

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 671 716**

51 Int. Cl.:

G01F 1/86 (2006.01)
G01G 17/04 (2006.01)
G01G 17/06 (2006.01)
F17C 1/00 (2006.01)
F17C 13/02 (2006.01)
G01N 9/00 (2006.01)
F16K 37/00 (2006.01)
G01F 15/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2010 E 10192962 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.03.2018 EP 2458344**

54 Título: **Método y aparato para medir el contenido verdadero de un cilindro de gas bajo presión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.06.2018

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

72 Inventor/es:
**DOWNIE, NEIL ALEXANDER;
BEHRENS, MARCEL y
OBADUN, LATEEF OLUSEGUN ADIGUN**

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 671 716 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para medir el contenido verdadero de un cilindro de gas bajo presión

5 La presente invención se refiere a un método y a un aparato para medir el contenido verdadero de un cilindro de gas bajo presión. Más particularmente, la presente invención se refiere a un método y a un aparato para medir el contenido verdadero de un cilindro utilizando un oscilador piezoeléctrico. Los métodos y aparatos descritos en el presente documento pueden aplicarse a sistemas donde se presenta gas de presión relativamente alta (por ejemplo, aproximadamente 10 bares o más), tal como, por ejemplo, el suministro de gases en cilindros de alta presión o plantas de fabricación que utilizan gases de alta presión. La presente invención se refiere particularmente a gases "limpios", es decir, gases con pocas o sin impurezas o contaminantes tales como vapor de agua o polvo.

15 Un cilindro de gas comprimido es un contenedor 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 utilizan en una amplia gama de mercados, desde el mercado industrial general de bajo coste, a través del mercado médico, hasta aplicaciones de mayor costo, tales como fabricación de electrónica que utiliza gases especiales corrosivos, tóxicos o pirofóricos de alta pureza. Comúnmente, los contenedores de gas presurizado comprenden acero, aluminio o compuestos y son capaces de almacenar gases comprimidos, licuados o disueltos con una máxima presión de relleno de hasta 450 bares g (donde bar g es una medida de la presión (en bares) por encima de la presión atmosférica) para la mayoría de los gases, y hasta 900 bares g para gases tales como hidrógeno y helio.

25 La presente invención particularmente se puede aplicar a gases permanentes. Los gases permanentes son gases que no pueden licuarse por presión solamente y, por ejemplo, pueden suministrarse en cilindros a presiones de hasta 450 bares g. Ejemplos son Argón y Nitrógeno. Sin embargo, esto no debe tomarse como limitativo y el término gas puede considerarse para abarcar una gama más amplia de gases, por ejemplo, un gas permanente y un vapor de un gas licuado. Los vapores de gases licuados se presentan por encima del líquido en un cilindro de gas comprimido. Los gases que se licuan bajo presión conforme se comprimen para llenar un cilindro no son gases permanentes y se describen de manera más precisa 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 del vapor en equilibrio de 44,4 bares g a 15 °C. Tales vapores no son gases permanentes o verdaderos, ya que se pueden licuar por presión o a temperatura bajo condiciones ambientales.

35 En muchos casos, es necesario monitorizar el contenido de un cilindro determinado o el contenedor a presión para determinar la cantidad de gas que queda. Esto es particularmente crítico en situaciones tales como aplicaciones de atención médica.

40 Se sabe cómo calcular, de acuerdo con las leyes del gas, el contenido verdadero de un cilindro a partir del conocimiento de la presión de gas dentro de un cilindro. La medición de presión es una técnica bien conocida y existe una variedad de dispositivos que funcionan para medir la presión. El tipo más convencional utiliza un diafragma elástico equipado con elementos de medidor de deformación. Sin embargo, aunque es uno de los sensores de presión de más bajo coste actualmente fabricado, estos sensores tienden a ser relativamente grandes en tamaño, y tienen una estructura mecánica que, aunque se puede producir por métodos fotolitográficos de producción en masa aún es relativamente complejo y costoso de fabricar. También tienen un cierto grado de fragilidad y requieren calibración y compensación de temperatura antes de que puedan utilizarse.

45 Otro manómetro de presión comúnmente utilizado es un manómetro de Bourdon. Tal manómetro comprende un tubo de extremos cerrados de pared delgada aplanado y frágil que se conecta en el extremo hueco en un tubo fijo que contiene la presión del fluido que va a medirse. Un incremento en la presión provoca que el extremo cerrado del tubo describa un arco. Este manómetro comprende componentes delicados que son vulnerables a daños de, por ejemplo, la exposición a altas presiones.

50 Un problema que hace difícil medir con precisión la cantidad de gas en un contenedor de gas es la relación de temperatura-presión de los gases contenidos en el cilindro. De acuerdo con las leyes del gas, la presión ejercida por una cantidad determinada de gas a volumen constante es directamente proporcional a su temperatura. Por lo tanto, a medida que la temperatura de un gas se incrementa, también se incrementará la presión del gas.

55 Por consiguiente, la medición de presión utilizando un manómetro de presión tal como un manómetro de Bourdon se eleva y baja en proporción a la temperatura absoluta, por ejemplo, desde una temperatura inicial de 20 °C a, por ejemplo, 50 °C en un ambiente iluminado por el sol, la presión indicada en un manómetro de Bourdon se incrementará en un 10 %.

60 Un asunto adicional es que, para determinar el contenido de un cilindro utilizando una medición de presión, se requiere que el manómetro de presión se corrija para la capacidad de compresión del gas. Esto se complica por el comportamiento de un gas a alta presión que no se adapta al comportamiento de un gas ideal.

65 En un tipo alternativo del dispositivo utilizado para medir las propiedades físicas de los gases es un dispositivo

piezoeléctrico tal como un cristal de cuarzo. Los cristales de cuarzo demuestran comportamiento piezoeléctrico, es decir, la aplicación de tensión a los mismos resulta en una ligera constricción o estrechamiento del sólido, y viceversa.

5 "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 divulga una disposición mediante la cual se utiliza un sensor de cristal de cuarzo para medir la densidad del gas SF₆ en un equipo eléctrico de alta y media tensión a bajas presiones de gas. La medición de la densidad del gas SF₆ es crítica para la seguridad del aparato. Este documento describe una aplicación de baja presión para tecnología del sensor de cuarzo en la que se utilizan presiones de hasta 8 bares
10 g.

15 El documento US 4.644.796 divulga 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 fuelle. El volumen interno del alojamiento varía debido a la compresión/expansión del fuelle por la presión externa del fluido. Por consiguiente, la densidad del fluido dentro del alojamiento varía a medida que el volumen interno del alojamiento varía. La densidad dentro del alojamiento puede medirse utilizando un oscilador de cristal de cuarzo.

20 El documento EP-A-0 582 045 se refiere a la detección de la densidad de gas aislante SF₆ en equipos eléctricos. El aparato de D1 comprende encapsulación de metal rellena con gas SF₆ que proporciona aislamiento eléctrico. Dos cristales de cuarzo se utilizan para medir la densidad del gas, con uno de los cristales estando expuesto al gas que se mide y el otro manteniéndose como unas condiciones de control bajo vacío.

25 El documento DE-A-199 45 881 divulga la medición de la densidad de fluido en un sistema de airbag. La medición de la densidad utiliza un sensor de densidad que comprende un flotador. Cuando la densidad del fluido cae por debajo de un valor particular, el sensor de densidad se eleva y se detecta.

30 El documento DE-A-102 32 823 divulga un sensor de densidad para su uso en aplicaciones de media y alta tensión usando aislamiento de gas SF₆. Un par de sensores de horquilla de sintonización de cuarzo se proporcionan para habilitar la detección de densidad.

35 El documento WO-A-99/40553 divulga un dispositivo de alarma para detectar una cantidad de gas dentro de un recipiente a presión en el que se carga gas licuado o líquido a alta presión. La disposición divulgada en este documento es operable para informar a un usuario que el recipiente a presión debe cambiarse o recargarse.

40 Las disposiciones anteriores describen el uso de un sensor de estado sólido, tal como un oscilador de cristal de cuarzo. Sin embargo, ni las disposiciones anteriores ni los métodos son adecuados para medir con precisión la masa de gas en un contenedor a presión, tal como un cilindro de gas. Por lo tanto, disposiciones de medición conocidas sufren de un problema técnico ya que son incapaces de proporcionar una medición precisa de la masa de gas en un recinto tal como un cilindro de gas donde se encuentran altas presiones.

45 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para medir la masa de un gas bajo presión utilizando un oscilador piezoeléctrico, comprendiendo dicho gas un gas permanente o una mezcla de gases permanentes y que está contenido dentro de un cilindro de gas que tiene un volumen interno fijo, comprendiendo el cilindro de gas un cuerpo de cilindro de gas, una disposición de válvula conectada a dicho cuerpo de cilindro de gas y dispuesta para permitir el llenado selectivo del cilindro de gas con gas o la dispensación de gas desde dicho cilindro de gas, y estando dispuesto el oscilador piezoeléctrico en la disposición de válvula de manera que está situado dentro del interior del cuerpo de cilindro de gas y sumergido en el gas dentro del cilindro de gas, comprendiendo el método: a) utilizar dicho oscilador piezoeléctrico para medir la densidad del gas dentro del cilindro de gas; b) determinar, a partir de la medición de la densidad y a partir del volumen interno de dicho cilindro de gas,
50 la masa del gas dentro del cilindro de gas.

55 Al proporcionar este método, el contenido verdadero (es decir, la masa) del gas (tal como un gas permanente) en un contenedor a presión tal como un cilindro de gas puede medirse directamente sin necesidad de compensar factores tales como la temperatura o la capacidad de compresión. Esto permite una determinación de masa a través de la derivación directa de la densidad del gas en el cilindro, reduciendo la necesidad de sensores adicionales o de que se realicen compensaciones y aproximaciones complejas. Además, el oscilador piezoeléctrico es un dispositivo de estado sólido que es resistente a altas presiones, cambios repentinos en la presión u otros factores ambientales. El oscilador piezoeléctrico se puede operar para sumergirse totalmente en el gas, en contraste a los manómetros convencionales (tales como un manómetro de Bourdon) que requiere un diferencial de presión para funcionar.

60 En una realización, la etapa a) comprende: activar, por medio de un circuito de activación, el oscilador piezoeléctrico de modo que el oscilador piezoeléctrico resuene a una frecuencia de resonancia; y medir la frecuencia de resonancia durante un período de tiempo predeterminado para determinar la densidad del gas en dicho cilindro de gas.

65 En una realización, las etapas a) y b) se repiten una o más veces, de modo que se obtiene una serie de mediciones

ES 2 671 716 T3

de la densidad del gas dentro del contenedor a presión durante un período de tiempo, utilizándose la serie de mediciones para determinar el cambio en masa del gas dentro del cilindro de gas durante dicho período de tiempo.

- 5 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 junta. En una variación, el cristal de cuarzo comprende un par de juntas planas.
- 10 En una realización, el cristal de cuarzo es de corte AT o de corte SC.
- En una variación, la superficie del cristal de cuarzo se expone directamente al gas.
- En una realización, el conjunto de sensor comprende un circuito de activación. En una variación, el conjunto de sensor comprende un circuito de activación que comprende un par Darlington dispuesto en una configuración de retroalimentación de un amplificador-emisor común.
- 15 En una realización, el conjunto de sensor comprende una fuente de energía. En una disposición, la fuente de energía comprende una batería de iones de litio.
- 20 En una realización, el conjunto de sensor comprende un procesador.
- En una realización, el contenedor a presión comprende un contenedor de alta presión. Un contenedor de alta presión es un contenedor dispuesto para soportar presiones internas generalmente mayores a 10 bares.
- 25 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un cilindro de gas que tiene un volumen interno fijo y que contiene un gas permanente o una mezcla de gases permanentes bajo presión, comprendiendo el cilindro de gas un cuerpo de cilindro de gas y una disposición de válvula conectada al cuerpo de cilindro de gas, estando dispuesta la disposición de válvula para permitir el llenado selectivo del cilindro de gas con gas o la dispensación de gas desde el cilindro de gas y que comprende un conjunto de sensor para medir la masa del gas bajo presión dentro del cilindro de gas, comprendiendo el conjunto de sensor un oscilación piezoeléctrico dispuesto en la disposición de válvula de manera que el oscilador piezoeléctrico está situado dentro del interior del cuerpo de cilindro de gas y sumergido en el gas dentro del cilindro de gas, estando dispuesto el conjunto de sensor para medir la densidad del gas dentro del cilindro de gas y estando configurado para determinar, a partir de la medición de la densidad y a partir del volumen interno de dicho cilindro de gas, la masa del gas dentro del cilindro de gas.
- 30
- 35
- Al proporcionar tal disposición, el contenido verdadero (es decir, la masa) del fluido en un contenedor a presión, tal como un cilindro de gas, puede medirse directamente sin necesidad de compensar factores tales como la temperatura o la capacidad de compresión. Esto permite una determinación de la masa a través de la derivación directa de la densidad del gas en el cilindro, reduciendo la necesidad de sensores adicionales o de que se realicen cálculos complejos. Además, el oscilador piezoeléctrico es un dispositivo de estado sólido que es resistente a altas presiones o cambios repentinos en la presión y, como tal, es menos probable que se dañe por el "arrastre" de presión u otros factores ambientales. La estructura del oscilador piezoeléctrico permite que el oscilador piezoeléctrico se sumerja totalmente en el gas, en contraste a los manómetros convencionales (tal como un manómetro de Bourdon) que requieren un diferencial de presión para funcionar.
- 40
- 45
- En una variación, dicho oscilador piezoeléctrico comprende un oscilador de cristal de cuarzo.
- 50 En una variación, el gas es un gas permanente.
- En una realización, el conjunto de sensor comprende un circuito de activación. En una realización, el conjunto de sensor comprende un circuito de activación que comprende un par Darlington dispuesto en una configuración de retroalimentación de un amplificador emisor común.
- 55 En una realización, el conjunto de 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 de sensor comprende un procesador.
- 60 En una realización, el conjunto de sensor se dispone para activar el oscilador piezoeléctrico de modo que el oscilador piezoeléctrico resuena a una frecuencia de resonancia y mida la frecuencia de resonancia durante un período de tiempo predeterminado para determinar la densidad del gas en dicho cilindro de gas.
- En una realización, el conjunto de sensor se dispone adicionalmente para realizar mediciones repetidas de la masa del gas dentro del contenedor a presión a intervalos de tiempo discretos para obtener una pluralidad de mediciones, y para determinar, a partir de la pluralidad de mediciones, el flujo de masa del gas hasta/desde el contenedor a
- 65

presión durante los intervalos de tiempo discretos, más veces para que se obtenga una serie de mediciones de la densidad del gas dentro del contenedor a presión durante un período de tiempo, utilizándose la serie de mediciones para determinar el cambio en la masa de gas dentro del cilindro de gas durante dicho período de tiempo.

5 En una realización, el conjunto de sensor comprende un circuito de activación. En una realización, el conjunto de sensor comprende una fuente de alimentación. En una variación, la fuente de alimentación comprende una batería de iones de litio.

10 En una realización, el conjunto de sensor está dispuesto totalmente dentro del volumen interno fijo del cilindro de gas.

15 De acuerdo con una tercera realización de la presente invención, se proporciona un producto de programa informático que se puede ejecutar mediante un aparato de procesamiento programable, que comprende una o más porciones de software para realizar las etapas del primer aspecto.

20 De acuerdo con una cuarta realización de la presente invención, se proporciona un medio de almacenamiento que se puede utilizar por ordenador que tiene un producto de programa informático de acuerdo con el cuarto aspecto almacenado en el mismo.

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

- 25 La figura 1 es un diagrama esquemático de un conjunto de cilindro de gas;
- La figura 2 es un diagrama esquemático que muestra una parte superior del conjunto de cilindro de gas de acuerdo con una realización que no forma parte de la invención;
- La figura 3 es un diagrama esquemático que muestra una parte superior del conjunto de cilindro de gas de acuerdo con una realización de la invención;
- La figura 4 es un diagrama esquemático de un circuito de activación para su uso con la primera o segunda realizaciones;
- 30 La figura 5 es un diagrama esquemático que muestra una alternativa al circuito de activación para su uso con la primera o segunda realizaciones;
- La figura 6 muestra una gráfica de la frecuencia de cristal de cuarzo (kHz) en el eje Y como una función de densidad (kg/m^3) para un número de diferentes gases;
- 35 La figura 7 muestra una gráfica de la masa de gas (en kg) en el eje Y como una función de presión (bar g) en el eje X para Argón, Oxígeno y una mezcla de Argón y Dióxido de Carbono;
- La figura 8 muestra una gráfica de la masa de gas (en kg) en el eje Y como una función de densidad (en kg/m^3) en el eje X para los mismos tres gases (Argón, Oxígeno y una mezcla de Argón y Dióxido de Carbono) como se muestra en la figura 7;
- 40 La figura 9 muestra una gráfica de frecuencia (en 5 kHz) en el eje Y como una función de tiempo (en minutos) en el eje X para un índice de flujo de 12 l/min de un cilindro de gas de 50 litros a una presión de 100 bares g;
- La figura 10 muestra una gráfica del índice de flujo calculado (en litros por minuto) en el eje Y como una función de tiempo (en minutos) en el eje X para el cilindro de 50 litros a una presión de 100 bares g;
- 45 La figura 11 muestra una gráfica de la frecuencia (en kHz) en el eje Y como una función de la masa del cilindro de gas (en kg) en el eje X para un cilindro de gas típico;
- La figura 12 es un diagrama de flujo que ilustra un método de acuerdo con una realización descrita;
- La figura 13 muestra una gráfica del comportamiento de frecuencia de diferentes tipos de cristales;
- La figura 14 es un diagrama esquemático que muestra un conjunto de sensor alternativo que comprende dos cristales de cuarzo; y
- 50 La figura 15 muestra una disposición alternativa que utiliza una unidad de datos electrónicos remota.

La figura 1 muestra una vista esquemática de un conjunto 10 de cilindro de gas de acuerdo con una realización de la invención.

55 El conjunto 10 de cilindro de gas comprende un cilindro 100 de gas que tiene un cuerpo 102 de cilindro de gas y una válvula 104. El cuerpo 102 de cilindro de gas comprende un contenedor generalmente cilíndrico que tiene una base 102a plana dispuesta para permitir que el cilindro 100 de gas se quede de pie sin soporte sobre una superficie plana.

60 El cuerpo 102 de cilindro de gas se forma a partir de materiales de acero, aluminio y/o compuestos y se adapta y dispone para soportar presiones internas de hasta aproximadamente 900 bares g. Una abertura 106 está colocado en un extremo próximo del cuerpo 102 de cilindro de gas opuesto a la base 102a y comprende una rosca de tornillo (no mostrada) adaptada para recibir la válvula 104.

65 El cuerpo 102 de cilindro de gas y la válvula 104 definen un contenedor a presión (en esta realización, en forma del cilindro 100 de gas) que tiene un volumen interno V. El volumen interno V es fijo. Esto quiere decir que la estructura del cilindro 100 de gas es tal que el volumen interno V del mismo (y de forma concomitante, el volumen de un gas contenido en el mismo) puede asumirse que no varía en un grado significativo en uso, almacenamiento o

dependencia de las condiciones ambientales tales como la temperatura, la presión o la humedad. El volumen interno V del cilindro 100 de gas se pretende que incluya todo el volumen dentro del cuerpo 102 de cilindro de gas y la válvula 104. En otras palabras, el volumen interno V es el volumen interno total dentro del conjunto 10 de cilindro de gas donde el gas se mantiene bajo presión.

5 La presente realización se refiere, aunque no se limita exclusivamente, a gases permanentes purificados que son libres de impurezas, tales como polvo y/o humedad. Ejemplos no exhaustivos de gases pueden ser: Oxígeno, Nitrógeno, Argón, Helio, Hidrógeno, Metano, Trifluoruro de Nitrógeno, Monóxido de Carbono, Kriptón o Neón.

10 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 de tornillo complementaria para acoplamiento con la abertura 106 del cuerpo 102 de cilindro de gas. La salida 110 está adaptada y dispuesta para permitir que el cilindro 100 de gas se conecte a otros componentes en un conjunto de gas, por ejemplo, mangueras, tuberías o válvulas de presión adicionales o reguladores. La válvula 104, opcionalmente, puede comprender una VIPR (Válvula con Regulador de Presión Integrado).

15 El cuerpo 112 de válvula puede ajustarse axialmente hacia o lejos del asiento 114 de válvula mediante la rotación de un mango 116 sujetable para abrir o para cerrar selectivamente la salida 110. En otras palabras, el movimiento del cuerpo 112 de válvula hacia o lejos del asiento 112 de válvula controla selectivamente el área del pasaje de comunicación entre el interior del cuerpo 102 de cilindro de gas y la salida 110. Esto, a su vez, controla el flujo del gas desde el interior del conjunto 100 de cilindro de gas hasta el ambiente externo.

20 Un orificio 118 pasante se forma en el alojamiento 108 aguas abajo de la salida 110. El orificio 118 pasante se cierra por medio de una alimentación 120 que permite que los componentes (tales como cables) se alimenten a través de la parte externa del cilindro 100 de gas al interior del cilindro 100 de gas. La alimentación 120 funciona como una junta de alta presión que mantiene la integridad del cilindro 100 de gas.

25 El conjunto 10 de cilindro de gas se proporciona con un conjunto 200 de sensor. El conjunto 200 de sensor se dispone para medir la densidad del gas dentro del volumen interno y del cilindro 100 de gas. El conjunto 200 de sensor se muestra en mayor detalle en las figuras 2 y 3, y comprende un oscilador 202 de cristal de cuarzo conectado a un circuito 204 de activación y una batería 206 mediante cableado 208 adecuado. Un procesador 220 (no mostrado en las figuras 2 y 3) también puede proporcionarse, ya sea por separado o como parte del circuito 204 de activación. Esto se describirá más adelante.

30 En la realización mostrada en la figura 2, el oscilador 202 de cristal de cuarzo está colocado dentro del volumen interno V del cilindro 100 de gas y el circuito 204 de activación está colocado fuera del cilindro 100 de gas. Por consiguiente, por lo menos parte del conjunto 200 de sensor está colocado en el orificio 118 pasante. El oscilador 202 de cristal de cuarzo y el circuito 204 de activación se conectan por el cableado 208 que pasa a través de la alimentación 120 de alta presión.

35 En esta disposición, el oscilador 202 de cristal de cuarzo constantemente se encuentra bajo presión isostática dentro del volumen interno V del cilindro 100 de gas y, por consiguiente, no experimenta un gradiente de presión. En otras palabras, cualquier tensión mecánica que se origine a partir de la diferencia de presión entre el volumen interno V del cilindro 100 de gas y el ambiente externo es a través de la alimentación 120.

40 Una realización de acuerdo con la invención se muestra en la figura 3. Las características de la realización mostrada en la figura 3 que son comunes para la realización de la figura 2 se asignan con los mismos números de referencia y no se describirán nuevamente aquí.

45 En la realización de la figura 3, todo el conjunto 200 de sensor está colocado dentro del volumen interno V del cilindro 100 de gas. Por lo tanto, el oscilador 202 de cristal de cuarzo, el circuito 204 de activación (y el procesador 220, si se proporciona) y la batería 206 todos se sitúan dentro del volumen interno V del cilindro 100 de gas. Los componentes del conjunto 200 de sensor se sumergen completamente en el gas y se encuentran bajo presión de gas isostática dentro del cilindro 100 de gas. Por consiguiente, el conjunto 200 de sensor experimenta la presión completa de gas dentro del cilindro 100 de gas.

50 En esta realización, la alimentación 120 opcionalmente puede suprimirse. Alternativamente, el conjunto 200 de sensor puede conectarse a una antena 250 para comunicación remota con, por ejemplo, una estación base. Esto se describirá posteriormente. En este caso, la antena 250 puede ubicarse fuera del cilindro 100 de gas y conectarse al conjunto de sensor por medio de un conector de cable o equivalente. El cable podría hacerse pasar a través de la alimentación 120 para efectuar una conexión entre la antena 250 y el conjunto 200 de sensor.

55 La antena 250 por sí misma puede adaptarse y disponerse para utilizar cualquier protocolo de comunicación adecuado, por ejemplo, una lista no exhaustiva puede ser transmisión por RFID, Bluetooth, Infrarroja (IR), inalámbrica 802.11, de frecuencia modulada (FM) o una red celular.

Alternativamente, una comunicación de un solo cable puede implementarse. La comunicación de un solo cable solo necesita un conductor metálico simple para comunicar: la trayectoria de "retorno" del circuito que se proporciona por el acoplamiento capacitivo por aire entre los dispositivos de comunicación. La persona con experiencia en la técnica fácilmente puede estar al tanto de las alternativas de la antena 250 (y hardware de transmisión asociado) que podrían utilizarse con las realizaciones descritas en el presente documento.

Los inventores han encontrado que solo algunos componentes del conjunto 200 de sensor son sensibles a alta presión. En particular, los componentes más grandes, tales como baterías pueden ser susceptibles a altas presiones. Sin embargo, se ha encontrado que las baterías de iones de litio se desempeñan particularmente bien bajo las altas presiones encontradas dentro del cilindro 100 de gas. Por consiguiente, la batería 206 comprende celdas de iones de litio. Sin embargo, fuentes de energía adecuadas alternativas pueden contemplarse fácilmente por la persona con experiencia en la técnica.

La ubicación del conjunto 200 de sensor completo, totalmente dentro del cilindro 100 de gas proporciona flexibilidad adicional cuando se configuran los cilindros 100 de gas. En particular, la ubicación de componentes electrónicos relativamente frágiles totalmente dentro de las paredes de metal fuerte o compuestas del cilindro 100 de gas proporciona protección considerable contra daño ambiental o accidental. Esto particularmente es importante, por ejemplo, en áreas de almacenamiento o depósitos, donde los cilindros 100 de gas está colocados adyacentes a otros cilindros 100 de gas, maquinaria pesada o superficies rugosas.

Además, la ubicación de los componentes electrónicos del conjunto de sensor totalmente dentro del volumen interno V del cilindro 100 de gas permite que se proporcionen componentes más grandes, lo cual de otra manera puede no ser adecuado para su uso en la superficie externa de un cilindro 100. Por ejemplo, una batería más grande puede proporcionarse para incrementar el tiempo útil operacional del conjunto 200 de sensor.

Adicionalmente, la ubicación interna del conjunto 200 de sensor protege los componentes electrónicos de condiciones ambientales tales como sal, agua y otros contaminantes. Esto puede permitir, por ejemplo, que un circuito de alta impedancia el cual es altamente sensible a daños por sal y agua se utilice como parte del conjunto 200 de sensor.

Sin embargo, en una variación de las realizaciones anteriores, parte del conjunto de sensor puede ubicarse dentro del volumen interno V del cilindro 100 de gas y una parte puede situarse externamente de la misma. Por ejemplo, el circuito 212 de activación y el procesador 220 pueden situarse dentro del cilindro 100 de gas, mientras la batería 206 puede ubicarse fuera del cilindro 100 de gas. Esta disposición permite que componentes más frágiles del conjunto de sensor se protejan contra daños y contaminantes, mientras la batería 206 fácilmente se puede acceder para mantenimiento y remplazo.

Con respecto a la comunicación externa, en una configuración, no se requiere explícitamente una antena aérea o externa (tal como la antena 250). Por ejemplo, la comunicación puede efectuarse por medio de transmisión acústica desde dentro del cilindro 100. La transmisión acústica puede efectuarse por un transmisor situado dentro del cilindro 100 de gas. El transmisor puede comprender, por ejemplo, un resonador piezoeléctrico de frecuencia fija simple.

Un receptor complementario también se requiere y este componente puede situarse alejado del cilindro 100 y puede comprender hardware tal como, por ejemplo, un detector de tono de bucle bloqueado por fase integrado con un micrófono. Tal disposición acústica proporciona la ventaja de que ninguna alimentación se requiere (como es el caso para la antena 250) y que todos los componentes electrónicos pueden situarse totalmente en el cilindro 100.

Los beneficios de la ubicación interna del conjunto 200 de sensor son únicos para los dispositivos de sensor de estado sólido tales como el oscilador 202 de cristal de cuarzo. Por ejemplo, un sensor de presión convencional tal como un manómetro de Bourdon no puede situarse de esta manera. Aunque un sensor de cristal puede operar totalmente sumergido en gas a presión constante, un sensor de presión convencional es incapaz de medir la presión isostática y requiere un gradiente de presión para funcionar. Por consiguiente, un manómetro de presión convencional debe situarse entre la alta presión para que se mida y la atmósfera. Esto impide la ubicación de un manómetro de presión convencional totalmente dentro de un cilindro 100 de gas.

El conjunto 200 de sensor ahora se describirá en mayor detalle con referencia a las figuras 2 a 4. El oscilador 202 de cristal de cuarzo comprende una sección delgada, pequeña de cuarzo cortado. El cuarzo demuestra comportamiento piezoeléctrico, es decir, la aplicación de una tensión a través del cristal provoca que el cristal cambie de forma, generando una fuerza mecánica. Inversamente, una fuerza mecánica aplicada al cristal produce una carga eléctrica.

Dos superficies paralelas del oscilador 202 de cristal de cuarzo se metalizan para proporcionar conexiones eléctricas a través del cristal volumétrico. Cuando se aplica una tensión a través del cristal por medio de contactos de metal, el cristal cambia de forma. Mediante la aplicación de una tensión alternativa al cristal, el cristal puede hacerse oscilar.

El tamaño y el espesor físicos del cristal de cuarzo determinan la frecuencia característica o de resonancia del cristal de cuarzo. De hecho, la frecuencia característica o de resonancia del cristal 202 es inversamente proporcional al

espesor físico entre las dos superficies metalizadas. Los osciladores de cristal de cuarzo se conocen bien en la técnica, y de esta manera la estructura del oscilador 202 de cristal de cuarzo no se describirá adicionalmente aquí.

5 La frecuencia de vibración de resonancia de un cristal de cuarzo variará dependiendo del ambiente en el cual se sitúe el cristal. En un vacío, el cristal tendrá una frecuencia particular. Sin embargo, esta frecuencia cambiará en diferentes ambientes. Por ejemplo, en un fluido, la vibración del cristal se amortiguará por las moléculas circundantes del fluido y esto afectará la frecuencia de resonancia y la energía requerida para hacer oscilar el cristal en una amplitud determinada.

10 Además, la adsorción de gas o la deposición de materiales circundantes sobre el cristal afectarán la masa del cristal vibrante, alterando la frecuencia de resonancia. Esto forma la base para analizadores de gases selectivos comúnmente utilizados en los cuales se forma una capa de absorción en el cristal e incrementa en masa a medida que el gas se absorbe sobre la capa de absorción. Sin embargo, en el presente caso, no se aplica ningún revestimiento al oscilador 202 de cristal de cuarzo. De hecho, la adsorción o deposición del material sobre el
15 oscilador 202 de cristal de cuarzo es indeseable en el presente caso, puesto que la precisión de la medición puede verse afectada.

El oscilador 202 de cristal de cuarzo de la presente realización tiene forma de diapasón y comprende un par de
20 puntas 202a (figura 4) aproximadamente de 5 mm de largo dispuestas para oscilar a una frecuencia de resonancia de 32,768 kHz. Las puntas 202a del diapasón oscilan normalmente en su modo fundamental, en el cual se mueven de manera sincrónica hacia y lejos una de la otra en la frecuencia de resonancia.

Adicionalmente, es deseable utilizar cuarzo que sea de corte AT o corte SC. En otras palabras, una sección plana de
25 cuarzo se corta en ángulos seleccionados particulares de modo que el coeficiente de temperatura de la frecuencia de oscilación pueda disponerse para que sea parabólico con un pico amplio alrededor de la temperatura ambiente. Por lo tanto, el oscilador de cristal puede disponerse de modo que la inclinación en la parte superior del pico sea precisamente cero.

30 Tales cristales comúnmente se encuentran disponibles a un coste relativamente bajo. En contraste a la mayoría de los osciladores de cristal de cuarzo que se utilizan al vacío, en la presente realización, el oscilador 202 de cristal de cuarzo se expone al gas bajo presión en el volumen interno V del cilindro 100 de gas.

El circuito 204 de activación para activar el oscilador 202 de cristal de cuarzo se muestra en la figura 4. El circuito
35 204 de activación debe cumplir un número de criterios específicos. En primer lugar, el oscilador 202 de cristal de cuarzo de la presente invención puede exponerse a un intervalo de presiones de gas; potencialmente, las presiones pueden variar de la presión atmosférica (cuando el cilindro 100 de gas se encuentra vacío) a aproximadamente 900 bares g si el cilindro de gas contiene un gas presurizado, tal como hidrógeno. De esta manera, se requiere que el cristal 202 de cuarzo opere (y se reinicie después de un período de no uso) bajo una amplia gama de presiones.

40 Por consiguiente, el factor de calidad (Q) del oscilador 202 de cristal de cuarzo variará de manera considerable durante su uso. El factor Q es un parámetro sin dimensión con respecto a la proporción de amortiguamiento de un oscilador o resonador. De manera equivalente, puede caracterizar el ancho de banda de un resonador con respecto a su frecuencia central.

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

50 El circuito 204 de activación puede ser capaz de activar el oscilador 202 de cristal de cuarzo a pesar del factor Q cambiante. Cuando la presión en el cilindro 100 de gas incrementa, la oscilación del oscilador 202 de cristal de cuarzo se amortiguará cada vez más, y el factor Q caerá. El factor Q en caída requiere que se proporcione una mayor ganancia por un amplificador en el circuito 204 de activación. Sin embargo, si se proporciona demasiada
55 amplificación, el circuito 204 de activación, la respuesta del oscilador 202 de cristal de cuarzo puede volverse difícil de distinguir. En este caso, el circuito 204 de activación puede oscilar simplemente en una frecuencia no relacionada, o en la frecuencia de un modo no fundamental del oscilador 202 de cristal de cuarzo.

60 Como limitación adicional, el circuito 204 de activación puede ser de baja energía para hacer funcionar baterías pequeñas de menor potencia por largo tiempo con o sin potencia complementaria, tal como celdas fotovoltaicas.

El circuito 204 de activación ahora se describirá con referencia a la figura 4. Para activar el oscilador 202 de cristal
65 de cuarzo, el circuito 204 de activación esencialmente toma una señal de tensión del oscilador 202 de cristal de cuarzo, la amplifica, y alimenta esa señal nuevamente al oscilador 202 de cristal de cuarzo. La frecuencia de resonancia fundamental del oscilador 202 de cristal de cuarzo, en esencia, es una función de la proporción de expansión y contracción del cuarzo. Esto se determina en general por el corte y tamaño del cristal.

Sin embargo, los factores externos también afectan la frecuencia de resonancia. Cuando la energía de las frecuencias de salida generadas concuerda con las pérdidas en el circuito, puede sostenerse una oscilación. El circuito 204 de activación se dispone para detectar y mantener esta frecuencia de oscilación. La frecuencia entonces puede medirse por el procesador 220, utilizado para calcular la propiedad adecuada del gas requerido por el usuario y, si se requiere, la salida en un medio de visualización adecuado (como se describirá posteriormente).

El circuito 204 de activación se alimenta por una fuente 206 de energía de 6 V. La fuente 206 de energía, en esta realización, comprende una batería de iones de litio. Sin embargo, fuentes de energía alternativas serán fácilmente aparentes para la persona con experiencia en la técnica, por ejemplo, otros tipos de baterías tanto recargables como no recargables y una disposición de celdas solares.

El circuito 204 de activación además comprende un amplificador emisor 210 común de par Darlington. Un par Darlington comprende una estructura compuesta que consiste en dos transistores de NPN bipolares configurados de modo que la corriente amplificada por el primero del transistor se amplifica adicionalmente por el segundo. Esta configuración permite que una mayor ganancia de corriente se obtenga cuando se compara con cada transistor que se toma por separado. Alternativamente, pueden utilizarse transistores bipolares de PNP.

El par 210 Darlington se dispone en una configuración de retroalimentación de un amplificador emisor 212 común de un solo transistor (T_1). Un transistor de unión bipolar de NPN se muestra en la figura 4. Sin embargo, la persona con experiencia en la técnica puede estar al tanto de disposiciones de transistor alternativas que pueden utilizarse, por ejemplo, un transistor de PNP de unión bipolar o Transistores de Efecto de Campo de Semiconductor de Óxido de Metal (MOSFET).

El circuito 204 de activación comprende un transistor T2 seguidor de emisor de NPN adicional que actúa como amplificador 214 separador. El amplificador 214 separador se dispone para funcionar como un separador entre el circuito y el ambiente externo.

Un condensador 216 se sitúa en serie con el oscilador 202 de cristal de cuarzo. El condensador 216, en este ejemplo, tiene un valor de 100 pF y permite que el circuito 204 de activación active el oscilador 202 de cristal de cuarzo en situaciones donde el cristal se ha contaminado, por ejemplo, por sales u otros materiales depositados.

Un circuito 260 de activación alternativo ahora se describirá con referencia a la figura 5. El circuito de activación mostrado en la figura 5 se configura similarmente a un oscilador Pierce. Los osciladores Pierce se conocen a partir de osciladores de reloj de IC digital. En esencia, el circuito 260 de activación comprende un solo inversor T digital (en forma de un transistor), tres resistencias R_1 , R_2 y R_S , dos condensadores C_1 , C_2 , y el oscilador 202 de cristal de cuarzo.

En esta disposición, el oscilador 202 de cristal de cuarzo funciona como un elemento de filtro altamente selectivo. La resistencia R_1 actúa como resistencia de carga para el transistor T. La resistencia R_2 actúa como resistencia de retroalimentación, que desvía el inversor T en su región lineal de operación. Esto permite que efectivamente el inversor T opere como un amplificador de inversión de alta ganancia. Otra resistencia R_S se utiliza entre la salida del inversor T y el oscilador 202 de cristal de cuarzo para limitar la ganancia y para amortiguar las oscilaciones no deseadas en el circuito.

El resonador 202 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 desplazamiento de fase de 180 grados y una ganancia de tensión de la salida a la entrada en aproximadamente la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo. El circuito 260 de activación descrito anteriormente es fiable y económico de fabricar puesto que comprende relativamente pocos componentes.

Como se describe anteriormente, el conjunto 200 de sensor puede incluir un procesador 220 que recibe entradas del oscilador 202 de cristal de cuarzo y el circuito 204 de activación. El procesador 220 puede comprender una disposición adecuada, tal como un Circuito Integrado de Aplicación Específica (ASIC) o Disposición de Puerta Programable de Campo (FPGA). El procesador 220 se puede programar para calcular, desplegar y comunicar parámetros útiles para usuarios del cilindro 100.

Cuando se utiliza con el oscilador 202 de cristal de cuarzo, el procesador 220 puede configurarse para medir la frecuencia f o periodo de la señal del circuito 204 de activación. Esto puede obtenerse, por ejemplo, al contar las oscilaciones durante un tiempo fijo, y convertir esa frecuencia en un valor de densidad utilizando un algoritmo o tabla de consulta. Este valor se pasa al procesador 220 que se configura para realizar, basándose en las entradas suministradas, un cálculo para determinar la masa del gas en el cilindro 100 de gas.

El procesador 220, opcionalmente, puede diseñarse para producción en masa para que sea idéntico en todos los cilindros, con características diferentes en el software y hardware habilitadas para diferentes gases.

Adicionalmente, el procesador 220 también puede configurarse para reducir el consumo de energía a través de la

implementación de modos de espera o "inactivo" que pueden cubrir el procesador 220 y componentes adicionales tales como el circuito 204 de activación y el oscilador 202 de cristal de cuarzo.

5 Varios esquemas pueden implementarse, por ejemplo, el procesador 220 puede encontrarse en espera durante 10 segundos de cada 11 segundos. Además, el procesador 220 puede controlar el oscilador 202 de cristal de cuarzo y el circuito 204 de activación de manera que estos componentes se ponen en espera por la mayor parte del tiempo, solo se encienden los componentes de mayor exigencia de energía por 1/2 segundo cada 30 segundos. Alternativa o adicionalmente, los componentes de comunicación tal como la antena 250 pueden desconectarse según se requiera o utilizarse para activar el conjunto 200 de sensor.

10 La teoría y operación del conjunto 200 de sensor ahora se describirá con referencia a las figuras 6 a 9.

15 El oscilador 202 de cristal de cuarzo tiene una frecuencia de resonancia que depende de la densidad del fluido en el cual está colocado. Exponer un oscilador de cristal tipo diapasón oscilante a un gas conlleva a un desplazamiento y amortiguamiento de la frecuencia de resonancia del cristal (cuando se compara con la frecuencia de resonancia del cristal en un vacío). Existe un número de razones para esto. Aunque exista un efecto de amortiguamiento del gas en las oscilaciones del cristal, el gas se adhiere a las puntas vibrantes del oscilador 202 de cristal de diapasón que incrementa la masa del oscilador. Esto lleva a una reducción en la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo de acuerdo con el movimiento de una viga elástica fija de un solo lado:

$$20 \quad 1) \quad \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\rho t}{2\rho_q w} \left(c_1 + c_2 \frac{\partial}{t} \right)$$

25 Donde $\Delta\omega/\omega_0$ es el cambio relativo en la frecuencia angular de resonancia, ρ es la densidad del gas, t es el espesor del oscilador de cuarzo, ρ_q es la densidad del oscilador de cuarzo y w es la anchura del diapasón. c_1 y c_2 son constantes geoméricamente dependientes y ∂ es el espesor de la capa superficial del gas como se define por:

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

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

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

35 La ecuación de este modo puede reescribirse en términos de frecuencia y simplificarse para:

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

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

Se ha encontrado por los inventores que puede obtenerse una buena aproximación adecuada mediante aproximación:

$$45 \quad 4) \quad \Delta f \approx A\rho$$

Por consiguiente, para una buena aproximación, el cambio en frecuencia es proporcional al cambio en densidad del gas al cual se expone el oscilador de cristal de cuarzo. La figura 6 muestra, para un número de diferentes mezclas de gases/gas, que la frecuencia de resonancia del oscilador 202 de cristal de cuarzo varía linealmente como una función de densidad.

50 En general, la sensibilidad del oscilador 202 de cristal de cuarzo es que un cambio al 5 % en frecuencia se ve con, por ejemplo, el gas de Oxígeno (que tiene el número de masa Atómica 32) a 250 bares cuando se compara con la presión atmosférica. Tales presiones y densidades de gas son típicas de los cilindros de almacenamiento utilizados para gases permanentes, los cuales normalmente se encuentran entre 137 y 450 bares g para la mayoría de los gases, y hasta 700 o 900 bares g para helio e hidrógeno.

55 El oscilador 202 de cristal del cuarzo particularmente es adecuado para su uso como un sensor de densidad para

gases comercialmente suministrados. En primer lugar, para detectar con precisión la densidad de un gas, es necesario que el gas se encuentre libre de polvo y gotas de líquidos, lo cual se garantiza con gases comercialmente suministrados, pero no con aire o generalmente en las situaciones de monitorización de presión.

5 En segundo lugar, debido a que la presión de gas dentro de un cilindro solo puede cambiar lentamente durante uso normal (es decir, cuando el gas se vacía a través de la salida 110), el hecho de que el oscilador 202 de cristal de cuarzo tome una pequeña cantidad de tiempo (aproximadamente 1 segundo) para tomar una lectura no impacta la precisión de la medición. El período de tiempo de aproximadamente 1 s se requiere debido a la necesidad de contar oscilaciones y debido a la necesidad de que el oscilador 202 de cristal de cuarzo alcance el equilibrio en una nueva presión de gas.

10 Este método puede ser menos preciso si el gas en el cilindro 100 de gas no es uniforme, por ejemplo, si el gas es una mezcla no uniforme, tal como puede presentarse dentro de un cilindro lleno de líquido parcialmente o en el caso de una mezcla de gases ligeros y pesados recientemente preparada y mezclada de manera insuficiente. Sin embargo, esto es poco probable que ocurra en la mayoría de las aplicaciones de gas envasado.

15 Como se describe previamente, el volumen interno V del gas dentro del cilindro 100 de gas es fijo. Por lo tanto, una vez que la densidad ρ del gas dentro del volumen interno V del cilindro 100 de gas se ha obtenido a partir de la medición mediante el conjunto 200 de sensor, la masa M del gas en el cilindro puede obtenerse a partir de la siguiente ecuación:

$$5) M = \rho V$$

20 La medición directa de la densidad ρ del gas, por lo tanto, permite el cálculo de la masa de gas que queda en el cilindro 100 de gas.

25 La medición de la masa de gas de esta manera tiene muchas ventajas sobre disposiciones conocidas. Por ejemplo, la masa medida de acuerdo con una realización de la invención se corrige de manera intrínseca para la temperatura. En contraste, la medición de presión utilizando, por ejemplo, un manómetro de Bourdon varía de manera proporcional con la temperatura absoluta. Por lo tanto, la presente disposición no requiere medición de temperatura y/o corrección como es el caso con disposiciones conocidas.

30 Además, la masa de gas medida de acuerdo, con una realización de la presente invención se corrige de manera intrínseca para capacidad de compresión Z . En una disposición convencional, por ejemplo, utilizando un manómetro de Bourdon para obtener contenidos de gas a partir de la presión, la capacidad de compresión del gas necesita corregirse. Esto particularmente es importante en altas presiones, donde la capacidad de compresión Z no es proporcional a la presión de gas en la forma esperada de un gas ideal.

35 La compensación automática de capacidad de compresión se ilustra con referencia a las figuras 7 y 8. La figura 7 muestra una gráfica de la masa de gas (en kg) en el eje Y como una función de la presión (bar g) para Argón, Oxígeno y una mezcla de Argón y Dióxido de Carbono. Como se muestra en la figura 7, las masas de los diferentes gases varían con la presión en incremento. Además, a altas presiones de más de 250 bares g, ya no existe una relación lineal entre la masa y la presión.

40 La figura 8 muestra una gráfica de la masa de gas (en kg) en el eje Y como una función de la Densidad (en kg/m^3) para los mismos tres gases (Argón, Oxígeno y una mezcla de Argón y Dióxido de Carbono) como en la figura 7. En contraste a la figura 7, puede observarse que la masa de gas como una función de densidad es idéntica para cada mezcla de gas/gases. Además, la relación aún es lineal en altas densidades. Por consiguiente, el oscilador 202 de cristal de cuarzo puede ser de alta resolución y altamente lineal con la densidad.

45 Como se menciona anteriormente, la disposición de la presente invención permite una medición de masa a muy alta precisión con una resolución de partes por millón. Junto con la respuesta lineal del sensor 202 de densidad de cuarzo a altas densidades y presiones (como se ilustra en las figuras 7 y 8), la alta precisión permite que gases muy ligeros tales como H_2 y He se midan con precisión.

50 Además de la medición de la presión estática dentro de un cilindro 100 de gas, el conjunto 200 de sensor es capaz de medir el flujo de masa dentro o desde el cilindro 100 de gas. Esto puede ser útil en situaciones donde el índice de uso de gas del cilindro 100 de gas se requiere, tal vez para calcular el tiempo que queda antes de que se vacíe el cilindro. Alternativa o adicionalmente, el flujo de masa puede monitorizarse para administrar las cantidades precisas de gas.

55 La densidad del gas en la presión atmosférica solo se encuentra en el orden de kg/litro , y los índices de uso de gas normales con frecuencia solo son de algunos litros por minuto. Los inventores han encontrado que el oscilador 202 de cristal de cuarzo es lo suficientemente estable y preciso para permitir que el flujo de masa de gas que sale del cilindro 100 de gas se mida por medio de la densidad cambiante indicada.

60

65

El flujo de masa $\frac{\partial M}{\partial t}$ se calcula a partir de la ecuación (6):

$$6) \frac{\partial M}{\partial t} = V \frac{\Delta \rho}{\Delta t}$$

5 donde V es el volumen, $\Delta \rho$ el cambio en la densidad indicada sobre el intervalo de tiempo Δt . En este caso, la operación del conjunto 200 de sensor requiere que el circuito 204 de activación se integre sobre un número de ciclos de oscilación del oscilador 202 de cristal de cuarzo. Por lo tanto, no es posible obtener un índice instantáneo de

10 cambio de densidad con el paso del tiempo, $\frac{\partial \rho}{\partial t}$. Sin embargo, el índice de cambio de densidad con el paso del tiempo relativamente en un cilindro de gas bajo una operación normal. Por lo tanto, la medición tomada utilizando el conjunto 200 de sensor puede ser lo suficientemente precisa en uso normal.

15 Las figuras 9 y 10 ilustran datos experimentales de la detección de flujo de masa. La figura 9 muestra una gráfica de frecuencia (kHz) en el eje Y como una función de tiempo (en minutos) en el eje X para un índice de flujo de 12 litros por minuto de un cilindro de 50 litros a una presión de ≈ 100 bares indicada. La figura 10 muestra una gráfica del índice de flujo calculado (en litros por minuto) en eje Y como una función de tiempo (en minutos) en el eje X para el cilindro de 50 litros a una presión de ≈ 100 bares.

20 Estas figuras ilustran que, para la mayoría de usos normales, el índice de flujo de masa del gas de un cilindro 100 de gas puede determinarse a partir de una medición del cambio de densidad con el paso del tiempo. Por consiguiente, el índice de flujo de masa puede calcularse con suficiente precisión y resolución de tiempo utilizando el oscilador 202 de cristal de cuarzo y el circuito 204 de activación.

25 La figura 11 ilustra datos experimentales adicionales que muestran la operación de la presente invención. La figura 11 muestra una gráfica de frecuencia (en 20 kHz) en el eje Y como una función de la masa del cilindro total (en kg) en el eje X. Como puede observarse, la gráfica, en un alto grado de precisión, es aproximadamente lineal. Por lo tanto, la figura 11 muestra que la masa de gas dentro del cilindro 100 de gas puede medirse con precisión con el oscilador 202 de cristal de cuarzo.

30 Un método de acuerdo con una realización de la presente invención ahora se describirá con referencia a la figura 12. El método descrito a continuación se puede aplicar a la primera y segunda realizaciones descritas en lo anterior con referencia a las figuras 2 y 3.

Etapa 300: Iniciar medición

35 En la etapa 300, la medición de la masa de gas en el cilindro 100 de gas se inicia. Esto puede activarse, por ejemplo, por un usuario que pulsa un botón en el exterior del cilindro 100 de gas. Alternativamente, la medición puede iniciarse por medio de una conexión remota, por ejemplo, una señal transmitida a través de una red inalámbrica y recibida por el conjunto 200 de sensor a través de una antena 250 (véase la figura 3).

40 Como otra alternativa o adición, el conjunto 200 de sensor puede configurarse para iniciar remotamente o en un cronómetro. El método pasa a la etapa 302.

Etapa 302: Activar el oscilador de cristal de cuarzo

45 Una vez iniciado, el circuito 204 de activación se utiliza para activar el oscilador 202 de cristal de cuarzo. Durante el inicio, el circuito 204 de activación aplica una tensión de CA de ruido aleatorio a través del cristal 202. Por lo menos una porción de la tensión aleatoria se encontrará en una frecuencia adecuada para provocar que el cristal 202 oscile. El cristal 202 entonces comenzará a oscilar en sincronía con esa señal.

50 Por medio del efecto piezoeléctrico, el movimiento del oscilador 210 de cristal de cuarzo entonces generará una tensión en la banda de frecuencia de resonancia del oscilador 202 de cristal de cuarzo. El circuito 204 de activación entonces amplifica la señal generada por el oscilador 202 de cristal de cuarzo, de manera que las señales generadas en la banda de frecuencia del resonador 202 de cristal de cuarzo dominarán la salida del circuito 204 de activación. La banda de resonancia estrecha del cristal de cuarzo filtra todas las frecuencias no deseadas y el circuito 204 de activación entonces activa el oscilador 202 de cristal de cuarzo en la frecuencia f de resonancia fundamental. Una vez que el oscilador 202 de cristal de cuarzo se ha establecido en una frecuencia de resonancia particular, el método procede a la etapa 304.

Etapa 304: Medir la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo

60 La frecuencia f de resonancia depende de las condiciones dentro del volumen interno V del cilindro de gas. En la presente realización, el cambio en la frecuencia Δf de resonancia es proporcional en magnitud al cambio en densidad del gas dentro del cilindro 100 de gas y disminuirá con la densidad en incremento.

Para realizar una medición, la frecuencia del oscilador 202 de cristal de cuarzo se mide por un período de aproximadamente 1 s. Esto es para permitir que la lectura se estabilice y para que suficientes oscilaciones se cuenten para determinar una medición precisa. La medición de frecuencia se lleva a cabo en el procesador 220. El procesador 220 también puede registrar el tiempo T_1 , cuando se inicie la medición.

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

Etapa 306: Determinar la masa del gas en el cilindro de gas

10 Una vez que la frecuencia del oscilador 202 de cristal de cuarzo se ha medido de manera satisfactoria en la etapa 303, el procesador 220 calcula entonces la masa de gas en el cilindro 100 de gas.

15 Esto se hace utilizando la ecuación 5) anterior donde la masa del gas puede calcularse directamente a partir de la densidad determinada en la etapa 304 y el volumen interno V conocido del cilindro 100 de gas. El método entonces procede a la etapa 308.

Etapa 308: Almacenar resultados de medición

20 Una vez que la masa de gas se ha calculado, la masa podría registrarse simplemente en una memoria interna asociada con el procesador 220 del conjunto 200 de sensor para recuperación posterior. Como alternativa adicional, la masa de gas en el tiempo T_1 podría almacenarse en una memoria local al procesador 220.

El método entonces pasa a la etapa 310.

Etapa 310: Comunicar resultados

25 Como etapa opcional, la masa de gas puede desplegarse en muchas formas. Por ejemplo, una pantalla conectada al cilindro 100 de gas o la válvula 104 podría desplegar la masa de gas contenida dentro del cilindro 100 de gas. Alternativamente, la medición de masa de gas podría comunicarse remotamente a una estación base o a un medidor situado en un aditamento adyacente.

30 El método entonces pasa a la etapa 312.

Etapa 312: Desconectar el conjunto de sensor

35 No es necesario mantener el conjunto 200 de sensor operacional todo el tiempo. Por el contrario, es beneficioso reducir el consumo de energía al desconectar el conjunto 200 de sensor cuando no se encuentre en uso. Esto prolonga la vida útil de la batería 206.

La configuración del circuito 204 de activación permite que el oscilador 202 de cristal de cuarzo se reinicie independientemente de la presión del gas en el cilindro 100 de gas. Por lo tanto, el conjunto 200 de sensor puede desconectarse cómo y cuándo se requiera para ahorrar energía de batería.

40 El método de operación de una realización de la presente invención se ha descrito anteriormente con referencia a la etapa 300 a 310 anterior. Sin embargo, las siguientes etapas adicionales también pueden hacerse opcionalmente:

Etapas 314-318: Hacer la determinación adicional de masa

45 Puede desearse calcular el flujo de masa de gas hasta/desde el cilindro 100 de gas. En un tiempo T_2 , que es posterior a T_1 , se realizan las etapas 314, 316 y 318. Las etapas 314, 316 y 318 corresponden a las etapas 304, 306 y 308 respectivamente llevadas a cabo en el tiempo T_2 . Los valores resultantes de las etapas 314, 316 y 318 se almacenan en la memoria interna del procesador 220 como masa de gas en el tiempo T_2 .

50 El intervalo de tiempo entre T_1 y T_2 puede ser muy corto, del orden de segundos, como se ilustra en la figura 9. Alternativamente, si el índice de flujo es bajo, o si se desea medir las pérdidas dentro del cilindro 100 de gas debido a, por ejemplo, fugas, entonces el intervalo de tiempo entre T_1 y T_2 puede ser considerablemente mayor, por ejemplo, del orden de minutos, horas o días.

55 El método entonces pasa a la etapa 320.

Etapa 320: Calcular el flujo de masa

Saber la diferencia de tiempo entre los tiempos T_1 y T_2 , y la masa de gas en el cilindro 100 de gas con esos tiempos, el procesador 220 puede calcular el flujo de masa en el período de tiempo entre T_1 y T_2 a partir de la ecuación 6).

60 El método entonces puede realizar las etapas 314 a 320 repetidas para calcular el flujo de masa adicional si se requiere. Alternativamente, el método puede cambiarse a la etapa 312 y el conjunto 200 de sensor puede desconectarse.

65 Variaciones de las realizaciones anteriores serán evidentes para la persona con experiencia en la técnica. La configuración precisa de los componentes de hardware y software puede diferir y aún caer dentro del alcance de la presente invención. La persona con experiencia en la técnica fácilmente puede estar al tanto de configuraciones

alternativas que podrían utilizarse.

Por ejemplo, las realizaciones antes descritas han utilizado un oscilador de cristal de cuarzo que tiene una frecuencia fundamental de 32,768 kHz. Sin embargo, los cristales que operan en frecuencias alternativas pueden utilizarse. Por ejemplo, los osciladores de cristal de cuarzo que operan a 60 kHz y 100 kHz pueden utilizarse con las realizaciones descritas anteriormente. Una gráfica que muestra el cambio de frecuencia con densidad para diferentes cristales se muestra en la figura 13. Como ejemplo adicional, un oscilador de cristal que opera a una frecuencia de 1,8 MHz podría utilizarse.

Mayor operación de frecuencia permite que la presión se monitoree más frecuentemente debido a que se requiere un período de tiempo más corto para muestrear un número determinado de ciclos. Adicionalmente, cristales de mayor frecuencia permiten que un ciclo de trabajo menor se utilice en un modo "inactivo" de un cristal. A manera de explicación, en la mayoría de los casos, el cristal y el circuito de activación pasarán más tiempo desconectados, solo se conectan durante un segundo o más cuando se necesita medición. Esto puede ocurrir, por ejemplo, una vez por minuto. Cuando un cristal de mayor frecuencia se utiliza, la presión puede medirse más rápido. Por lo tanto, el tiempo en el que el cristal es operacional puede reducirse. Esto puede reducir el consumo de energía y de manera concomitante mejorar la vida útil de la batería.

Adicionalmente, las realizaciones anteriores se han descrito al medir la frecuencia absoluta de un oscilador de cristal de cuarzo. Sin embargo, en electrónica autónoma incorporada en un regulador asociado con un cilindro de gas, puede ser ventajoso medir el cambio en frecuencia del sensor al comparar esa frecuencia con un sensor de referencia de tipo idéntico pero encerrado en un vacío o envase a presión. El envase a presión puede contener gas a una densidad seleccionada, gas bajo condiciones atmosféricas o puede abrirse a la atmósfera externa del cilindro 100 de gas.

Un conjunto 400 de sensor adecuado se muestra en la figura 14. El conjunto 400 de sensor comprende un primer oscilador 402 de cristal de cuarzo y un segundo oscilador 404 de cristal de cuarzo. El primer oscilador 402 de cristal de cuarzo es un cristal de referencia que está colocado dentro de un contenedor 406 sellado bajo vacío. El primer oscilador 402 de cristal de cuarzo se activa por un circuito 408 de activación.

El segundo oscilador 404 de cristal de cuarzo es un cristal similar al cristal 202 descrito en realizaciones anteriores. El segundo oscilador 404 de cristal de cuarzo se expone al ambiente de gas dentro del volumen interno del cilindro 100 de gas. El segundo oscilador 404 de cristal de cuarzo se activa por un circuito 410 de activación.

Esta comparación puede realizarse utilizando un circuito 412 mezclador electrónico que combina las dos señales de frecuencia y produce una salida en una frecuencia igual a la diferencia entre los dos cristales. Esta disposición permite que sean negados pequeños cambios debido, por ejemplo, a la temperatura.

Además, el circuito utilizado en un cilindro 100 de gas puede simplificarse debido a que solo se requiere medir la frecuencia de diferencia. Además, este procedimiento particularmente es adecuado para su uso con un oscilador de cristal de alta frecuencia (MHz), donde puede ser difícil medir la frecuencia del cristal directamente.

Adicionalmente, toda la electrónica requerida para medir y desplegar la densidad, masa o flujo de masa no necesita montarse sobre o en el cilindro de gas. Por ejemplo, las funciones electrónicas podrían dividirse entre unidades montadas en el cilindro de manera permanente y unidades montadas en la estación de uso de cliente o montadas de manera temporal en la salida del cilindro tal como la posición normalmente utilizada para un medidor de flujo convencional.

Un ejemplo de esta disposición se muestra con referencia a la figura 15. La disposición comprende un conjunto 50 de cilindro de gas que comprende un cilindro 500 de gas y un conjunto 502 de sensor. El conjunto 50 de cilindro de gas, el cilindro 500 de gas y el conjunto 502 de sensor sustancialmente son similares al conjunto 10 de cilindro de gas, el cilindro 100 de gas y el conjunto 200 de sensor sustancialmente como se describe previamente con referencia a las realizaciones anteriores.

En esta realización, el conjunto 502 de sensor comprende un oscilador de cristal de cuarzo y circuito de activación (no mostrado) similar al oscilador 202 de cristal de cuarzo y el circuito 204 de activación de realizaciones previas. Una antena 504 se proporciona para comunicación mediante cualquier protocolo de comunicación remoto adecuado, por ejemplo, Bluetooth, Infrarrojo (IR) o RFID. Alternativamente, puede utilizarse comunicación de un solo cable.

Como una alternativa adicional, pueden utilizarse métodos de comunicación acústica. La ventaja de tales métodos es que la comunicación remota puede efectuarse, sin el requisito de una antena 250 externa.

Una tubería 506 de conexión se conecta a la salida del cilindro 500 de gas. La tubería de conexión se termina por una conexión 508 de contacto rápido. La conexión 508 de contacto rápido permite que la tubería de conexión o componentes se conecten y desconecten fácil y rápidamente del cilindro 500 de gas.

Una unidad 550 de conexión rápida se proporciona para conexión al cilindro 500 de gas. Un conector 510 de contacto rápido complementario se proporciona para conexión al conector 508. Además, la unidad 550 de conexión rápida se proporciona con una unidad 552 de datos. La unidad 552 de datos comprende una pantalla 554 y una antena 556 para comunicación con la antena 504 del conjunto 50 de cilindro de gas. La pantalla 554 puede comprender, por ejemplo, una pantalla de tinta electrónica para reducir el consumo de energía y aumentar la visibilidad de la pantalla.

La unidad 552 de datos puede registrar varios parámetros como medidos por el conjunto 502 de sensor del conjunto 50 de cilindro de gas. Por ejemplo, la unidad 552 de datos podría registrar el índice de flujo frente al tiempo. Tal registro podría ser útil, por ejemplo, para contratistas de soldadura que desean comprobar que el flujo de gas se encontraba presente y era correcto durante los procedimientos de soldadura de gas prolongados en componentes críticos, o para suministrar datos sobre el uso de un cliente particular.

Adicionalmente, los datos obtenidos del cilindro 500 de gas pueden utilizarse para presentar datos en el tiempo de desconexión, es decir, el tiempo antes de que se utilice por completo el gas en el cilindro 500. Esto particularmente es crítico en aplicaciones tales como un cilindro de oxígeno de hospital utilizado en tránsito de paciente entre hospitales. Este tiempo (T_{ro}) puede calcularse a partir del conocimiento del índice de flujo (descrito anteriormente), el contenido de masa del cilindro 500 y el tiempo actual (T_c) mediante la siguiente ecuación:

$$7) \quad T_{ro} = T_c + \frac{M}{\frac{\partial M}{\partial t}}$$

Alternativamente, los datos de la unidad 550 de datos pueden producirse en una máquina de soldadura habilitada por ordenador (para aplicaciones de soldadura) u otro equipo de uso de gas, para permitir el cálculo de parámetros derivados, junto con mensajes de advertencia. Ejemplos no exhaustivos de esto pueden ser: Gas utilizado por tiempo de arco unitario, gas utilizado por kg de cable de soldadura (por ejemplo, con advertencia sobre porosidad de soldadura), el número de balones de tamaño estándar (o para medir y calibrar los balones de un tamaño no estándar), el número de horas de soldadura que queda, la pantalla de presión (al convertir el valor de densidad medido en presión utilizando datos de gas conocidos).

Adicionalmente, la unidad 550 de datos puede disponerse para proporcionar las siguientes funciones: para proporcionar una alarma audible o visible si el nivel de gas se encuentra por debajo de un cierto nivel o índice de flujo; para producir el tiempo de vida del cilindro (por ejemplo, las mezclas con cambio lentamente) o un fecha de finalización del cilindro; para contener y desplegar datos sobre el uso del gas, es decir, qué tipos de soldadura, qué tipos de metal soldado, o proporcionar vínculos para que teléfonos móviles u ordenadores puedan reunir datos detallados; para proporcionar una operación multimodal, por ejemplo, un modo de proveedor/llenador y un modo de cliente; para desplegar diferentes cantidades al cliente de aquello que se despliega por la compañía de gas que rellena los cilindros; para permitir la entrada de datos; para proporcionar datos tales como el número de cilindro, el tipo de gas, un certificado de análisis, un historial de cliente (quien tenía el cilindro durante qué fechas), datos de seguridad y consejos operacionales pueden llevarse a cabo en forma resumida en el cilindro.

Como alternativa, todos los ejemplos anteriores, opcionalmente, pueden procesarse, almacenarse u obtenerse de un sistema situado totalmente en (o dentro de) el cilindro 500 de gas como se discute en términos del conjunto 200, 502 de sensor.

Adicionalmente, las realizaciones de la presente invención también pueden utilizarse para realizar la detección de fugas. Un oscilador de cristal de cuarzo particularmente es adecuado para esta tarea debido a la gran sensibilidad de tal sensor. Adicionalmente, un oscilador de cristal de cuarzo no leerá de manera incorrecta los cambios de presión debido a cambios en la temperatura del cilindro, como es el caso cuando se detectan fugas utilizando un manómetro de presión. Adicionalmente, realizaciones de la invención pueden utilizarse para detectar fallos, por ejemplo, en la detección de la falla de válvula de presión residual (por ejemplo, en un cilindro utilizado con presión por debajo de 3 bares g).

Aunque las realizaciones anteriores se han descrito con referencia al uso de un oscilador de cristal de cuarzo, la persona con experiencia en la técnica fácilmente puede estar al tanto 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, bismuto, óxido de germanio, cerámica policristalina de titanato de zirconio, cerámica de alto contenido de alúmina, compuesto de óxido de silicio y zinc, o tartrato de dipotasio.

Adicionalmente, aunque las realizaciones anteriores se han ilustrado con referencia a cilindros de gas, pueden utilizarse otras aplicaciones de la presente invención. Por ejemplo, el oscilador de cristal de cuarzo puede situarse dentro del neumático de un vehículo tal como un coche, una motocicleta o un camión. Aunque la forma del neumático de un vehículo puede cambiar bajo carga o a velocidad, la invención de la presente solicitud ha demostrado que el volumen interno del neumático no cambia significativamente con el uso. Por ejemplo, siempre y

cuando el cambio en el volumen interno, en este contexto, sea menor al 2-3 % del volumen interno total, la presente invención se puede operar de manera fiable para calcular la masa de gas dentro de un neumático del vehículo.

5 Además, aunque muchas aplicaciones utilizan aire cada vez más como el gas dentro de un neumático de vehículo, se utilizan gases tales como Nitrógeno. Las disposiciones de la presente invención particularmente son adecuadas para tales aplicaciones. Además, debido a que la medición de masa esencialmente es independiente de la temperatura, la disposición de la presente invención es particularmente útil en situaciones donde las condiciones ambientales pueden afectar las mediciones.

10 Como ejemplo adicional, la presente invención también se puede aplicar a sistemas de suspensión de aire para vehículos.

15 Realizaciones de la presente invención se han descrito con referencia particular a los ejemplos ilustrados. Aunque ejemplos específicos se muestran en los dibujos y se describen en el presente documento en detalle, debe entenderse, sin embargo, que los dibujos y la descripción detallada no pretenden limitar la invención a la forma particular descrita. Se apreciará que variaciones y modificaciones pueden hacerse a los ejemplos descritos dentro del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un método para medir la masa de un gas bajo presión utilizando un oscilador (202) piezoeléctrico, comprendiendo dicho gas un gas permanente o una mezcla de gases permanentes y que está contenido dentro de un cilindro (100) de gas que tiene un volumen (V) interno fijo, comprendiendo el cilindro (100) de gas un cuerpo (102) de cilindro de gas, una disposición (104) de válvula conectada a dicho cuerpo (102) de cilindro de gas y dispuesta para permitir el llenado selectivo del cilindro de gas con gas o la dispensación de gas desde dicho cilindro (100) de gas y estando dispuesto el oscilador (202) piezoeléctrico en la disposición (104) de válvula de manera que el oscilador (202) piezoeléctrico está situado dentro del interior del cuerpo (102) de cilindro de gas y sumergido en el gas dentro del cilindro (100) de gas, comprendiendo el método:
- a) utilizar dicho oscilador (202) piezoeléctrico para medir la densidad del gas dentro del cilindro (100) de gas;
b) determinar, a partir de la medición de la densidad y a partir del volumen (V) interno de dicho cilindro de gas, la masa del gas dentro del cilindro (100) de gas.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la etapa a) comprende:
- activar, por medio de un circuito de activación, el oscilador piezoeléctrico de modo que el oscilador piezoeléctrico resuene a una frecuencia de resonancia; y
medir dicha frecuencia de resonancia durante un período de tiempo predeterminado para determinar la densidad del gas en dicho cilindro de gas.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que las etapas a) y b) se repiten una o más veces de modo que se obtienen una serie de mediciones de la densidad del gas dentro del cilindro de gas durante un período de tiempo, utilizándose la serie de mediciones para determinar el cambio en la masa de gas dentro del cilindro de gas durante dicho período de tiempo.
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, 2 o 3, en el que dicho oscilador piezoeléctrico comprende un oscilador de cristal de cuarzo.
5. Un cilindro (100) de gas que tiene un volumen interno fijo (V) y que contiene un gas permanente o una mezcla de gases permanentes bajo presión, comprendiendo el cilindro (100) de gas un cuerpo (102) de cilindro de gas y una disposición (104) de válvula conectada al cuerpo (102) de cilindro de gas, estando dispuesta la disposición (104) de válvula para permitir el llenado selectivo del cilindro (100) de gas con gas o para la distribución de gas desde el cilindro (100) de gas y que comprende un conjunto (200) de sensor para medir la masa del gas bajo presión dentro del cilindro (100) de gas, comprendiendo el conjunto (200) de sensor un oscilador (202) piezoeléctrico dispuesto en la disposición (104) de válvula de manera que el oscilador (202) piezoeléctrico está situado dentro del interior del cuerpo (102) de cilindro de gas y sumergido en el gas dentro del cilindro (100) de gas, estando dispuesto el conjunto (200) de sensor para medir la densidad del gas dentro del cilindro (100) de gas y estando configurado para determinar, a partir de la medición de densidad y a partir del volumen (V) interno de dicho cilindro de gas, la masa del gas dentro del cilindro (100) de gas.
6. Un cilindro de gas de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el conjunto de sensor comprende además un circuito de activación que comprende un par Darlington dispuesto en una configuración de retroalimentación desde un amplificador emisor común.
7. Un cilindro de gas de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, en el que el conjunto de sensor dispuesto además para activar el oscilador piezoeléctrico de modo que el oscilador piezoeléctrico resuene a una frecuencia de resonancia y para medir dicha frecuencia de resonancia durante un período de tiempo predeterminado para determinar la densidad del gas en dicho cilindro de gas.
8. Un cilindro de gas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que el conjunto de sensor está dispuesto además para realizar mediciones repetidas de la masa del gas dentro del cilindro de gas a intervalos de tiempo discretos para obtener una pluralidad de mediciones, y para determinar, a partir de la pluralidad de mediciones, el flujo de masa de gas hasta/desde el cilindro de gas durante los intervalos de tiempo discretos, más veces de manera que se obtienen una serie de mediciones de la densidad del gas dentro del cilindro de gas a lo largo de un período de tiempo, utilizándose dichas series de mediciones para determinar el cambio en la masa del gas dentro del cilindro de gas durante dicho período de tiempo.
9. Un cilindro de gas de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, en el que el conjunto de sensor está colocado totalmente dentro del volumen interno fijo del cilindro de gas.
10. Un producto de programa de ordenador que se puede ejecutar mediante un aparato de procesamiento programable, que comprende una o más porciones de software para realizar las etapas de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.

11. Un medio de almacenamiento que se puede utilizar con ordenador que tiene un producto de programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 10 almacenado en el mismo.

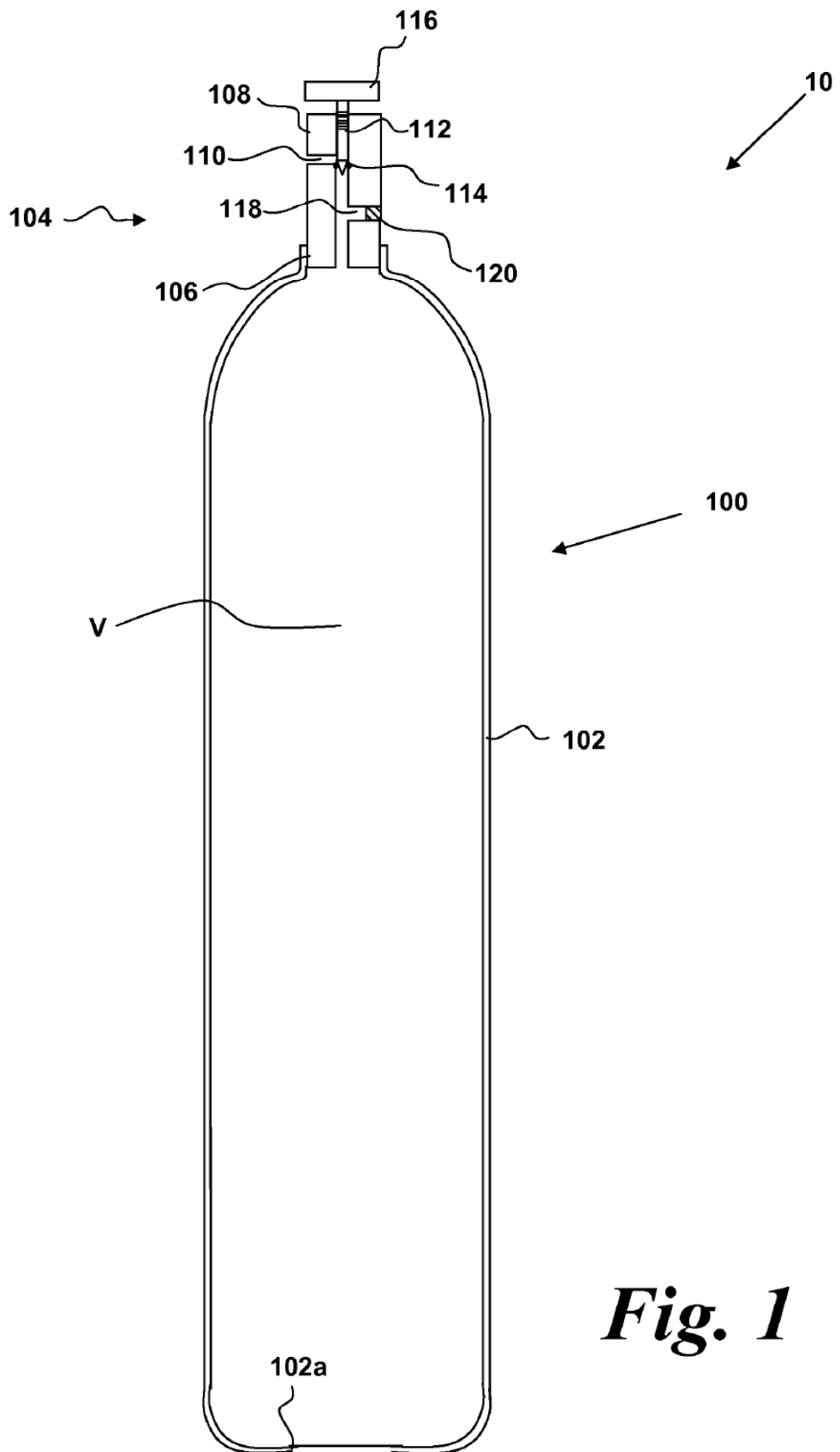


Fig. 1

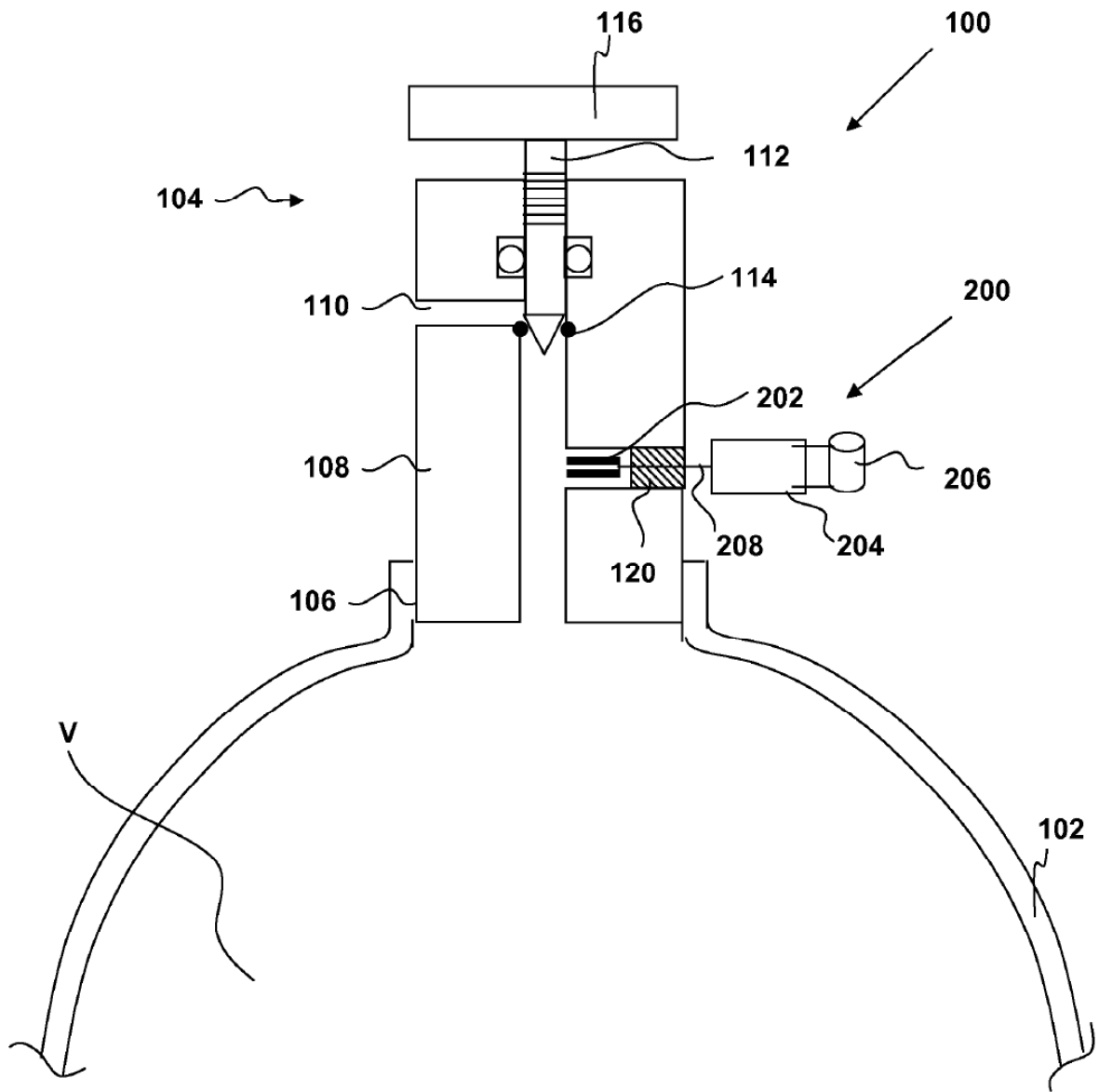


Fig. 2

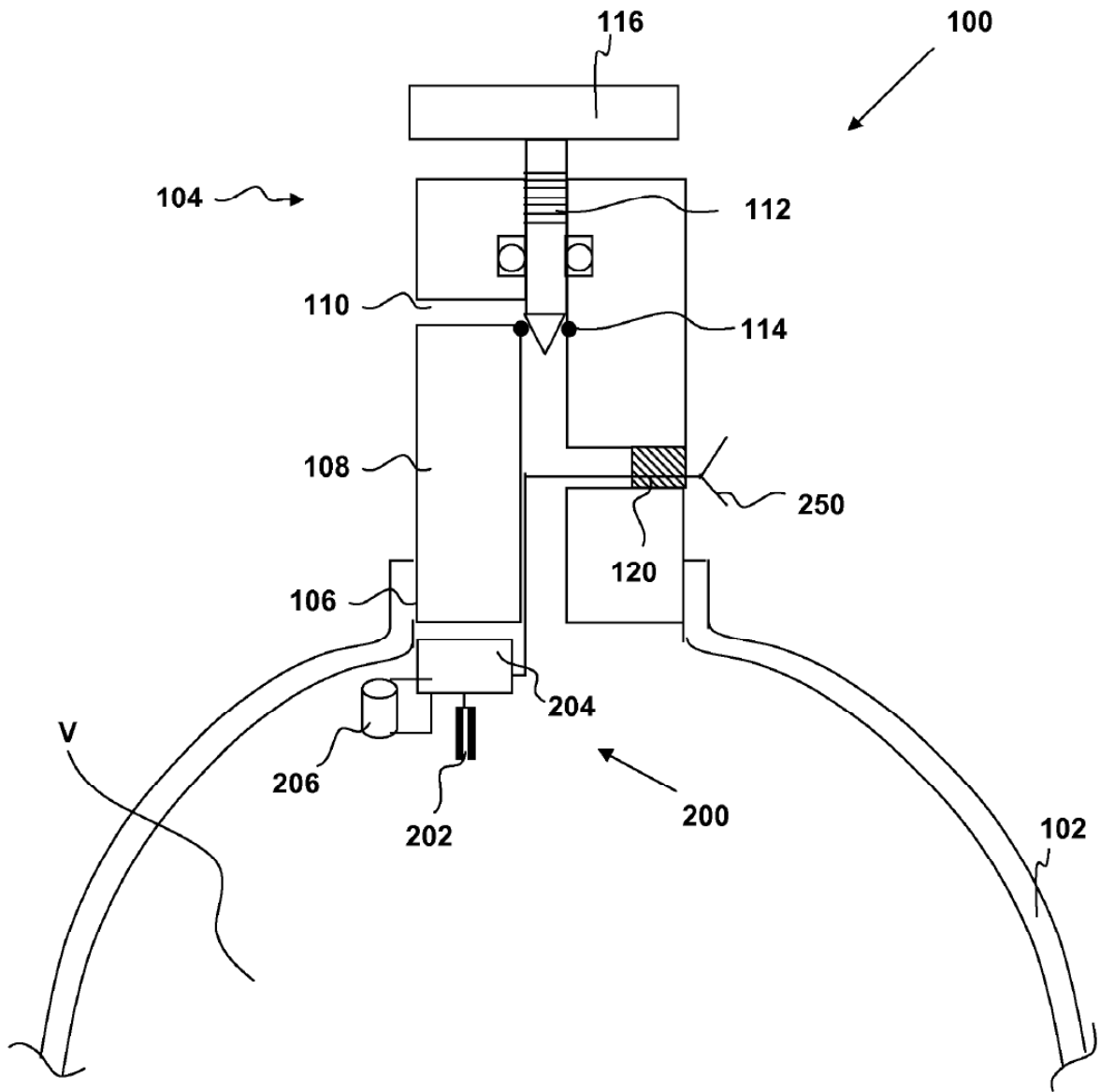


Fig. 3

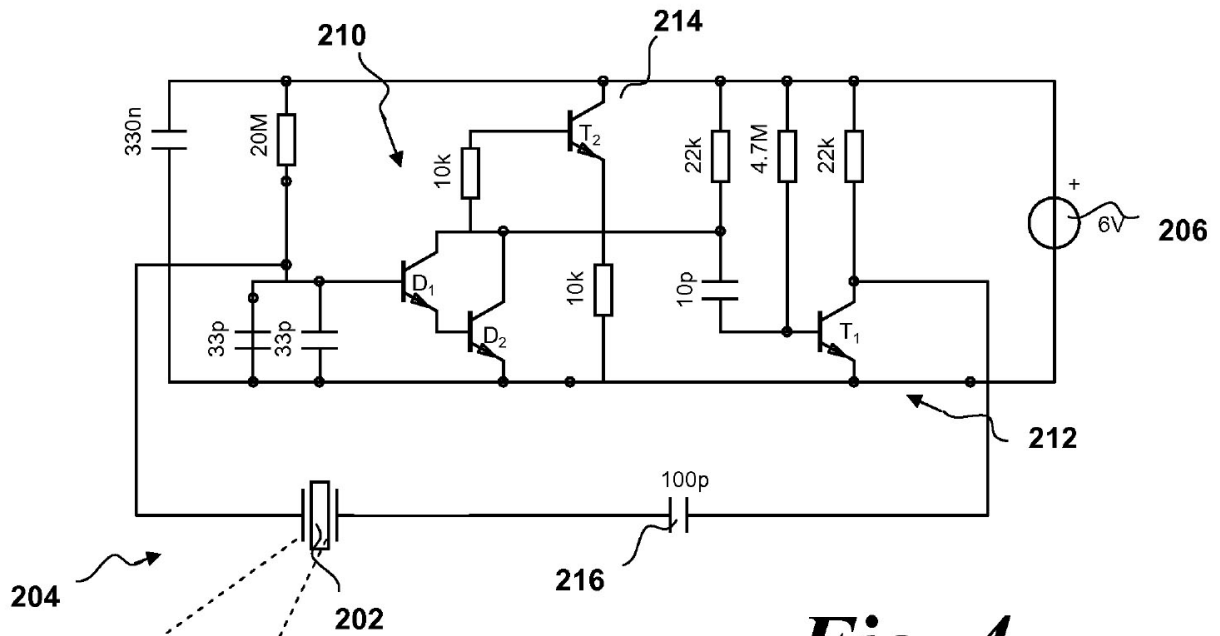


Fig. 4

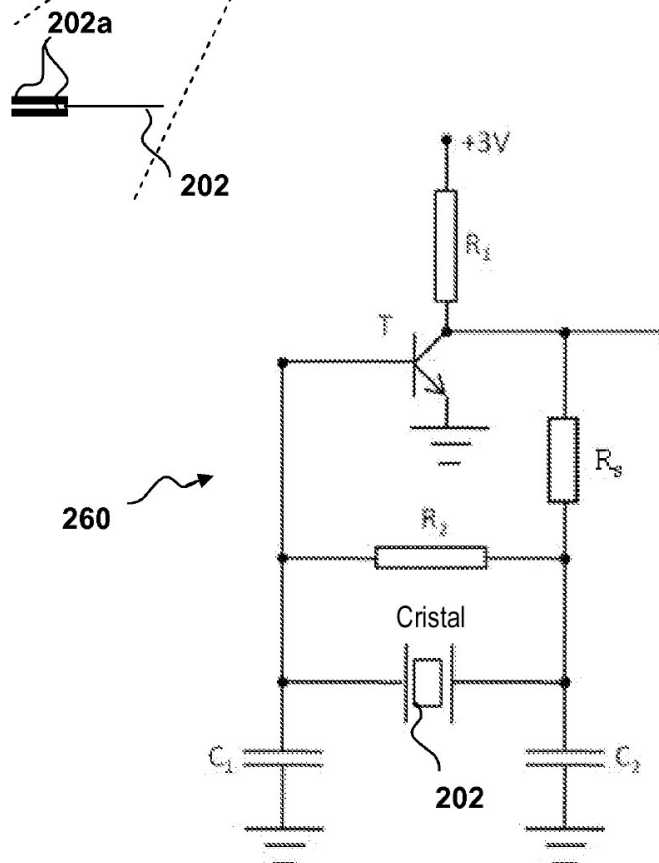


Fig. 5

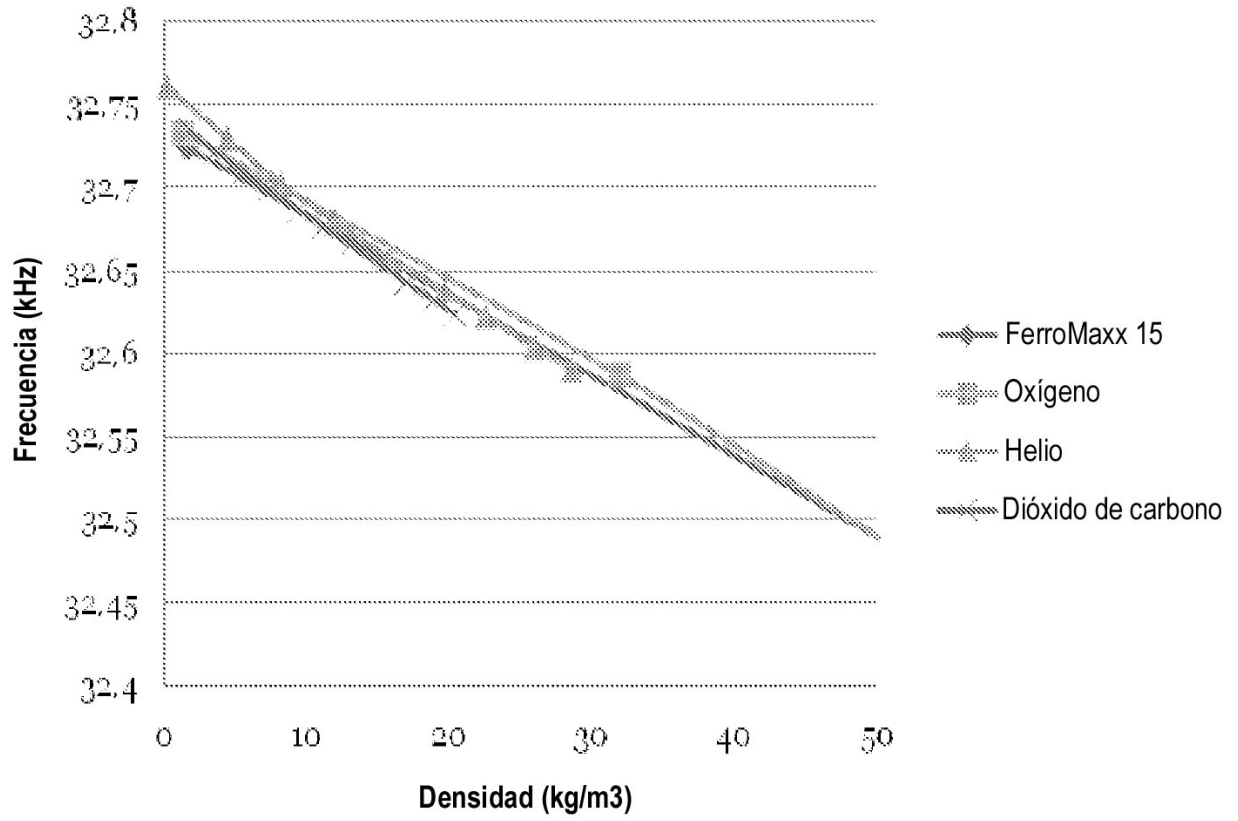


Fig. 6

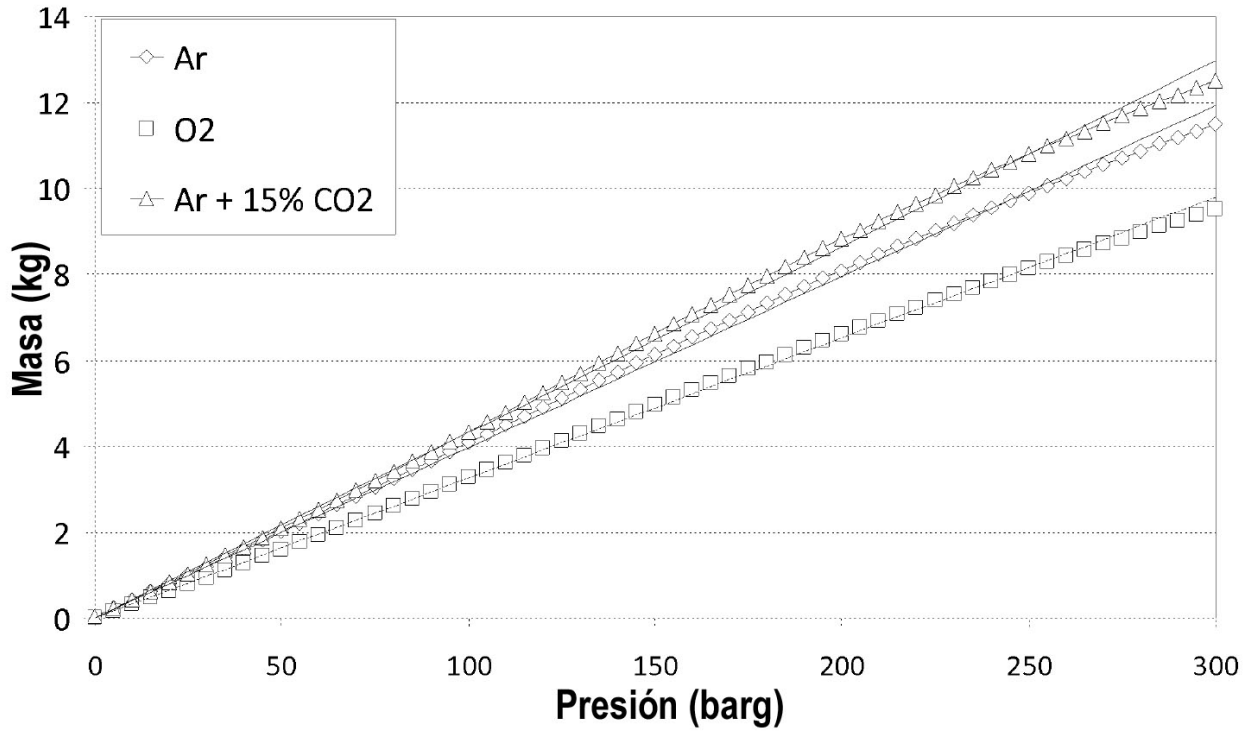


Fig. 7

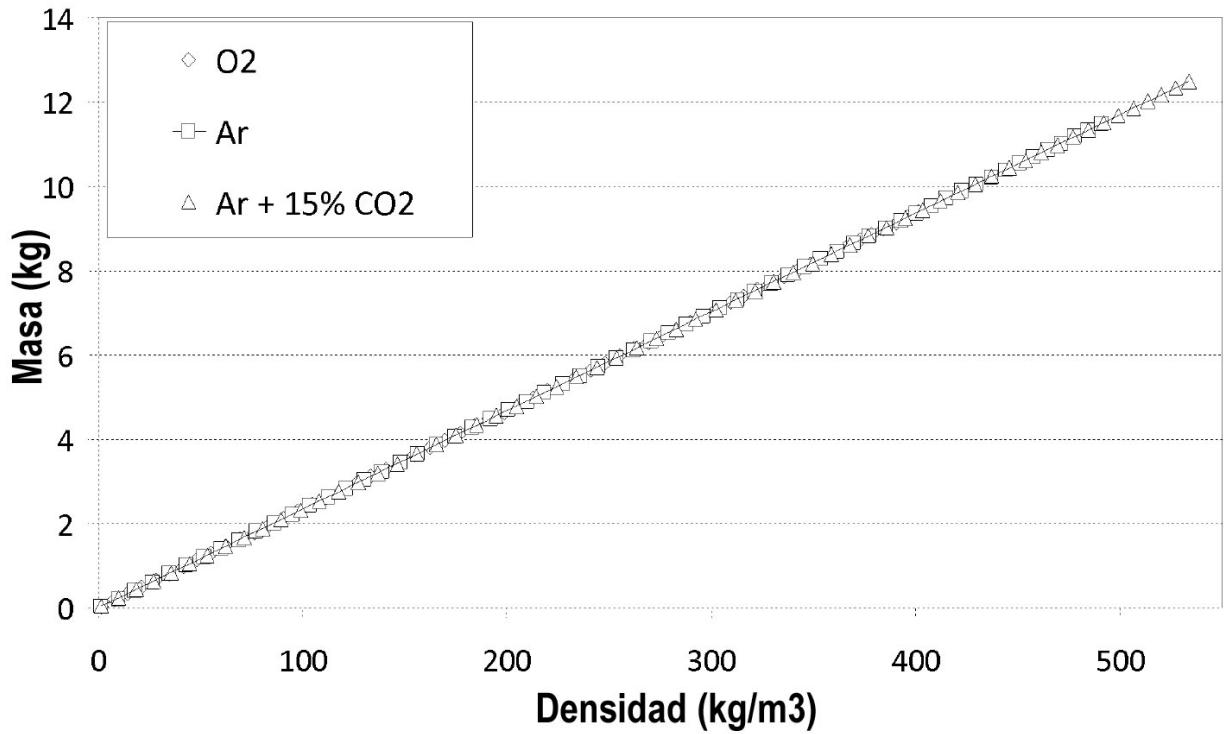


Fig. 8

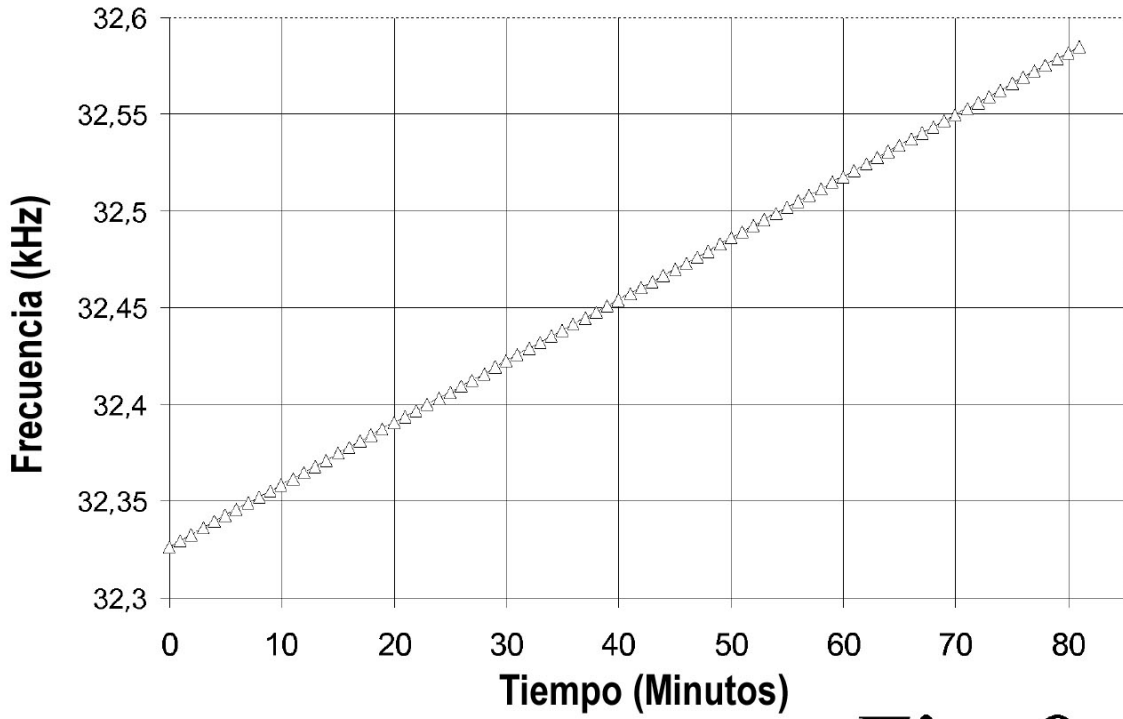


Fig. 9

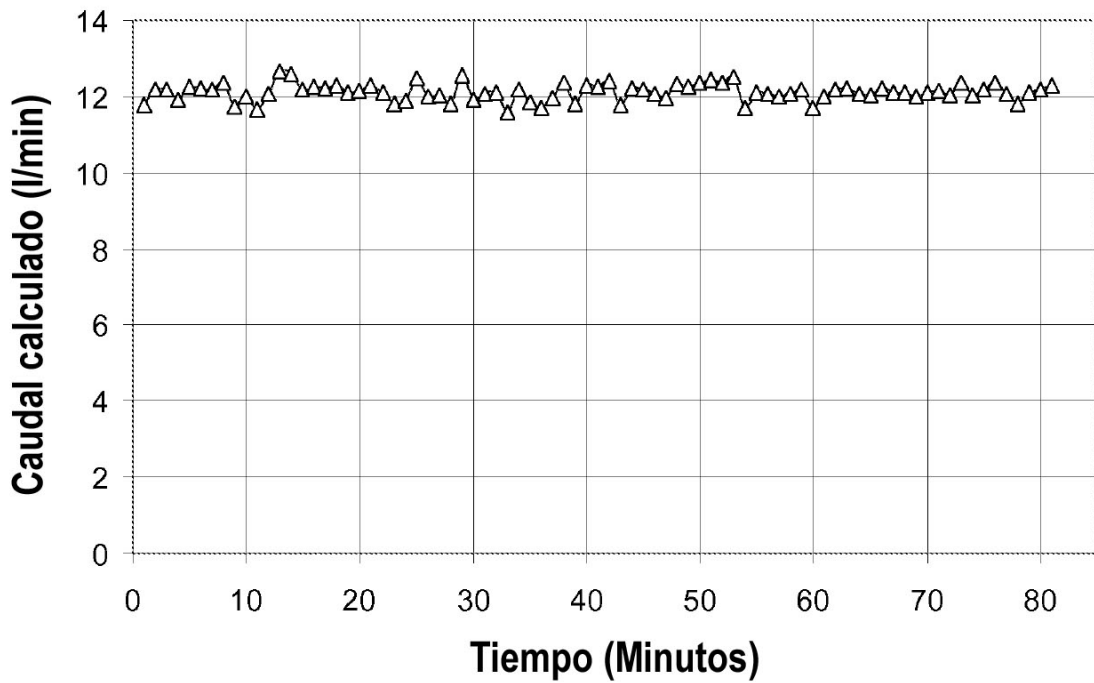


Fig. 10

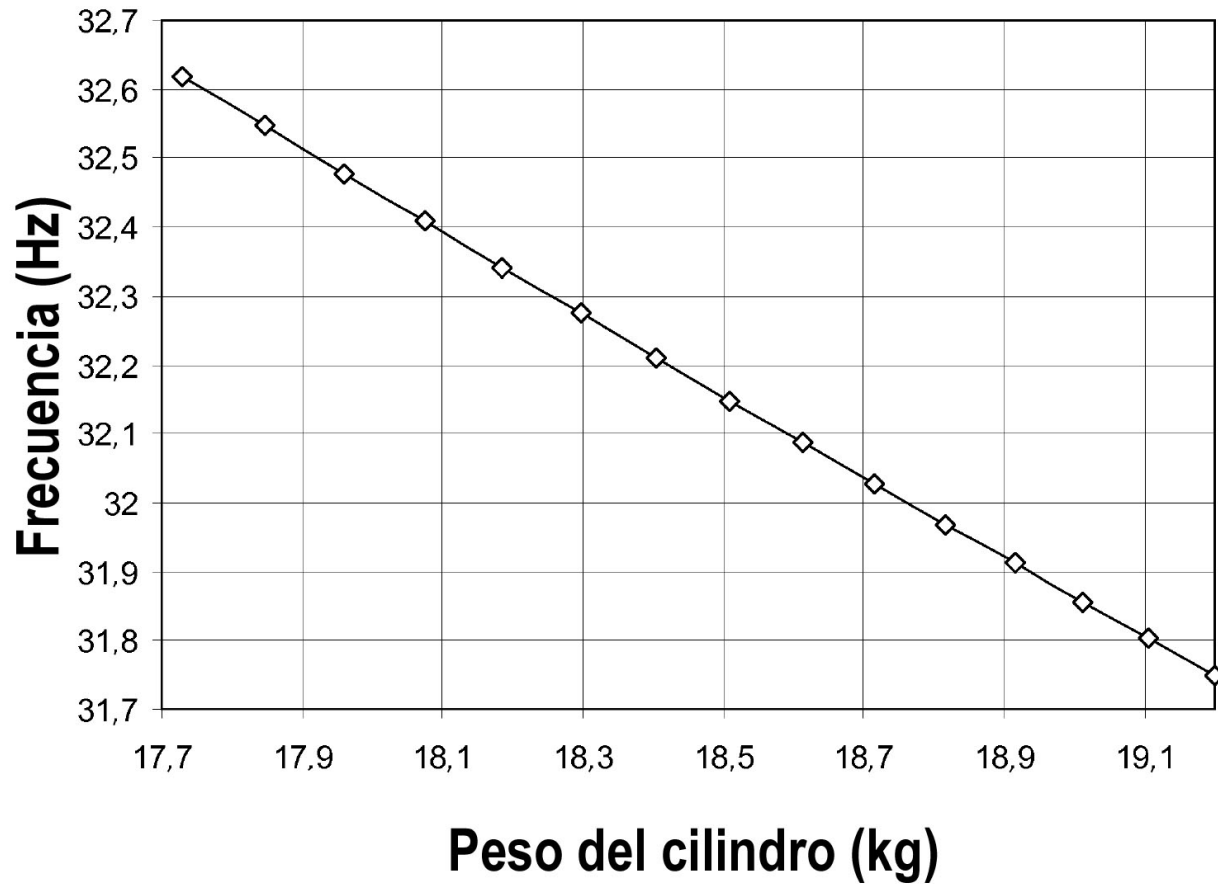


Fig. 11

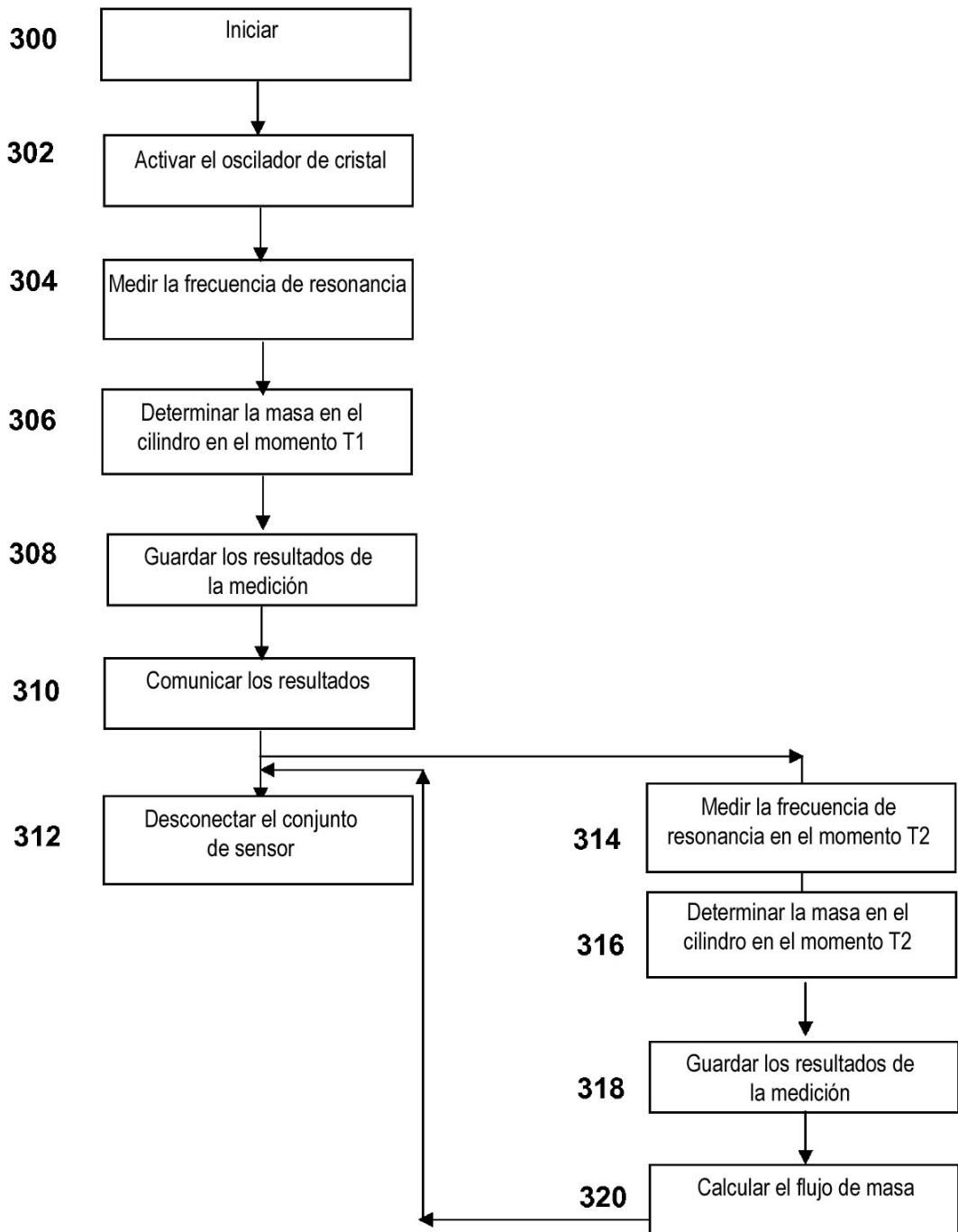


Fig. 12

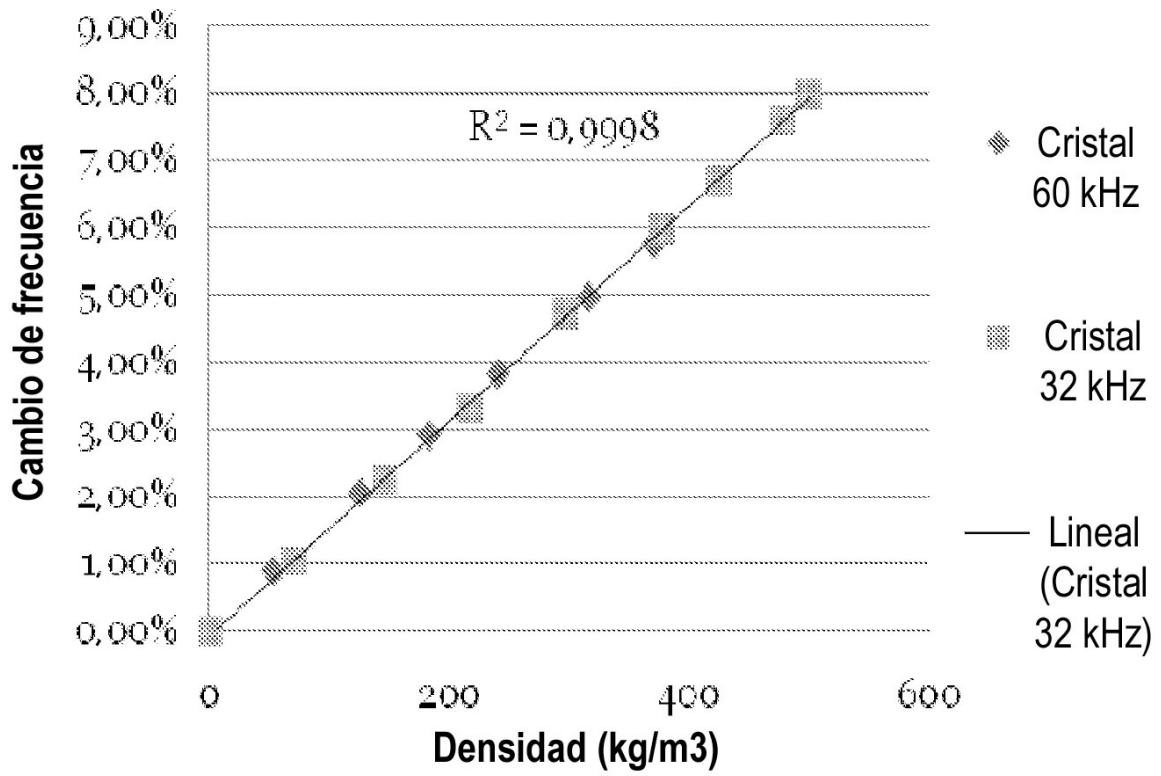


Fig. 13

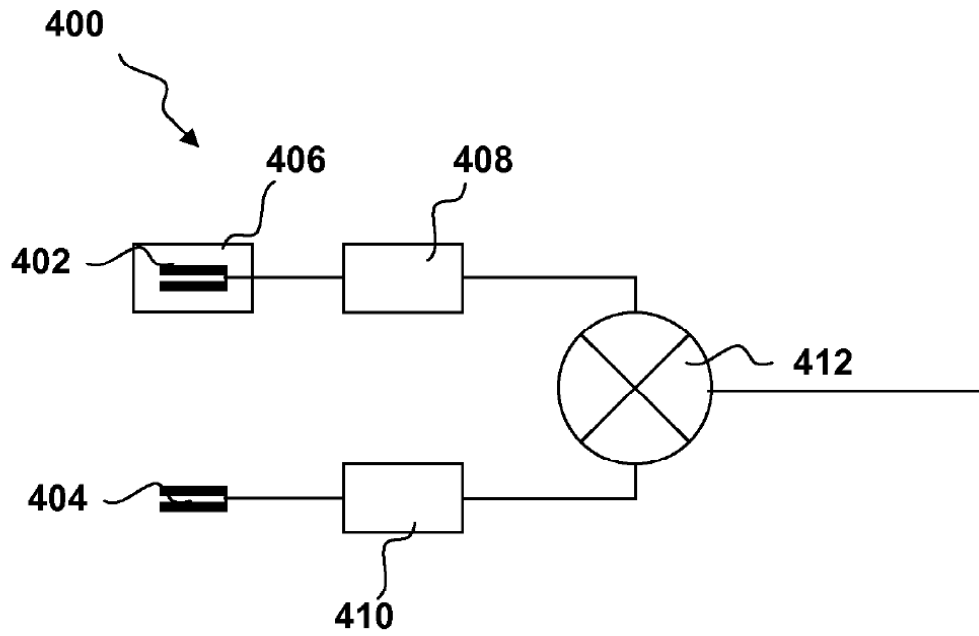


Fig. 14

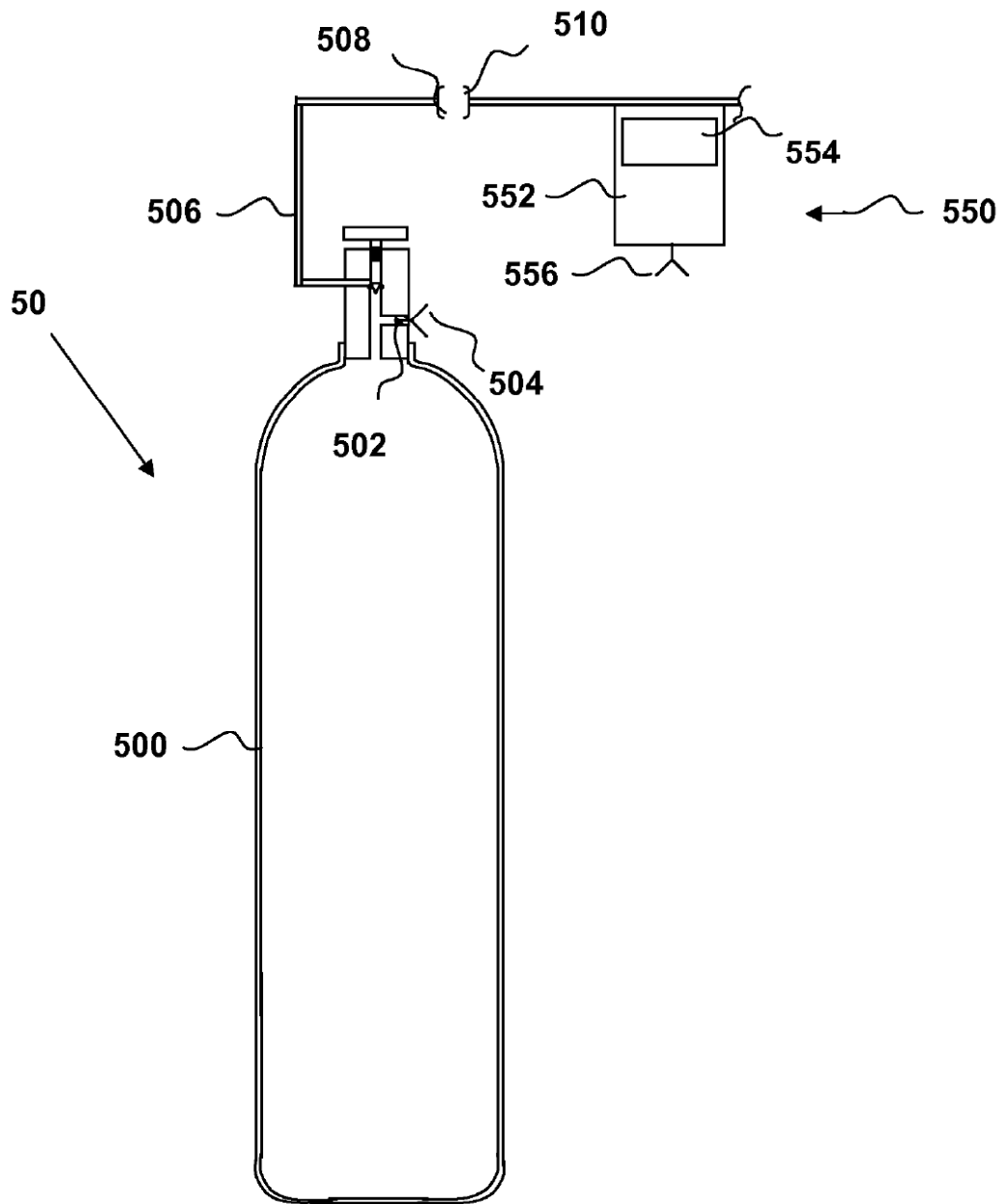


Fig. 15