra que la respuesta en frecuencia del oscilador de cristal de cuarzo 210 es, en una aproximación buena, proporcional a la densidad. Sin embargo, con el fin de medir la presión, se necesita derivar una relación entre la presión y la densidad. Esto se determina a partir de:

$$5) \quad PV = nRT$$

Dónde P es la presión de gas, V es el volumen de gas, n es el número de moles de gas, R es la constante de gas y T es la temperatura. Siguiendo en:

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

Y

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

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

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

En consecuencia, para un peso molecular conocido de gas (o peso molecular medio de gas en el caso de una mezcla conocida), la presión de gas puede derivarse con precisión a partir de la densidad del gas y de la temperatura del gas.

Las aproximaciones anteriores asumen que la compresibilidad del gas, Z, es igual a uno. En las disposiciones convencionales, esta aproximación sólo se mantiene para presiones bajas en casos en los que se hace una medición directa de la presión. A presiones altas, la compresibilidad Z no es proporcional a la presión de gas de la manera esperada en un gas ideal. Por lo tanto, un manómetro convencional tal como un medidor de Bourdon debe corregirse según la compresibilidad con el fin de leer correctamente el contenido - masa de gas - de un cilindro de gas a presiones altas. Anteriormente se mostró que el oscilador de cristal de cuarzo 210 se corrige intrínsecamente para la compresibilidad Z cuando se mide la densidad. Pero cuando se mide la presión en valores altos de presión, un medidor de cuarzo debe corregirse en cuanto a Z.

Las Figuras 7 y 8 ilustran la respuesta en frecuencia del oscilador de cristal de cuarzo 210 como una función de la presión. La Figura 7 muestra un gráfico del cambio de frecuencia (en kHz) en el eje Y para el oscilador de cristal de cuarzo 210 como una función de la presión (bar manométricos) en el eje X para presiones en el intervalo 0 - 6 bar manométricos. La Figura 8 muestra un gráfico del cambio de frecuencia (en kHz) en el eje Y para el oscilador de cristal de cuarzo 210 como una función de la presión (bar manométricos) en el eje X para presiones en el intervalo 0

- 300 bar manométricos. En ambos casos, el gas utilizado fue Ferromax 15, que comprende 82,5% de Ar, 15% de CO₂ y 2,5% de O₂.

Como se ilustra en las Figuras 7 y 8, en una buena aproximación, el cambio en la frecuencia Δf del oscilador de cristal de cuarzo 210 es lineal con la presión sobre dos órdenes de magnitud de la presión. Por lo tanto, si se conoce la temperatura y el peso molecular del gas, entonces el oscilador de cristal de cuarzo 210 puede funcionar como un manómetro preciso.

Como se ha descrito anteriormente, la temperatura puede medirse fácilmente utilizando componentes baratos y extensamente disponibles, tal como un termistor. Además, en el caso de gases permanentes suministrados a consumidores envasados en cilindros de gas, el peso molecular del gas (o peso molecular medio de una mezcla homogénea de gases) se conoce generalmente muy bien.

Por lo tanto, si bien el planteamiento descrito antes puede ser impreciso si el gas no es uniforme - por ejemplo, si el gas es una mezcla no uniforme como un cilindro parcialmente lleno de fluido o una mezcla recientemente preparada e insuficientemente mezclada de gases ligeros y pesados, tal situación es improbable que se produzca en la mayoría de las aplicaciones de gas envasado.

Adicionalmente, es sorprendente que el oscilador de cristal de cuarzo 210 puede funcionar en un intervalo de presiones entre 0 a 300 bar manométricos, mientras es lo suficientemente preciso como para medir con precisión valores de presión dos órdenes de magnitud inferiores al límite superior de este intervalo. Esta propiedad hace que el oscilador de cristal de cuarzo 210 sea particularmente adecuado para el uso como manómetro como parte de la disposición de manómetro 200.

Esto es porque la disposición de manómetro 200 es capaz de medir con fiabilidad y precisión pequeñas variaciones de presión como puede medirse típicamente en una aplicación de baja presión (por ejemplo entre 0 y aproximadamente 5 bar manométricos) tal como inmediatamente aguas abajo del regulador 150.

La disposición como se ha descrito antes es particularmente adecuada para la medición de presiones bajas en las que hay riesgo de que durante el uso se produzcan presiones altas. Dado que el oscilador de cristal de cuarzo 210 es un componente de estado sólido y puede funcionar a presiones hasta 900 bar, si se produce una condición inicial de sobre-presión en el tubo de salida 158, el conjunto de sensor 204 no se verá afectado y continuará funcionando según sea necesario. Con otras palabras, los inventores han desarrollado un manómetro preciso a baja presión que es enteramente resistente a la exposición a presiones altas.

Por contra, un manómetro convencional tal como un medidor de Bourdon se dañará permanentemente y puede fallar si se expone incluso a un breve impulso de gas a alta presión, tal como puede ocurrir durante condiciones de "*creep* o *fluencia*" o cuando un cilindro de gas se hace funcionar por primera vez.

Adicionalmente, la disposición de la presente invención permite medir presiones con muy alta precisión con una definición de partes por millón. Junto con la respuesta lineal del oscilador de cristal de cuarzo 210 con la densidad y/o la presión, la alta precisión permite medir con precisión gases incluso muy ligeros como H₂ y He.

Además, si se tiene en cuenta la compresibilidad, entonces el mismo medidor es capaz de leer las presiones incluso más altas sin ninguna modificación. Por el contrario, un manómetro convencional sólo sería adecuado para un intervalo particular de presiones y tendría que ser reemplazado con el fin de leer un intervalo diferente de presiones.

Ahora se describe un método haciendo referencia a la Figura 9.

Etapa 300: Inicializar medición

En la etapa 300, se inicializa la medición de la presión de gas aguas abajo de la salida 158. Esto puede ser activado, por ejemplo, por un usuario que aprieta un botón en el exterior del cilindro de gas 100. Como alternativa, la medición puede ser iniciada por medio de una conexión a distancia, por ejemplo una señal transmitida a través de una red inalámbrica y recibida por la disposición de manómetro 200 a través de una antena.

Como alternativa o adicionalmente, la disposición de manómetro 200 puede configurarse para inicializarse a distancia o en un temporizador. El método procede a la etapa 302.

Etapa 302: Impulsar el oscilador de cristal de cuarzo

Una vez inicializado, el circuito impulsor 212 se utiliza para impulsar el oscilador de cristal de cuarzo 210. Durante la inicialización, el circuito impulsor 212 aplica un voltaje de CA aleatorio de ruido a través del cristal 210. Por lo menos una parte de ese voltaje aleatorio será a una frecuencia adecuada para hacer oscilar al cristal 210. El cristal 210 comenzará entonces a oscilar en sincronía con esa señal.

Por medio del efecto piezoeléctrico, el movimiento del oscilador de cristal de cuarzo 210 generará entonces un voltaje en la banda de frecuencia resonante del oscilador de cristal de cuarzo 210. El circuito impulsor 212 amplifica entonces la señal generada por el oscilador de cristal de cuarzo 210, de tal manera que las señales generadas en la banda de frecuencia del resonador de cristal de cuarzo 202 dominan la salida del circuito impulsor 212. La banda estrecha de resonancia del cristal de cuarzo filtra todas las frecuencias no deseadas y el circuito impulsor 212 impulsa entonces el oscilador de cristal de cuarzo 210 a la frecuencia resonante fundamental f . Una vez que el oscilador de cristal de cuarzo 210 se ha estabilizado en una frecuencia resonante particular, el método procede a la etapa 304.

Etapa 304: Medir frecuencia resonante de oscilador de cristal de cuarzo

La frecuencia resonante f depende de las condiciones de presión dentro del alojamiento 202. A su vez, las condiciones de presión en el interior 206 del alojamiento 202 son representativas de las condiciones de presión aguas abajo de la salida 154 del regulador 150.

En la presente realización, el cambio en la frecuencia resonante Δf es, en una buena aproximación, proporcional en magnitud al cambio en la presión del gas en el interior 206 del alojamiento 202 y disminuirá con el aumento de presión.

Con el fin de hacer una medición, la frecuencia del oscilador de cristal de cuarzo 210 se mide durante un período 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 frecuencia se lleva a cabo en el procesador 230. El procesador 230 también puede apuntar el momento, T_1 , en el que se empezó la medición.

Una vez que se ha medido la frecuencia, el método continúa a la etapa 306.

Etapa 306: Medir temperatura de gas

En la etapa 306, el sensor de temperatura 214 mide la temperatura del gas dentro del alojamiento 202. Esta medición se lleva a cabo con la finalidad de calcular la presión a partir del cambio de frecuencia medido en la etapa 304.

No es necesario que la medición de temperatura sea particularmente precisa. Por ejemplo, si el sensor de temperatura 214 es preciso hasta 0,5 °C, entonces esto corresponde a un error de sólo aproximadamente una parte de seiscientos (asumiendo temperaturas atmosféricas normales) en el valor absoluto de temperatura necesario para el cálculo de la presión en la etapa 308.

Sin embargo, en ciertas circunstancias puede omitirse el sensor de temperatura 214. Por ejemplo, en situaciones en las que se probable conocer bien la temperatura (por ejemplo a temperatura ambiente) o si la precisión de la medición de temperatura no es crítica para la aplicación (por ejemplo puede asumirse que la temperatura está dentro de un intervalo particular). En este caso, la determinación de la temperatura en la etapa 306 puede considerarse que es la asignación de un valor particular de temperatura almacenado por el procesador 230 y se utiliza en el cálculo de la presión en etapas subsiguientes.

Etapa 308: Determinar la presión de salida de gas

Una vez que se ha medido la frecuencia del oscilador de cristal de cuarzo 210 satisfactoriamente en la etapa 304 y la temperatura medida en la etapa 306, el procesador 230 calcula entonces la presión de gas dentro del interior 206 del alojamiento 202.

Esto se hace utilizando la ecuación 8) anterior en la que la presión P del gas puede calcularse directamente a partir de la densidad, la temperatura y el peso molecular del gas en cuestión. Por lo tanto, sabiendo la frecuencia resonante según se mide en la etapa 304, la temperatura T conocida del gas en el alojamiento 202 medida en la etapa 306 y el peso molecular conocido del gas (o peso molecular medio de una mezcla de gases), puede hacerse una medición precisa de la presión. El método procede entonces a la etapa 310.

Etapa 310: Comunicar y almacenar resultados

La presión de gas se expone de varias maneras. Por ejemplo, una pantalla (no se muestra) conectada al alojamiento 202 o al regulador 150 podría exponer la presión de gas aguas abajo de la salida 154 del regulador 150. En la alternativa, la medición de presión podría comunicarse a distancia a una estación base o a un medidor ubicado en un accesorio adyacente como se describirá más adelante.

Una vez que se ha determinado la presión del gas, esto también puede registrarse en una memoria interna asociada con el procesador 230 de la disposición de manómetro 200 para una recuperación posterior. Como una alternativa

todavía adicional, la presión de gas en el momento T_1 podría almacenarse en una memoria local de dicho procesador 230 para generar un registro de tiempo.

El método procede entonces a la etapa 312.

Etapa 312: Apagar el conjunto de sensor

No es necesario mantener operacional la disposición de manómetro 200 en todo momento. Al contrario, es beneficioso reducir el consumo de energía desactivando la disposición de manómetro 200 cuando no se usa. Esto prolonga la vida de la batería 216.

La configuración del circuito impulsor 212 permite al oscilador de cristal de cuarzo 210 ser reiniciado sin tener en consideración la presión de gas en el alojamiento 202. Por lo tanto, la disposición de manómetro 200 puede desconectarse como y cuando sea necesario con el fin de ahorrar energía de batería.

Unas variaciones de las realizaciones anteriores serán evidentes para el experto en la técnica. La precisa configuración de componentes de hardware y de software puede diferir y todavía entrar dentro del alcance de la presente invención. El experto en la técnica será fácilmente consciente de configuraciones alternativas que podrían utilizarse.

Por ejemplo, las realizaciones descritas antes han utilizado un oscilador de cristal de cuarzo que tiene una frecuencia fundamental de 32,768 kHz. Sin embargo, pueden utilizarse cristales que funcionan a frecuencias alternativas. Por ejemplo, con las realizaciones descritas antes pueden utilizarse osciladores de cristal de cuarzo que funcionan a 60 kHz y 100 kHz. En la Figura 10 se muestra un gráfico que muestra el cambio de frecuencia con la densidad para cristales diferentes. Como un ejemplo adicional, podría utilizarse un oscilador de cristal que funciona a una frecuencia de 1,8 MHz.

El funcionamiento a mayor frecuencia permite monitorizar la frecuencia más frecuentemente porque se requiere un período de tiempo más corto para muestrear un número dado de ciclos. Adicionalmente, los cristales de mayor frecuencia permiten utilizar un menor ciclo de trabajo en un modo "sleep" (dormir) de un cristal. A modo de explicación, en la mayoría de los casos, el cristal y el circuito impulsor estarán la mayor parte del tiempo inactivo, sólo se activa durante un segundo o así cuando se necesita una medición. Esto puede ocurrir, por ejemplo, una vez en un minuto. Cuando se utiliza un cristal de mayor frecuencia, la presión puede medirse más rápido. Por lo tanto, se puede reducir el tiempo en el que el cristal es operacional. Esto puede reducir el consumo de energía y mejorar concomitantemente la vida de batería.

Una variación adicional se describe haciendo referencia a la Figura 11. En la Figura 11 se muestra un conjunto de sensor 400. El conjunto de sensor 400 comprende un primer oscilador de cristal de cuarzo 402 y un segundo oscilador de cristal de cuarzo 404. El primer oscilador de cristal de cuarzo 402 es impulsado por un circuito impulsor 408. El segundo oscilador de cristal de cuarzo 404 es impulsado por un circuito impulsor 410.

El primer oscilador de cristal de cuarzo 402 y un segundo oscilador de cristal de cuarzo 404 difieren en sus coeficientes de sensibilidad σ , donde

$$9) \quad \sigma = \frac{\Delta f}{p}$$

Dónde Δf es el cambio en la frecuencia del oscilador de cristal de cuarzo 402, 404 y p es la presión del gas que se está midiendo. El primer oscilador de cristal de cuarzo 402 puede tener un coeficiente de sensibilidad σ_1 grande, que proporciona un cambio grande en la frecuencia con la presión. Sin embargo, tal cristal puede no ser adecuado para el funcionamiento a alta presión, donde una excesiva amortiguación (es decir una pérdida del factor Q) reduce las prestaciones de tal cristal. Por lo tanto, se proporciona el segundo oscilador de cristal de cuarzo 404 que tiene un menor coeficiente de sensibilidad σ_2 (donde $\sigma_1 > \sigma_2$) que permite medir con fiabilidad presiones altas.

Otra situación en la que puede ser útil tener dos cristales es en el caso de que haya peligro de que uno o ambos cristales se contamine ya sea de manera permanente o temporal. Aquí se recomienda el uso de dos cristales idénticos. La contaminación afectará a ambos cristales, pero, debido a su posición diferente en el recorrido de gas, esto casi siempre diferirá ligeramente.

En funcionamiento correcto los dos dará la misma frecuencia. Sin embargo, en el caso de contaminación, los dos indicarán una frecuencia incorrecta, pero, a causa de sus niveles diferentes de contaminación, frecuencias incorrectas diferentes: esta discrepancia puede ser indicada al usuario como una advertencia de que el conjunto de sensor necesita limpieza o reemplazo en el caso de contaminación permanente y que la indicación de presión puede ser en cualquier caso imprecisa.

Puede proporcionarse un conmutador electrónico 412 que permite seleccionar uno de los osciladores de cristal de cuarzo 452, 454, dependiendo de si se va a hacer una medición de presión baja o alta. Tal adaptabilidad no puede conseguirse con un manómetro convencional tal como un medidor de Bourdon, que debe ser reemplazado con un medidor diferente para medir diferentes intervalos de presión.

Adicionalmente, las realizaciones anteriores se han descrito mediante la medición de la frecuencia absoluta de un oscilador de cristal de cuarzo. Sin embargo, en electrónica auto-contenida incorporada en un regulador asociado a un cilindro de gas, puede ser ventajoso medir el cambio en la frecuencia del sensor por comparación de esa frecuencia con un cristal de referencia de tipo idéntico pero encerrado en un paquete al vacío o a presión. El paquete a presión puede contener gas con una densidad seleccionada, gas en condiciones atmosféricas o puede estar abierto a la atmósfera externa del cilindro de gas.

Un conjunto de sensor adecuado 450 se muestra en la Figura 12. El conjunto de sensor 450 comprende un primer oscilador de cristal de cuarzo 452 y un segundo oscilador de cristal de cuarzo 454. El primer oscilador de cristal de cuarzo 452 es un cristal de referencia que se ubica dentro de un recipiente sellado 456 al vacío. El primer oscilador de cristal de cuarzo 452 es impulsado por un circuito impulsor 458.

El segundo oscilador de cristal de cuarzo 454 es un cristal similar al cristal 210 descrito en las primeras realizaciones. El segundo oscilador de cristal de cuarzo 454 se expone al ambiente de gas dentro del alojamiento 202. El segundo oscilador de cristal de cuarzo 454 es impulsado por un circuito impulsor 460.

Esta comparación puede realizarse utilizando un circuito electrónico mezclador 464 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 debido, por ejemplo, a la temperatura.

Además, puede simplificarse la red de circuitos utilizados en el conjunto de sensor 204 porque sólo es necesario medir la diferencia de frecuencia. Además, este planteamiento es particularmente adecuado para el uso con un oscilador de cristal a alta frecuencia (MHz), en el que puede ser difícil medir directamente la frecuencia de cristal.

Adicionalmente, toda la electrónica necesaria para medir y exponer la densidad, la masa o el flujo másico no tiene por qué montarse sobre o dentro del alojamiento 202. Por ejemplo, las funciones electrónicas podrían dividirse entre unidades montadas permanentemente en el cilindro y las unidades montadas en una estación para uso del cliente o montadas temporalmente en la salida del cilindro tal como la posición utilizada normalmente para un caudalímetro convencional.

Un ejemplo de esta disposición se muestra haciendo referencia a la Figura 13. La disposición comprende un conjunto 50 de cilindro de gas que comprende un cilindro de gas 500, un regulador 502 y una disposición de manómetro 504. El cilindro de gas 500, el regulador 502 y la disposición de manómetro 504 son substancialmente similares al cilindro de gas 100, el regulador 150 y la disposición de manómetro 200 como se ha descrito anteriormente con referencia a realizaciones anteriores.

En esta realización, la disposición de manómetro 504 comprende un oscilador de cristal de cuarzo y un circuito impulsor (no se muestra) similar al oscilador de cristal de cuarzo 210 y al circuito impulsor 212 de las primeras realizaciones. Se proporciona una antena 506 para la comunicación mediante cualquier protocolo de comunicación a distancia adecuado; por ejemplo, Bluetooth, Infrarrojo (IR) o RFID. Como alternativa, puede utilizarse comunicación por un solo cable.

Como una alternativa adicional, pueden utilizarse métodos acústicos de comunicación. La ventaja de tales métodos es que se puede efectuar comunicación a distancia sin el requisito de una antena externa 506.

Un tubo de conexión 508 se conecta a la salida del cilindro de gas 500. El tubo de conexión se termina con una conexión rápida 510. La conexión rápida 510 permite a los tubos de conexión o a los componentes conectarse y desconectarse fácil y rápidamente del cilindro de gas 500.

Se proporciona una unidad de conexión rápida 550 para la conexión al cilindro de gas 500. Se proporciona un conector complementario 512 de conexión rápida para la conexión al conector 510. Además, el unidad de conexión rápida 550 se proporciona con una unidad de datos 552. La unidad de datos 552 comprende un display 554 y una antena 556 para la comunicación con la antena 506 de la disposición de manómetro 504. El display 554 puede comprender, por ejemplo, un LCD, LED o display legible a la luz para minimizar el consumo de energía y maximizar la visibilidad del display.

La unidad de datos 552 puede apuntar varios parámetros según son medidos por el conjunto de sensor 502 del conjunto de cilindro de gas 50. Por ejemplo, la unidad de datos 552 podría apuntar la presión frente al tiempo. Tal apunte podría ser útil, por ejemplo, para contratistas de soldeo que desean comprobar que había presión suficiente durante largos procedimientos de soldeo con gas en componentes críticos, o para suministrar datos a una compañía acerca del uso de un cliente particular.

Como alternativa, los datos desde la unidad de datos 550 pueden sacarse para una máquina de soldeo habilitada por ordenador (para aplicaciones de soldeo) u otros equipos que utilicen gas, para permitir el cálculo de parámetros derivados, junto con mensajes de advertencia.

Adicionalmente, la unidad de datos 550 puede disponerse para proporcionar las funciones siguientes: contener y exponer datos de la presión de gas, es decir qué tipos de soldeo, qué tipos de metal soldado, o proporcionar enlaces de modo que teléfonos móviles u ordenadores puedan recoger los datos detallados; proporcionar funcionamiento multi-modo, por ejemplo un modo proveedor/abastecedor y un modo cliente; exponer cantidades diferentes al cliente de las que expone la compañía de gas que rellena los cilindros; permitir el aporte de datos; proporcionar datos tales como un número de cilindro, el tipo de gas, un certificado de análisis, una historia de cliente (que tuvo el cilindro en unas fechas), el cilindro puede llevar en forma de resumen datos de seguridad y consejos funcionales.

Como alternativa, todos los ejemplos anteriores pueden, opcionalmente, procesarse, almacenarse u obtenerse de un sistema situado enteramente en (o dentro) el cilindro de gas 500 como se ha mencionado en términos de la disposición de manómetro 200, 502.

Si bien las realizaciones anteriores se han descrito haciendo referencia al uso de un oscilador de cristal de cuarzo, el experto en la técnica será fácilmente consciente de materiales piezoeléctricos alternativos que también podrían utilizarse. 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, óxido de germanio bismuto, cerámica de titanato de circonio policristalino, cerámica de alta-alumina, compuesto de óxido de zinc-silicio, o tartrato de dipotasio.

Las realizaciones de la presente invención han sido descritas con particular referencia a los ejemplos ilustrados. Aunque en los dibujos se muestren ejemplos específicos y se describan detalladamente en esta memoria, debería entenderse que los dibujos y descripción detallada no pretenden limitar la invención a la forma particular descrita. Se sobreentenderá que pueden realizarse variaciones y modificaciones a los ejemplos descritos dentro del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un manómetro (200; 260) susceptible de medir la presión de un gas permanente, el manómetro comprende un alojamiento (202) conectable a una fuente de gas y que comprende un interior (206) que, durante el uso, está en comunicación con dicho gas permanente, el manómetro comprende además un conjunto de sensor (204) ubicado dentro de dicho alojamiento y que incluye un procesador (230), un oscilador piezoeléctrico (210) y un circuito impulsor (212) para impulsar dicho oscilador piezoeléctrico a una frecuencia de oscilación, el oscilador piezoeléctrico, durante el uso, se ubica en contacto con dicho gas permanente, dicho conjunto de sensor se dispone para medir la frecuencia de oscilación de dicho oscilador piezoeléctrico en dicho gas permanente y dicho procesador se configura para determinar la presión del gas permanente, a partir de la medición de frecuencia y la temperatura conocida y el peso molecular conocido del gas permanente.
2. Un manómetro según la reivindicación 1, en donde el conjunto de sensor comprende además un sensor de temperatura (214) para medir la temperatura del gas permanente dentro de dicho alojamiento.
3. Un manómetro según la reivindicación 1 ó la reivindicación 2, en donde el circuito impulsor comprende un par Darlington (218) dispuesto en una configuración de realimentación desde un amplificador de emisor común (220).
4. Un método o manómetro según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el oscilador piezoeléctrico comprende un oscilador de cristal de cuarzo.
5. Un dispositivo de reducción de presión (150; 250) que comprende el manómetro de cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
6. Un dispositivo de reducción de presión según la reivindicación 5, en forma de un regulador de presión.
7. Un dispositivo de reducción de presión según la reivindicación 6, en donde el regulador de presión es un regulador electrónico de presión (250) y el manómetro puede funcionar para controlar el regulador electrónico de presión.
8. Un dispositivo de reducción de presión según la reivindicación 7, en donde el regulador electrónico de presión comprende una electroválvula (252), el conjunto de sensor puede funcionar para controlar, durante el uso, la electroválvula.

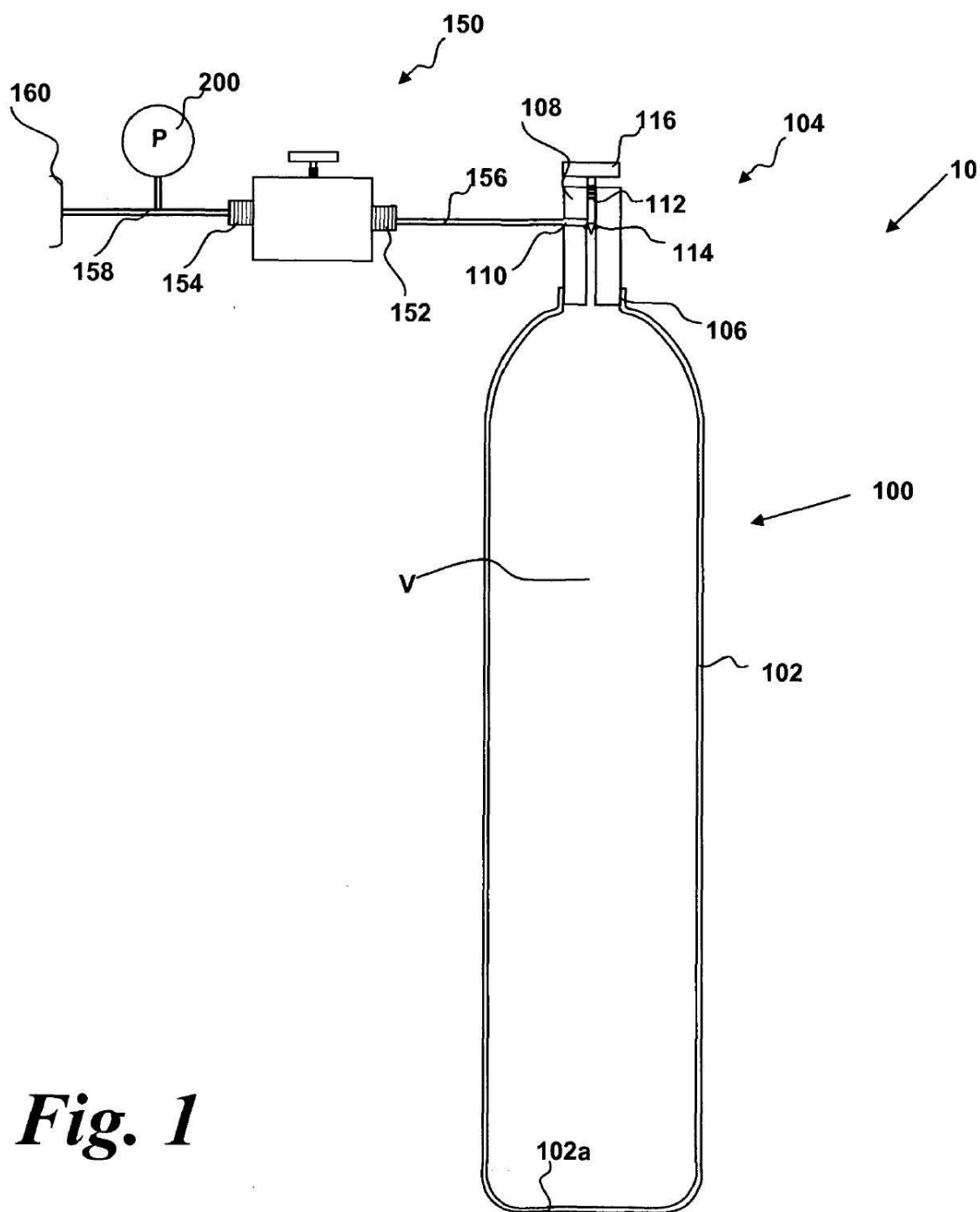


Fig. 1

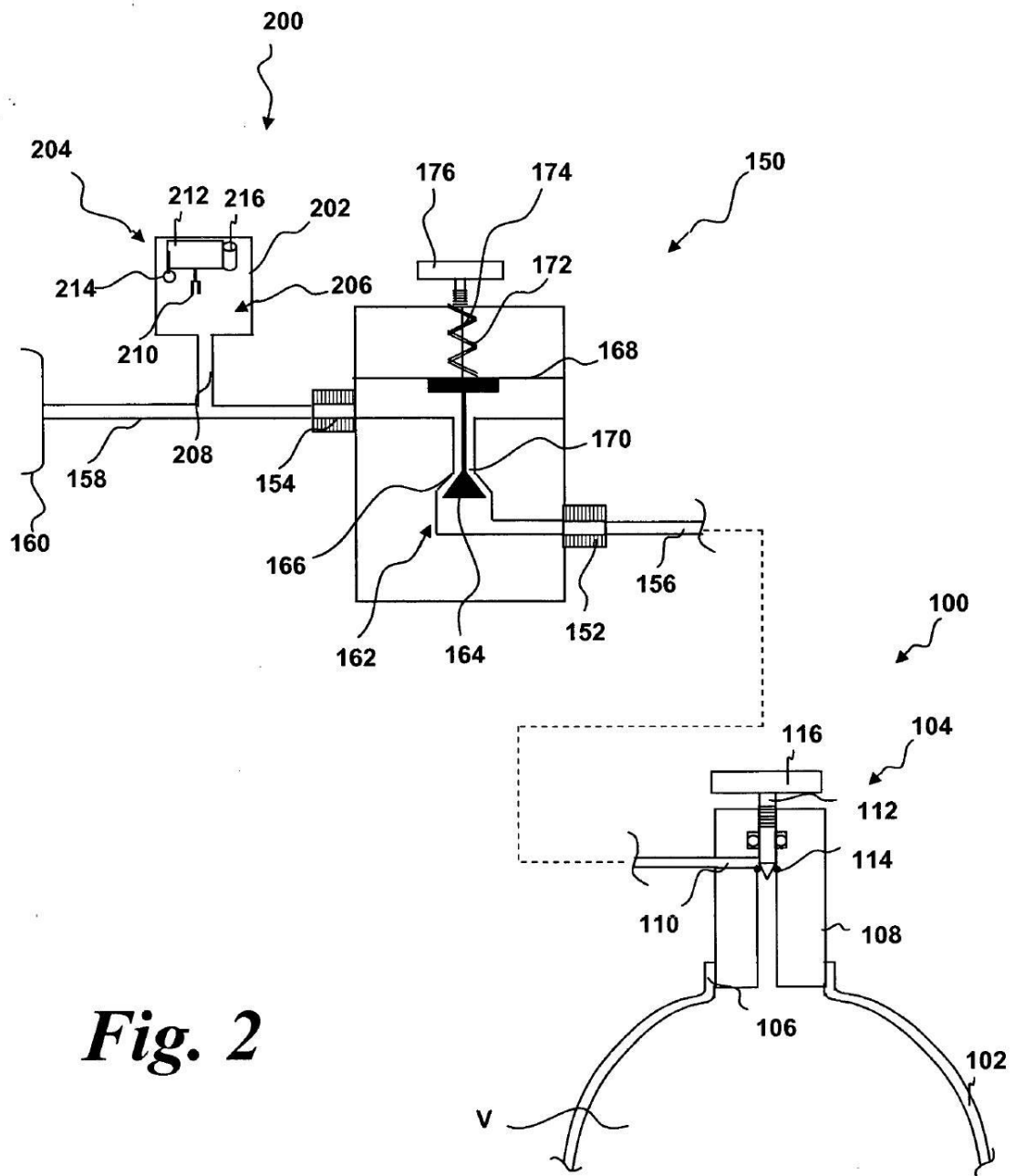
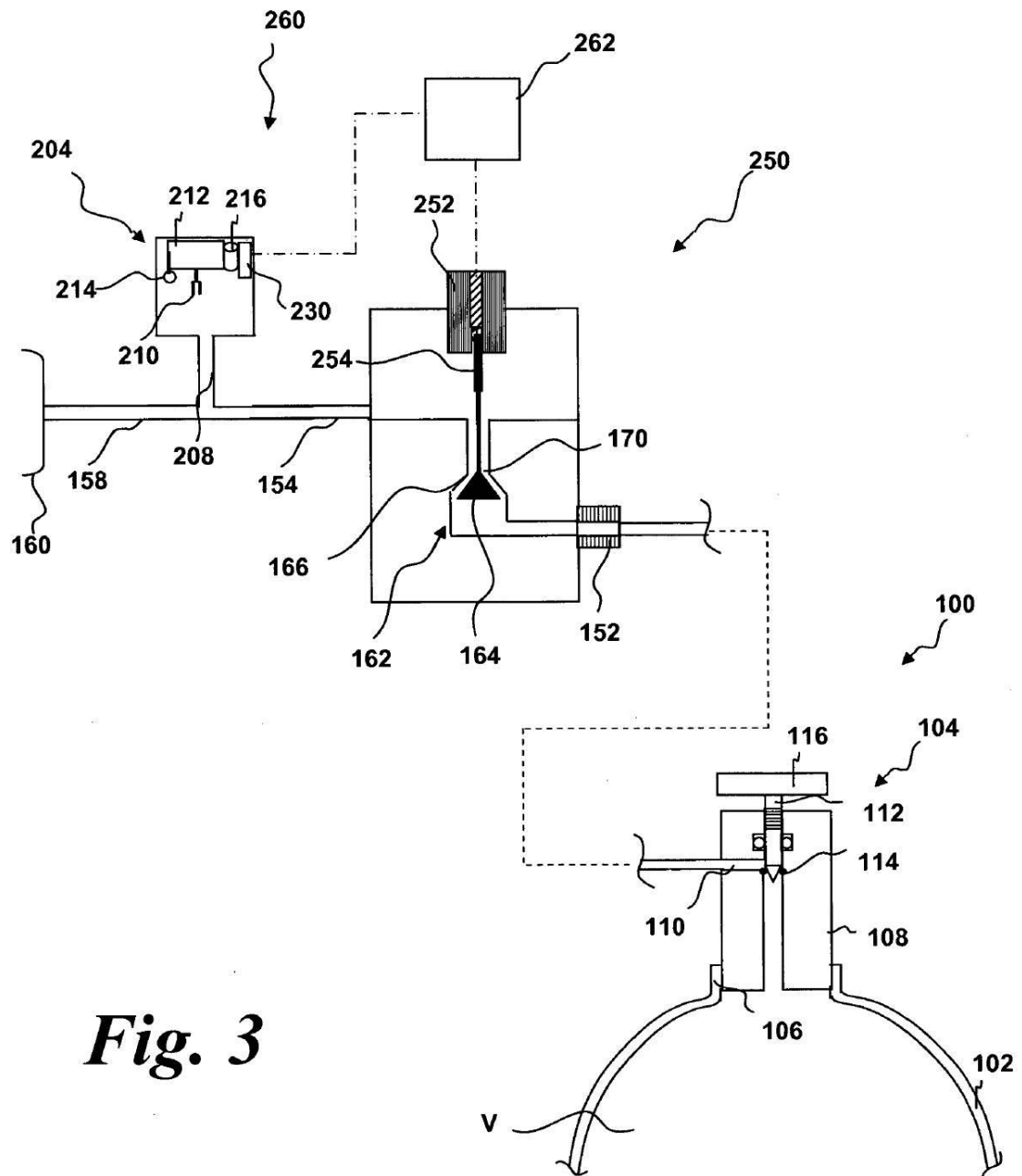


Fig. 2



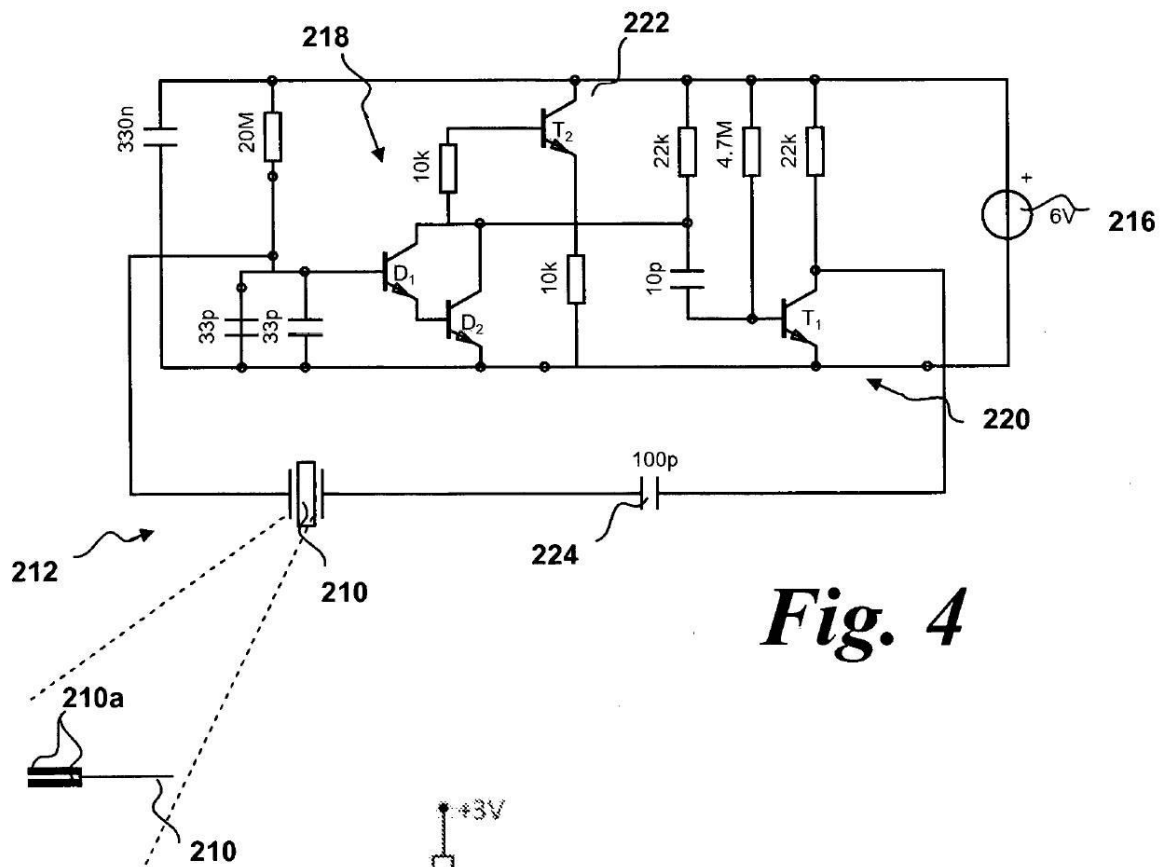


Fig. 4

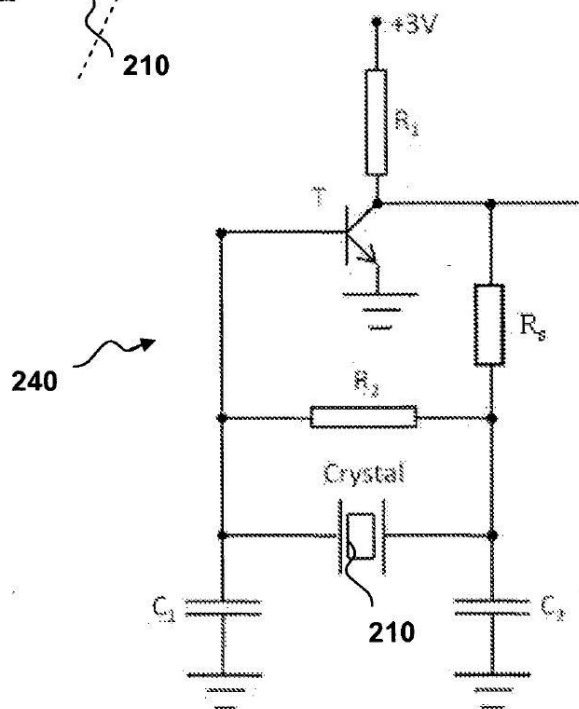


Fig. 5

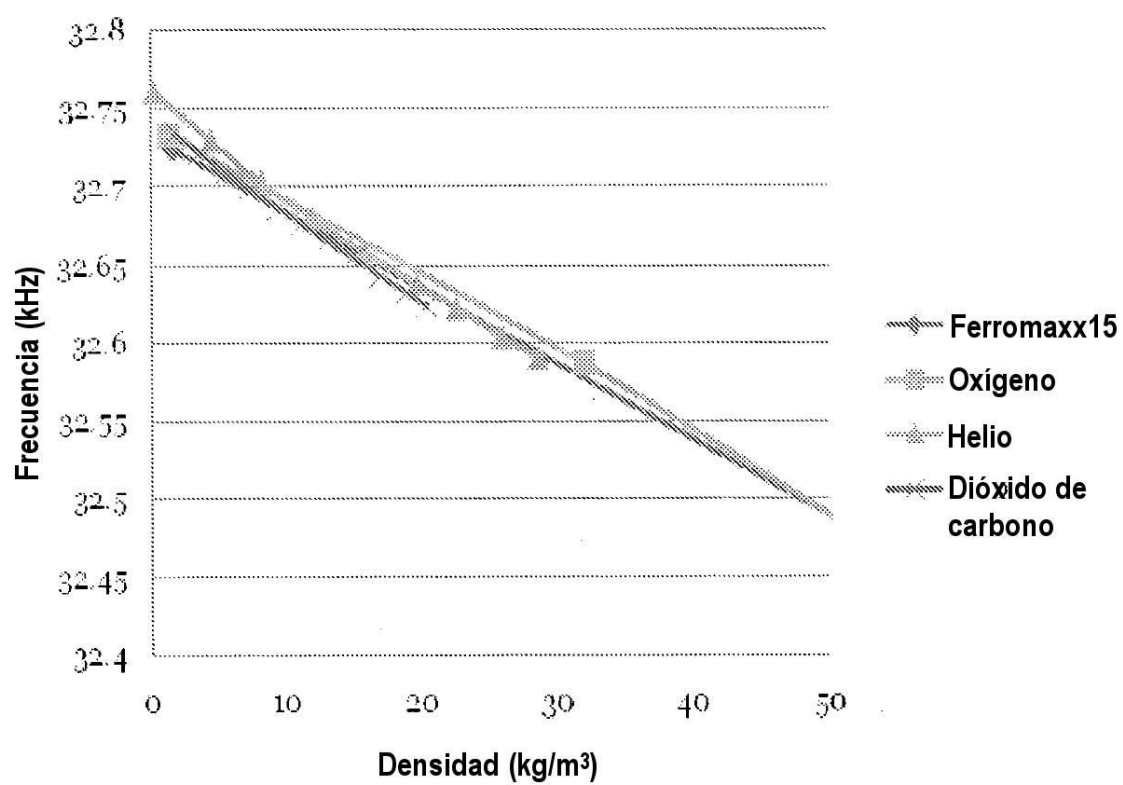


Fig. 6

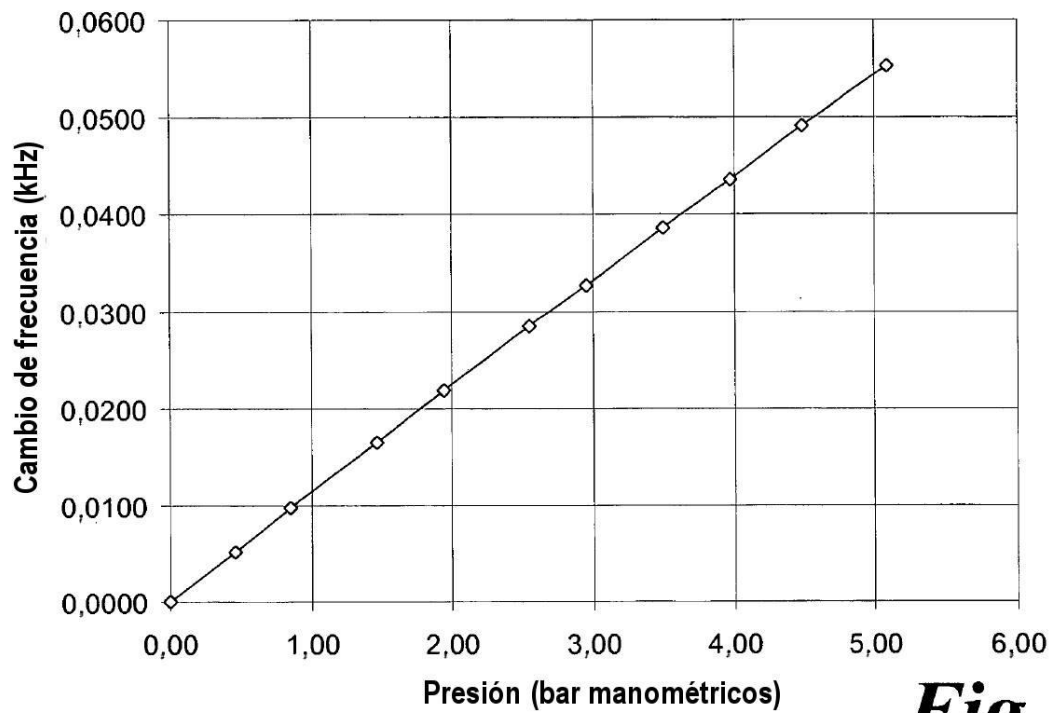


Fig. 7

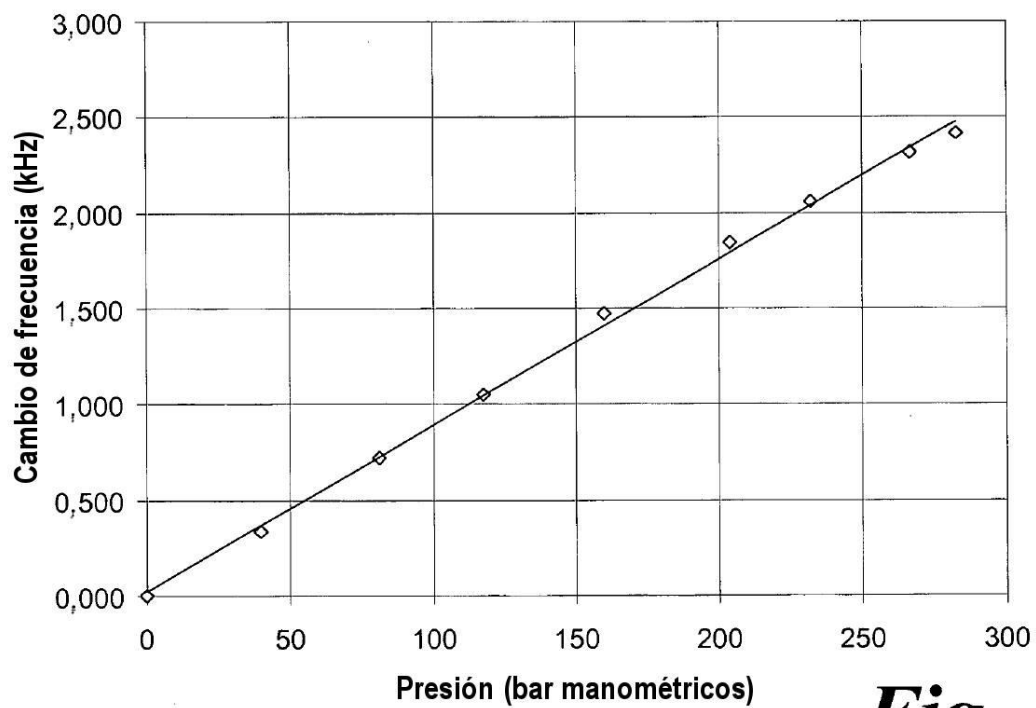


Fig. 8

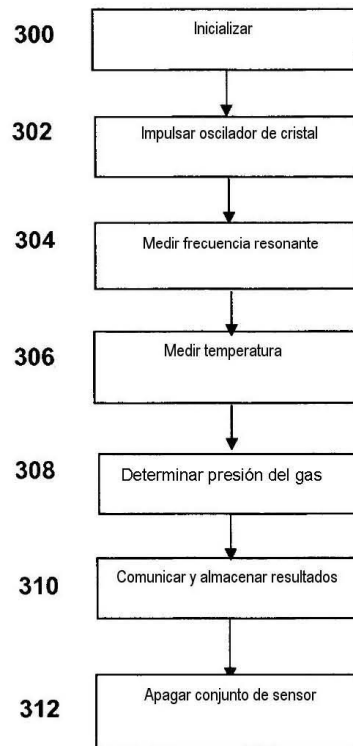
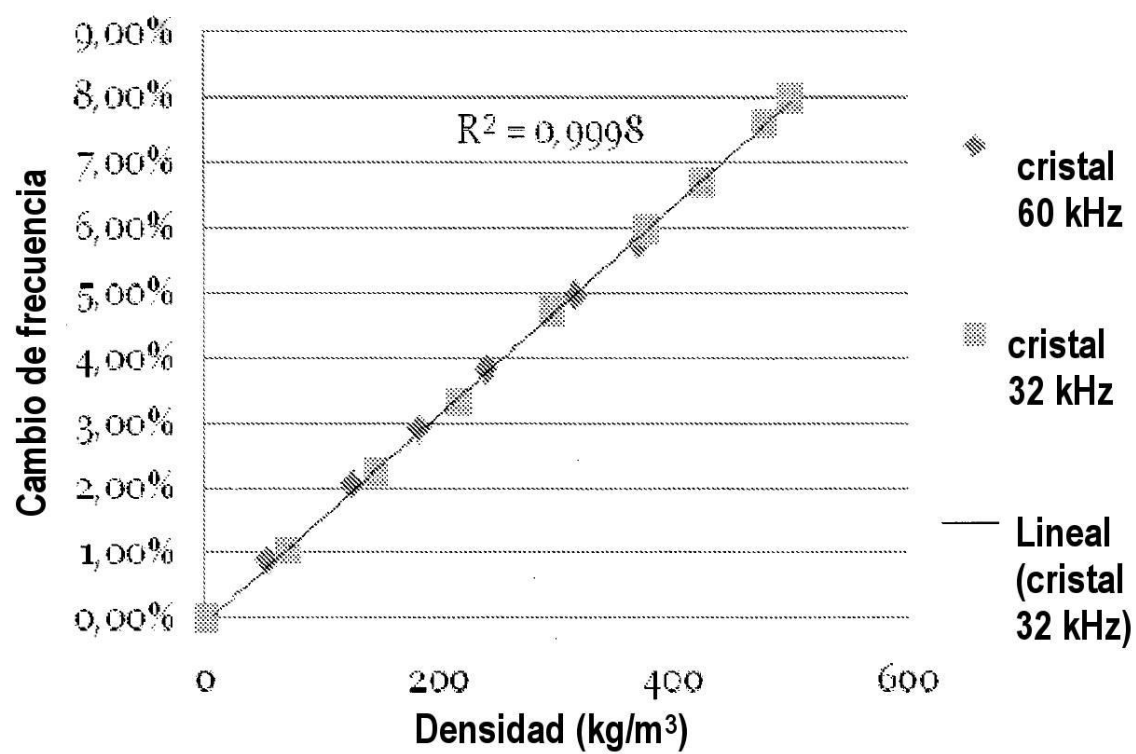


Fig. 9

***Fig. 10***

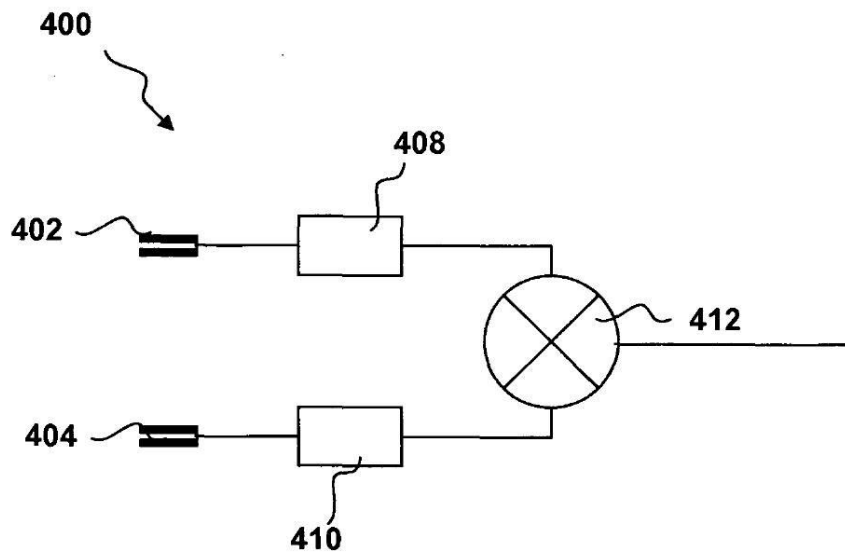


Fig. 11

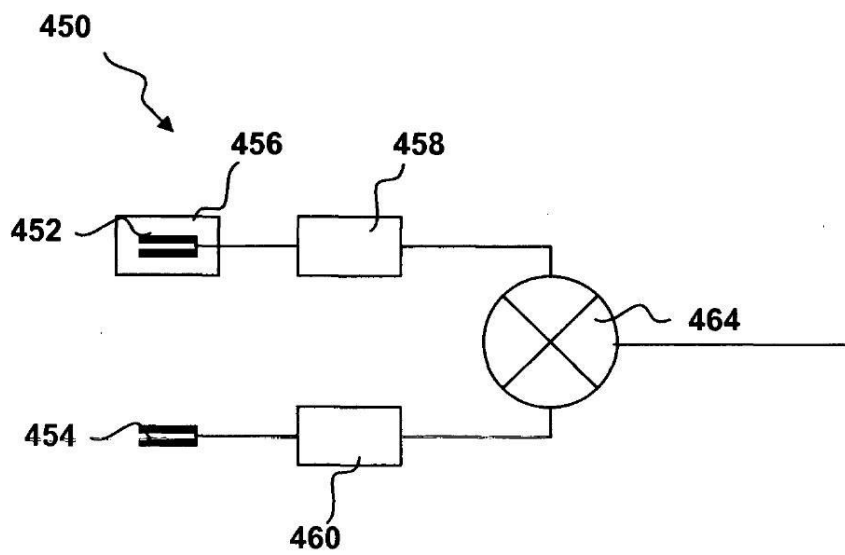


Fig. 12

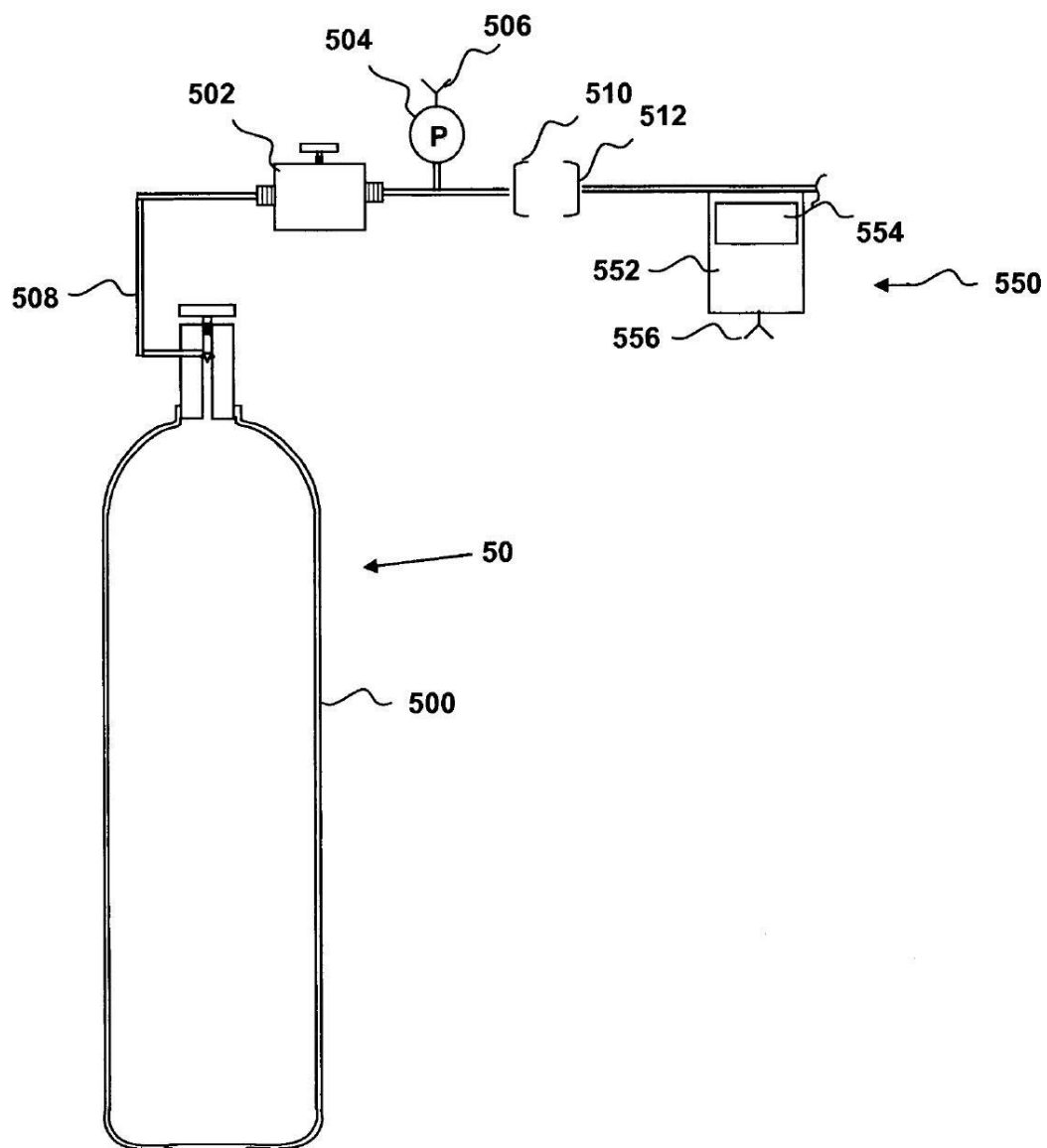


Fig. 13