

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 536 091**

51 Int. Cl.:

G01N 9/00 (2006.01)

G01N 29/036 (2006.01)

G01N 29/22 (2006.01)

F17C 13/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2012 E 12169387 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.02.2015 EP 2667176**

54 Título: **Aparato para la medición del contenido verdadero de un cilindro de gas bajo presión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.05.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LUDIK, CLAYTON MATHEW y
DOWNIE, NEIL ALEXANDER**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 536 091 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

Aparato para la medición del contenido verdadero de un cilindro de gas bajo presión

- 5 La presente invención se refiere a un aparato para la medición del contenido verdadero de un cilindro de gas bajo presión. Más particularmente, la presente invención se refiere a un aparato para la medición precisa del contenido verdadero o de la tasa de cambio del contenido verdadero, de un cilindro de gas, que utiliza un oscilador piezoeléctrico y una carcasa de protección.
- 10 El aparato descrito en este documento puede aplicarse a sistemas en los que está presente un gas a presión relativamente alta (por ejemplo, a alrededor de 10 bar o mayor) tal como, por ejemplo, el suministro de gases en cilindros de alta presión o en plantas manufactureras que utilizan gases a alta presión. La presente invención se refiere particularmente a gases "limpios", es decir, a gases con pocas o ninguna impureza o contaminantes tales como vapor de agua o partículas.
- 15 Un cilindro de gas comprimido es un recipiente sometido 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 un amplio rango de mercados, desde el mercado industrial general de bajo coste, pasando por el mercado de la medicina, hasta aplicaciones de alto coste, tales como la manufactura de productos electrónicos que utilizan gases de especialidad corrosiva, tóxica o pirofórica de alta pureza. Comúnmente, los recipientes de gas sometidos a presión están constituidos de acero, aluminio o materiales compuestos y son capaces de almacenar gases comprimidos, licuados o disueltos con una presión máxima de llenado de hasta 450 bar g (donde bar g es una medida de la presión (en bar) con respecto a la presión atmosférica) para la mayoría de los gases, y de hasta 900 bar g para gases tales como hidrógeno y helio.
- 20
- 25 La presente invención es aplicable particularmente a gases permanentes. Los gases permanentes son gases que no pueden licuarse sólo por presión, y pueden ser proporcionados, por ejemplo, en cilindros a presiones de hasta 450 bar g. Ejemplos de éstos son el Argón y el Nitrógeno. Sin embargo, esto no debe tomarse como limitante y puede considerarse que el término gas incluye un rango más amplio de gases, por ejemplo, tanto un gas permanente como el vapor de un gas licuado. El vapor de un gas licuado está presente por encima del líquido en un cilindro de gas comprimido. Los gases que se licuan bajo presión a medida que se comprimen para rellenar 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 un equilibrio de presión de vapor de 44,4 bar g a 15° C. Tales vapores no son permanentes o gases verdaderos dado que éstos son capaces de licuarse mediante presión o temperatura en condiciones aproximadamente ambientales.
- 30
- 35 En muchos casos, es necesario monitorizar el contenido de un cilindro o recipiente a presión dado para determinar la cantidad de gas restante. Esto es particularmente crítico en situaciones tales como aplicaciones médicas.
- 40 Es conocido calcular, de acuerdo con las leyes de los gases, el contenido verdadero de un cilindro a partir del conocimiento de la presión del gas en el interior de un cilindro. La medición de la presión es una técnica muy conocida y hay una variedad de dispositivos que funcionan con el fin de medir la presión. El tipo más convencional utiliza un diafragma elástico equipado con elementos de galga extensiométrica. Sin embargo, aunque se trata de uno de los sensores de presión de coste más bajo que se realizan en la actualidad, estos sensores tienden a ser de tamaño relativamente grande y tienen una estructura mecánica que, aunque se pueden producir con métodos fotolitográficos de producción en masa, es, a pesar de eso, relativamente compleja y cara de realizar. Éstos tienen también un cierto grado de fragilidad y requieren calibración y compensación de temperatura antes de que puedan ser utilizados.
- 45
- 50 Otro medidor de presión utilizado comúnmente es un manómetro de Bourdon. Un medidor como tal comprende un tubo frágil de extremo cerrado, de pared delgada aplanada, el cual está conectado por el extremo hueco a un tubo fijo que contiene el fluido a presión, cuya presión se debe medir. Un incremento en la presión hace que el extremo cerrado del tubo describa un arco. Un medidor como tal comprende componentes delicados que son vulnerables al daño provocado por, por ejemplo, la exposición a altas presiones.
- 55 Un problema que hace difícil medir de forma precisa la cantidad de gas en un recipiente de gas es la relación entre la temperatura y la presión de los gases contenidos en el interior del cilindro. Según las leyes de los gases, la presión ejercida por una cantidad dada de gas a volumen constante es directamente proporcional a su temperatura. Por lo tanto, a medida que la temperatura de un gas aumenta, también lo hace la presión del gas.
- 60 Consecuentemente, la medición de la presión utilizando un medidor de presión tal como el manómetro de Bourdon aumenta y disminuye en proporción a la temperatura absoluta; por ejemplo, a partir de una temperatura inicial de 20° C hasta, por ejemplo, 50° C en un entorno iluminado por el sol, la presión indicada sobre un manómetro de Bourdon aumentará en un 10%.
- 65

Una cuestión adicional es que, con el fin de determinar el contenido de un cilindro que utiliza un medidor de presión, se requiere que el medidor de presión sea corregido de acuerdo con la compresibilidad del gas. Esto es complicado por el comportamiento de un gas a alta presión, que no cumple con el comportamiento de un gas ideal.

5 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 exhiben un comportamiento piezoeléctrico, es decir, la aplicación de tensión sobre éstos genera un acortamiento o estiramiento del sólido, y viceversa.

10 El documento "A Precise And Robust Quarz Sensor Based On Tuning Fork Technology For (SF₆) – Gas Density Control" de Zeisel *et al*, *Sensors and Actuators 80 (2000) 233 – 236* describe un dispositivo en el cual se utiliza un sensor de cristal de cuarzo para medir la densidad de un gas SF₆ en un equipo eléctrico de media y alta tensión a presiones bajas 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 la tecnología de sensor de cuarzo en la cual se utilizan presiones de hasta 8 bar.

15 El documento US 4.644.796 describe un método y un aparato para la medición de la presión de un fluido utilizando un oscilador de cristal de cuarzo alojado en el interior de una carcasa de volumen variable que comprende una disposición de fuelles. El volumen interno de la carcasa varía debido a la compresión / expansión de los fuelles mediante la presión externa del fluido. Consecuentemente, la densidad del fluido en el interior de la carcasa varía a medida que varía el volumen interno de la carcasa. Puede medirse la densidad en el interior de la carcasa utilizando un oscilador de cristal de cuarzo.

20 El documento US – A – 5.421.190 se refiere a un dispositivo para la medición de la densidad de un gas aislante en una instalación eléctrica aislada con gas. Se proporcionan dos resonadores de cristal piezoeléctrico. Un primer resonador está ubicado en el interior de la cámara que contiene el gas a ser medido y el segundo resonador está ubicado en una cámara sellada apartada de la medición de gas.

25 Los dispositivos anteriores describen el uso de un sensor de estado sólido tal como un oscilador de cristal de cuarzo. Sin embargo, ninguno de los dispositivos y métodos anteriores es adecuado para la medición precisa de la masa de gas en un recipiente a presión tal como un cilindro con gas.

30 Una complicación adicional en lo que respecta a la medición de las propiedades físicas de un gas contenido en un cilindro de gas es el movimiento del gas en el interior del cilindro. Por ejemplo, si la parte superior de un cilindro de gas está frío, se pueden formar corrientes convectivas enérgicas que pueden distorsionar las mediciones de las propiedades físicas del gas.

35 El número de Grashof (Gr) es un número adimensional que aproxima el cociente entre las fuerzas de flotación y las fuerzas viscosas que actúan sobre un fluido. El valor de Gr proporciona una indicación de la probabilidad de ocurrencia de la convección en fluidos particulares – cuanto más alto es el valor de Gr, mayor probabilidad de que se produzca la convección.

40 El valor de Gr de, por ejemplo, el gas Argón a una presión de 300 bar g en el interior de un cilindro de gas es muy grande. El Argón a presiones altas como tales tiene una densidad que se aproxima a la del agua, pero tiene una viscosidad significativamente menor (aproximadamente cincuenta veces menor que la del agua). Además, el Argón tiene una tendencia mucho mayor que la del agua a expandirse cuando se calienta. Como consecuencia, incluso pequeños gradientes negativos de temperatura (es decir, cuando la parte superior del cilindro está más fría) pueden conducir a una fuerte convección del gas en el interior del cilindro de gas.

45 Puede producirse un gradiente de temperatura a lo largo de la longitud de un cilindro en una serie de circunstancias durante el uso. Por ejemplo, si se ha rellenado recientemente un cilindro, si éste se mueve entre entornos a diferentes temperaturas, o en una situación en la cual se extrae un caudal desde una válvula unida al cilindro, la parte superior del cilindro puede estar significativamente más fría que el cuerpo del cilindro. El gradiente de temperatura puede ser, a menudo, de más de 10° C e incluso de hasta 30° C. En la actualidad, las válvulas de reducción de presión integradas (VIPRs) se están haciendo cada vez más populares.

50 Sin embargo, las válvulas como tales adquieren particularmente frío a medida que éstas expanden el gas a partir de la presión de almacenamiento. Por lo tanto, como consecuencia de esas diferencias de temperatura, a menudo se producirá convección en un cilindro. La convección se produce de una manera turbulenta, con modulaciones aleatorias de densidad y temperatura, de forma tal que $\rho \sim 1/T$, con casi ningún cambio en la presión.

55 En general, una metodología de medición de las propiedades físicas de un gas en el interior de un cilindro consiste en colocar un sensor en el interior del cilindro mismo de gas. Esto permite que el sensor monitoree las propiedades del gas en el centro del cilindro.

60 Sin embargo, cuando se extrae un caudal desde un cilindro de gas utilizando un cilindro que tiene un VIPR, se generan fuertes corrientes de convección. Las corrientes de convección conducen a un ruido excesivo cuando se

miden las propiedades del gas tales como la tasa de cambio del contenido másico de un cilindro, suministrando resultados de mediciones inexactos o incluso sin sentido. Por lo tanto, los dispositivos de medición conocidos adolecen del problema técnico de que éstos son incapaces de proporcionar una medición precisa de las propiedades físicas de un gas en un envase tal como un cilindro de gas en el cual es probable que se encuentre convección.

5 Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona una unidad de medición para la medición de propiedades físicas de un gas bajo presión en el interior de un cilindro de gas que comprende un cuerpo de cilindro de gas y un dispositivo de válvula que definen un volumen interno fijo del cilindro de gas, comprendiendo la unidad de medición una carcasa, un oscilador piezoeléctrico para su inmersión en el gas en el interior del cilindro de gas y un
10 circuito de control operable para controlar el oscilador piezoeléctrico de forma tal que el oscilador piezoeléctrico vibra a una frecuencia de resonancia, estando dispuesta la unidad de medición para determinar la densidad del gas en el interior del cilindro de gas a partir de la frecuencia de resonancia del oscilador piezoeléctrico cuando está sumergido en dicho gas, en la cual, durante el uso, la carcasa está ubicada en el interior del volumen interno fijo del cilindro de gas y comprende una primera cámara y una segunda cámara, estando la primera cámara en comunicación fluida con la segunda cámara y conteniendo sustancialmente a dicho oscilador piezoeléctrico, y estando la segunda cámara en comunicación fluida con el interior del cilindro de gas.

Proporcionando un dispositivo como tal, puede medirse directamente el contenido verdadero (es decir, la masa) de fluido en un recipiente sometido a presión tal como un cilindro, sin la necesidad de compensar factores tales como temperatura o compresibilidad. La carcasa de la presente invención atenúa el ruido y los errores generados por las corrientes convectivas en el interior de un cilindro de gas, permitiendo una determinación precisa de la masa, o la tasa de cambio de la masa, a través de la derivación directa a partir de la densidad del gas en el cilindro.

Además, el oscilador piezoeléctrico es un dispositivo de estado sólido que es resistente a las altas presiones o a los cambios súbitos en la presión y, como tal, es menos probable que se dañe debido a "fluencia" por presión u otros factores del entorno. La estructura del oscilador piezoeléctrico permite que el oscilador piezoeléctrico se sumerja enteramente en el gas, a diferencia de los medidores convencionales (tales como el manómetro de Bourdon) que requieren un diferencial de presión con el fin de funcionar.

En una realización, el recipiente sometido a presión tiene un volumen interno fijo y la unidad de medición está configurada además para determinar, a partir de la medición de la densidad y a partir del volumen interno de dicho recipiente sometido a presión, la masa de gas en el interior del recipiente sometido a presión.

En una realización, la unidad de medición está dispuesta además para llevar a cabo repetidas mediciones de la masa del gas en el interior del recipiente sometido a presión a intervalos discretos de tiempo para obtener una pluralidad de mediciones, y para determinar, a partir de dicha pluralidad de mediciones, el caudal másico de gas hacia / desde el recipiente sometido a presión durante los intervalos discretos de tiempo.

En una realización, los intervalos discretos de tiempo son del orden de segundos.

En una realización, se aplica filtrado numérico a dichas mediciones.

En una realización, la primera cámara tiene una pared que comprende una primera abertura que permite la comunicación fluida entre las cámaras primera y segunda, y la segunda cámara que tiene una pared que comprende una segunda abertura para permitir una comunicación fluida entre la segunda cámara y el volumen interior del recipiente sometido a presión.

En una realización, la primera y / o la segunda cámara tiene unas dimensiones de 0,35 mm o menos. En una realización, la primera y / o segunda abertura tiene unas dimensiones de 0,22 mm o menos.

En una realización, la carcasa es sustancialmente cilíndrica. En una realización, la carcasa tiene una longitud de 230 mm o menos. En una realización, la carcasa tiene una longitud de 80 mm o menos.

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

Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un cilindro de gas para contener un gas bajo presión, teniendo el cilindro de gas un cuerpo del cilindro de gas que define un volumen interno fijo, un dispositivo de válvula conectado a dicho cuerpo de cilindro de gas y dispuesto para permitir el llenado selectivo del cilindro de gas o la dispensación de gas desde dicho cilindro de gas y la unidad de medición del primer aspecto.

En una realización, la unidad de medición está ubicada enteramente en el interior del volumen interno fijo del recipiente sometido a presión.

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 punta. En una variación, el cristal de cuarzo comprende un par de puntas planas.
- 5 En una realización, el cristal de cuarzo tiene un corte AT o un corte SC.
- En una variación, la superficie del cristal de cuarzo está directamente expuesta al gas.
- 10 En una realización, la unidad de medición comprende una fuente de potencia. En una disposición, la fuente de potencia comprende una batería de iones litio.
- En una realización, la unidad de medición comprende un procesador.
- 15 En una realización, el recipiente sometido a presión comprende un recipiente a alta presión. Un recipiente a alta presión es un recipiente dispuesto para soportar presiones internas generalmente mayores que 10 bar.
- En una variación, dicho oscilador piezoeléctrico comprende un oscilador de cristal de cuarzo.
- En una variación, el gas es un gas permanente.
- 20 En una realización, la unidad de medición comprende un circuito de control que comprende un par Darlington dispuesto en una configuración de realimentación desde un amplificador emisor común.
- En una realización, la unidad de medición comprende una fuente de potencia. En una disposición, la fuente de potencia comprende una batería de iones litio.
- 25 En una realización, la unidad de medición comprende un procesador.
- En una realización, la unidad de medición está dispuesta para accionar el oscilador piezoeléctrico de forma tal que el oscilador piezoeléctrico vibra a una frecuencia de resonancia, y para medir dicha frecuencia de resonancia sobre un período de tiempo predeterminado para determinar la densidad del gas en dicho recipiente sometido a presión.
- 30 En una realización, la unidad de medición está dispuesta además para llevar a cabo repetidas mediciones de la masa del gas en el interior del recipiente sometido a presión a intervalos discretos de tiempo para obtener una pluralidad de mediciones, y para determinar, a partir de dicha pluralidad de mediciones, el caudal másico de gas hacia / desde el recipiente sometido a presión durante los intervalos discretos de tiempo, más veces, de forma tal que se obtiene una serie de mediciones de la densidad del gas en el interior del recipiente sometido a presión sobre un período de tiempo, siendo utilizada dicha serie de mediciones para determinar el cambio en la masa del gas en el interior del recipiente sometido a presión durante dicho período de tiempo.
- 35 Según un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo de válvula que comprende la unidad de medición del primer aspecto, siendo apto el dispositivo de válvula para su conexión a un cuerpo de recipiente sometido a presión para formar el recipiente sometido a presión que tiene un volumen interno fijo, estando dispuesto el dispositivo de válvula para permitir el llenado selectivo del recipiente sometido a presión con gas o la dispensación de gas desde el recipiente sometido a presión.
- 40 En una realización, la unidad de medición comprende un circuito de control. En una realización, la unidad de medición comprende una fuente de potencia. En una variación, la fuente de potencia comprende una batería de iones de litio.
- 45 En una realización, la unidad de medición está ubicada enteramente en el interior del volumen interno fijo del recipiente sometido a presión.
- Ahora se describirán realizaciones de la presente invención en detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:
- 55 La Figura 1 es un diagrama esquemático de una unidad de cilindro de gas.
La Figura 2 es un diagrama esquemático que muestra una parte superior de la unidad de cilindro de gas según una realización de la invención.
La Figura 3 es un diagrama esquemático que muestra la carcasa de la unidad de medición de la realización de la Figura 2.
- 60 Las Figuras 3b a 3f son diagramas esquemáticos que muestran variaciones alternativas de la carcasa adecuadas para su uso con la unidad de medición de la realización de la Figura 2.
La Figura 4 es un diagrama esquemático de un circuito de control para su uso con las realizaciones de la invención.
- 65 La Figura 5 es un diagrama esquemático que muestra un circuito de control alternativo para su uso con las realizaciones de la invención.

- La Figura 6 es un diagrama esquemático que muestra un circuito de control alternativo adicional para su uso con las realizaciones de la invención.
- La Figura 7 muestra un gráfico de la frecuencia (kHz) del cristal de cuarzo sobre el eje Y en función de la densidad (kg/m^3) para una serie de gases diferentes.
- 5 La Figura 8 muestra un gráfico de la masa del gas (en kg) sobre el eje Y en función de la presión (bar g) sobre el eje X para Argón, Oxígeno y una mezcla de Argón – Dióxido de Carbono.
- La Figura 9 muestra un gráfico de la masa del gas (en kg) sobre el eje Y en función de la densidad (en kg/m^3) sobre el eje X para los mismos tres gases (Argón, Oxígeno y una mezcla de Argón – Dióxido de Carbono), como se muestra en la Figura 7.
- 10 La Figura 10 muestra un gráfico de la frecuencia (en kHz) sobre el eje Y en función del tiempo (en minutos) sobre el eje X para un caudal de 12 l/min a partir de un cilindro de gas de 50 litros a una presión de 100 bar g.
- La Figura 11 muestra un gráfico del caudal calculado (en litros por minuto) sobre el eje Y en función del tiempo (en minutos) sobre el eje X para un cilindro de gas de 50 litros a una presión de 100 bar g.
- 15 La Figura 12 muestra un gráfico de la frecuencia (en kHz) sobre el eje Y en función de la masa del cilindro de gas (en kg) sobre el eje X para un cilindro de gas típico.
- La Figura 13 es un gráfico de caudal (en litros / minuto dividido por dos) en función del tiempo (sobre el eje X) en segundos para una medición de caudal que utiliza un oscilador de cristal de cuarzo sin una carcasa.
- La Figura 14 es un gráfico de caudal (en litros / minuto dividido por dos) en función del tiempo (sobre el eje X) en segundos para una medición de caudal que utiliza un oscilador de cristal de cuarzo rodeado por una carcasa según la primera realización.
- 20 La Figura 15 es un gráfico de caudal (en litros / minuto dividido por dos) en función del tiempo (sobre el eje X) en segundos para una medición de caudal que utiliza un oscilador de cristal de cuarzo rodeado por una carcasa según la primera realización (cuadrados) y para los mismos datos pasados a través de un filtro numérico (rombos).
- 25 La Figura 16 es un diagrama de flujo que ilustra la operación de una realización.
- La Figura 17 muestra un gráfico del comportamiento de la frecuencia de diferentes tipos de cristal.
- La Figura 18 es un diagrama esquemático que muestra una unidad de medición alternativa que comprende dos cristales de cuarzo.
- 30 La Figura 19 muestra una disposición alternativa que utiliza una unidad electrónica remota de datos.
- La Figura 1 muestra una vista esquemática de una unidad de cilindro de gas 10 según una realización de la invención.
- 35 La unidad de cilindro de gas 10 comprende un cilindro de gas 100 que tiene un cuerpo de cilindro de gas 102 y una válvula 104. El cuerpo de cilindro de gas 102 comprende un recipiente de forma general cilíndrico que tiene una base plana 102a dispuesta para permitir que el cilindro de gas 100 se mantenga sin soporte sobre una superficie plana.
- 40 El cuerpo de cilindro de gas 102 está formado de acero, aluminio y / o materiales compuestos y está adaptado y dispuesto para soportar presiones internas hasta aproximadamente 900 bar g. Una abertura 106 está ubicada en un extremo proximal del cuerpo de cilindro de gas 102 opuesto a la base 102a y comprende un filete de rosca (no mostrado) adaptado para recibir la válvula 104.
- 45 El cuerpo de cilindro de gas 102 y la válvula 104 definen un recipiente sometido a presión (en esta realización, con la forma del cilindro de gas 100) que tiene un volumen interno V. El volumen interno V es fijo. Mediante esto, se entiende que la estructura del cilindro de gas 100 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 durante el uso, almacenamiento o con dependencia de condiciones del entorno tales como temperatura, presión o humedad. El volumen interno V del cilindro de gas 100 está destinado a incluir el volumen entero en el interior del cuerpo de cilindro de gas 102 y la válvula 104. En otras palabras, el volumen interno V es el volumen interno total en
- 50 el interior de la unidad de cilindro de gas 10 en la cual se mantiene un gas bajo presión.
- 55 Cualquier fluido adecuado puede contenerse en el interior del cilindro de gas 100. Sin embargo, la presente realización se refiere, aunque no está limitada exclusivamente a, gases permanentes purificados que están libres de impurezas tales como polvo y / o humedad. Ejemplos no exhaustivos de gases como tales pueden ser: Oxígeno, Nitrógeno, Argón, Helio, Hidrógeno, Metano, Trifloruro de Nitrógeno, Monóxido de Carbono, Criptón, Neón o mezclas de los mismos (por ejemplo, Argón y Dióxido de Carbono).
- 60 La válvula 104 comprende una carcasa 108, una salida 110, un cuerpo de válvula 112 y un asiento de válvula 114. La carcasa 108 comprende un filete de rosca complementario para su acoplamiento con la abertura 106 del cuerpo de cilindro de gas 102. La salida 110 está adaptada y dispuesta para permitir que el cilindro de gas 100 se conecte a otros componentes de una unidad de gas; por ejemplo, mangueras, tuberías, o válvulas o reguladores de presión adicionales. La válvula 104 puede, opcionalmente, comprender un VIPR (Válvula con Regulador de Presión Integrado).
- 65 El cuerpo de válvula 112 puede ser ajustado axialmente hacia o alejándose del asiento de válvula 114 por medio de la rotación de una manija manipulable 116 de forma selectiva para abrir o cerrar la salida 110. En otras palabras, el

movimiento del cuerpo de válvula 112 hacia o alejándose del asiento de válvula 114 controla de forma selectiva el área del pasaje de comunicación entre el interior del cuerpo de cilindro de gas 102 y la salida 110. Esto, a su vez, controla el caudal de gas desde el interior de la unidad de cilindro de gas 100 hacia el entorno exterior.

5 Un orificio pasante 118 está formado en la carcasa 108 aguas abajo de la salida 110. El orificio pasante 118 está cerrado por medio de un orificio de suministro 120, el cual permite que se suministren a través del mismo componentes (tales como cables) desde la parte externa del cilindro de gas 100 hacia el interior del cilindro de gas 100. El orificio de suministro 120 funciona como un sello de alta presión que mantiene la integridad del cilindro de gas 100.

10 La unidad de cilindro de gas 10 está provista de una unidad de medición 200. La unidad de medición 200 está dispuesta para medir la densidad del gas en el interior del volumen interno V del cilindro de gas 100. La unidad de medición 200 se muestra en la Figura 2 y comprende un oscilador de cristal de cuarzo 202 conectado a un circuito de control 204 y a una batería 206 mediante un cableado adecuado. Puede proporcionarse también un procesador 220 (no mostrado en la Figura 2), ya sea de forma separada o como parte del circuito de control 204. Más tarde se describirá esto.

15 En la realización de la Figura 2, la totalidad de la unidad de medición 200 está ubicada en el interior del volumen interno V del cilindro de gas 100. Por lo tanto, el oscilador de cristal de cuarzo 202, el circuito de control 204 (y el procesador 220, si se proporciona) y la batería 206 están ubicados todos en el interior del volumen interno V del cilindro de gas 100. Los componentes de la unidad de medición 200 están completamente sumergidos en el gas y están bajo presión de gas isostática en el interior del cilindro de gas 100. Consecuentemente, la unidad de medición 200 soporta la presión de gas total en el interior del cilindro de gas 100.

20 Como se muestra en la Figura 2, la unidad de medición 200 puede estar conectada a una antena 230 para la comunicación remota con, por ejemplo, una estación de base. Esto se expondrá más adelante. En este caso, la antena 230 puede estar ubicada afuera del cilindro de gas 100 y conectada a la unidad de medición 200 por medio de un cable o un conector equivalente. El cable podría pasarse a través del orificio de suministro 120 con el fin de efectuar una conexión entre la antena 230 y la unidad de medición 200.

25 La antena 230 en sí puede estar adaptada y dispuesta para utilizar cualquier protocolo de comunicación adecuado; por ejemplo, una lista no exhaustiva puede ser RFID, Bluetooth, Infrarrojos (IR), 802.11 inalámbrico, transmisión de frecuencia modulada (FM) o una red celular.

30 De forma alternativa, puede implementarse una comunicación *one – wire*. La comunicación *one – wire* sólo requiere un conductor metálico unitario para comunicar: el camino de “retorno” del circuito está proporcionado por acoplamiento capacitivo a través del aire entre los dispositivos que se comunican. Las personas expertas se darán cuenta fácilmente de las alternativas de la antena 230 (y el *hardware* de transmisión asociado) que podría utilizarse con las realizaciones expuestas en este documento.

35 Los inventores han encontrado que sólo unos pocos componentes de la unidad de medición 200 son sensibles a la alta presión. En particular, componentes grandes tales como baterías pueden ser susceptibles a las altas presiones. Sin embargo, se ha encontrado que las baterías de iones de litio funcionan particularmente bien bajo las altas presiones encontradas en el interior del cilindro de gas 100. Consecuentemente, la batería 206 comprende celdas de ion litio. Sin embargo, fuentes de potencia adecuadas alternativas podrían ser fácilmente contempladas por las personas expertas.

40 La ubicación de la unidad de medición 200 completa, enteramente en el interior del cilindro de gas 100 proporciona flexibilidad adicional cuando se configuran cilindros de gas 100. En particular, la ubicación de los componentes electrónicos relativamente frágiles enteramente en el interior de las paredes de metal o compuestos resistentes del cilindro de gas 100 proporciona protección considerable contra daños del entorno o accidentales. Esto es particularmente importante, por ejemplo, en áreas de almacenamiento o depósitos, en los cuales los cilindros de gas 100 están ubicados adyacentes a otros cilindros de gas 100, maquinaria pesada o superficies desiguales.

45 Además, la ubicación de los componentes electrónicos de la unidad de medición enteramente en el interior del volumen interno V del cilindro de gas 100 permite que se proporcionen componentes más grandes que, de otra forma, podrían no ser adecuados para su uso sobre la superficie externa de un cilindro 100. Por ejemplo, podría proporcionarse una batería más grande con el fin de aumentar el tiempo de vida en operación de la unidad de medición 200.

50 Adicionalmente, la ubicación interna de la unidad de medición 200 protege a los componentes electrónicos frente a condiciones del entorno tales como sal, agua u otros contaminantes. Esto permitiría, por ejemplo, que se utilice un circuito de alta impedancia, que es altamente sensible al daño por sal y agua, como parte de la unidad de medición 200.

55

Sin embargo, aunque se muestra en la Figura 2 la unidad de medición 200 ubicada en el interior del cilindro, debe entenderse que son adecuadas otras ubicaciones. Por ejemplo, la unidad de medición 200 puede estar montada en la válvula 104 adyacente al orificio de suministro 120, o puede formar una sección separada de la válvula 104. Lo importante es que el oscilador de cristal de cuarzo 202 esté expuesto al gas en el volumen interno V del cilindro de gas 100.

Hay variaciones adicionales en el alcance de la presente invención. Por ejemplo, el oscilador de cristal de cuarzo 202 puede estar ubicado en el interior del volumen interno V del cilindro de gas 100 y el circuito de control 204 puede estar ubicado fuera del cilindro de gas 100. Consecuentemente, por lo menos una parte de la unidad de medición 200 está ubicada en el orificio pasante 118. El oscilador de cristal de cuarzo 202 y el circuito de control 204 están entonces conectados mediante el cableado 208 que pasa a través del orificio de suministro 120 a alta presión.

En una variación adicional, otras partes de la unidad de medición pueden estar ubicadas en el interior del volumen interno V del cilindro de gas 100 y una parte puede estar ubicada externamente al mismo. Por ejemplo, el circuito de control 212 y el procesador 220 pueden estar ubicados en el interior del cilindro de gas 100 mientras que la batería 206 puede estar ubicada fuera del cilindro de gas 100. Esta disposición permite que los componentes más frágiles de la unidad de medición estén protegidos contra daño y contaminantes, mientras que la batería 206 esté fácilmente accesible para su mantenimiento y reemplazo.

Con respecto a la comunicación externa, en una configuración no se requiere explícitamente una antena aérea externa (tal como una antena 230). Por ejemplo, la comunicación puede efectuarse por medio de transmisión acústica desde el interior del cilindro de gas 100. La transmisión acústica puede efectuarse mediante un transmisor ubicado en el interior del cilindro de gas 100. El transmisor puede comprender, por ejemplo, un resonador piezoeléctrico de frecuencia fija simple.

También se requiere un receptor complementario y este componente puede estar ubicado remoto con respecto al cilindro 100, y puede comprender *hardware* tal como, por ejemplo, un detector de tono de bucle de fase bloqueada integrado con un micrófono. Una disposición acústica como tal proporciona la ventaja de que no se requiere un orificio de suministro (como es el caso para la antena 230) y de que todos los componentes electrónicos pueden estar colocados enteramente en el interior del cilindro 100.

De forma alternativa, la unidad de medición 200 puede estar conectada a un dispositivo de visualización (no mostrado) montado sobre el cilindro de gas mismo. Éste puede tomar la forma de una pantalla de visualización digital que se puede operar para visualizar la masa de gas restante en el cilindro 100 o, por ejemplo, la tasa de uso del gas.

En esta configuración, el oscilador de cristal de cuarzo 202 está constantemente bajo presión isostática en el interior del volumen interno V del cilindro de gas 100 y, como consecuencia, 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 de gas 100 y el entorno exterior se encuentra a lo largo del orificio de suministro 120.

Los beneficios de la ubicación interna de la unidad de medición 200 son exclusivos para los dispositivos sensores de estado sólido tales como el oscilador de cristal de cuarzo 202. Por ejemplo, un sensor de presión convencional tal como el manómetro de Bourdon no puede ubicarse de esta manera. Mientras que un sensor basado en 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 poder funcionar. Como consecuencia, un medidor de presión convencional debe estar ubicado entre la presión alta a ser medida y la atmósfera. Esto excluye la ubicación de un medidor de presión convencional enteramente en el interior de un cilindro de gas 100.

Ahora se describirá la unidad de medición 200 con más detalle, con referencia a las Figuras 2 y 3a a 3f. El oscilador de cristal de cuarzo 202 comprende una sección delgada pequeña de cuarzo cortado. El cuarzo exhibe un comportamiento piezoeléctrico, es decir, la aplicación de una tensión a través del cristal hace 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 de cristal de cuarzo 202 están metalizadas con el fin de proporcionar conexiones eléctricas a través de la masa de cristal. Cuando se aplica una tensión a través del cristal por medio de los contactos metálicos, el cristal cambia su forma. Mediante la aplicación de una tensión alternativa al cristal, puede hacerse que el cristal oscile.

El tamaño físico y el espesor del cristal de cuarzo determinan la frecuencia característica o de resonancia del cristal de cuarzo. En efecto, la frecuencia característica o de resonancia del cristal 202 es inversamente proporcional al espesor físico entre las dos superficies metalizadas.

La frecuencia de vibración de resonancia de un cristal de cuarzo variará dependiendo del entorno en el cual está ubicado el cristal. En el vacío, el cristal tendrá una frecuencia particular. Sin embargo, esta frecuencia cambiará en

diferentes entornos. Por ejemplo, en un fluido, la vibración del cristal estará amortiguada por las moléculas circundantes del fluido y esto afectará a la frecuencia de resonancia y a la energía requerida para hacer oscilar el cristal a una amplitud dada.

5 Además, la adsorción de gas o deposición de materiales circundantes sobre el cristal afectará a la masa del cristal que vibra, alterando la frecuencia de resonancia. Esto constituye la base de los analizadores de gas selectivos utilizados comúnmente, en los cuales se forma una capa absorbente sobre el cristal y aumenta en masa a medida que se absorbe gas sobre la capa absorbente. Sin embargo, en el caso presente, no se aplica un recubrimiento al oscilador de cristal de cuarzo 202. Es más, la adsorción o deposición de material sobre el oscilador de cristal de cuarzo 202 es indeseable en el presente caso dado que la exactitud de la medición puede verse afectada.

10 El oscilador de cristal de cuarzo 202 de la presente realización tiene forma de diapasón y comprende un par de puntas 202a (Figura 3a) de aproximadamente 5 mm de longitud dispuestas para oscilar, en esta realización, a una frecuencia de resonancia de 32,768 kHz. Las puntas 202a del diapasón oscilan normalmente en su modo fundamental, en el cual éstas se mueven de forma sincrónica hacia y alejándose una de la otra a la frecuencia de resonancia.

15 De forma adicional, es deseable utilizar cuarzo con un corte AT o un corte SC. En otras palabras, una sección plana de cuarzo es cortada en ángulos seleccionados particulares de forma tal que el coeficiente de temperatura de la frecuencia de oscilación pueda disponerse para que sea parabólico con un amplio pico alrededor de la temperatura ambiente. Por lo tanto, el oscilador de cristal puede estar dispuesto de forma tal que la pendiente en la parte superior del pico sea precisamente cero.

20 Unos cristales como tales están disponibles comúnmente a un coste relativamente bajo. A diferencia de la mayoría de los osciladores de cristal de cuarzo, los cuales se utilizan *in vacuo*, en la presente realización el oscilador de cristal de cuarzo 202 está expuesto al gas bajo presión en el volumen interno V del cilindro de gas 100.

25 La unidad de medición 200 comprende además una carcasa 250. La carcasa 250 es operable para encerrar el oscilador de cristal de cuarzo 202 y, durante el uso, está ubicada en el volumen interno V del cilindro de gas 100. La carcasa 250 es operable para reducir el efecto de las corrientes de convección en el interior del cilindro de gas 100 sobre mediciones hechas por la unidad de medición 200. En la Figura 3a se muestra con más detalle la carcasa 250 de la Figura 2.

30 Con referencia a la Figura 3a, la carcasa 250 comprende, en esta realización, una primera porción de carcasa 252 y una segunda porción de carcasa 254. La primera porción de carcasa 252 tiene una pared lateral 256 sustancialmente cilíndrica, una pared de extremo distal 258 y una pared de extremo proximal 260 adyacente al oscilador de cristal de cuarzo 202 y que sella el extremo proximal de la carcasa 250. Las paredes de la primera porción de carcasa 252 definen una primera cámara 262. La primera cámara 262 encierra sustancialmente el oscilador de cristal de cuarzo 202 y está ubicada adyacente al extremo proximal de la carcasa 250.

35 La primera porción de carcasa 252 puede comprender una carcasa de presión convencional como las disponibles comúnmente para sensores de cristal de cuarzo. Esto puede reducir los costos de fabricación. Sin embargo, pueden utilizarse configuraciones alternativas, de las cuales, algunas variaciones posibles se ilustran en las Figuras 3b a 3f.

40 La segunda porción de carcasa 254 tiene una pared lateral 264 sustancialmente cilíndrica, una pared de extremo distal 266 y una pared de extremo proximal 268. Las paredes de la segunda porción de carcasa 254 definen una segunda cámara 270. En esta realización, la segunda porción de carcasa 254 es cilíndrica con un diámetro de aproximadamente 6 mm y una longitud de aproximadamente 80 mm. Sin embargo, esto no debe tomarse como limitativo y las dimensiones y formas en sección transversal pueden variarse según se requiera.

45 La segunda cámara 270 está ubicada adyacente a la primera cámara 262 y está en comunicación fluida con ésta por medio de un orificio pasante 272 en la pared de extremo distal 258 de la primera porción de carcasa 252. En esta realización, el orificio pasante 272 tiene un diámetro de aproximadamente 0,35 mm. Sin embargo, podrían utilizarse otras formas y dimensiones del orificio pasante según se requiera. De forma adicional, podría proporcionarse una pluralidad de orificios pasantes 272, si se requiere.

50 Un orificio pasante adicional 274 está formado en la pared lateral 264 de la segunda porción de carcasa 254, de forma tal que la segunda cámara 270 está en comunicación fluida con el gas en el volumen interno V del cilindro de gas 100 y de forma externa a la carcasa 250. En esta realización, el orificio pasante adicional 274 tiene un diámetro de 0,22 mm. Sin embargo, se ha encontrado que un tamaño alternativo del orificio pasante 274 de 0,35 mm también produce buenos resultados. La persona experta se dará cuenta fácilmente de las configuraciones, dimensiones y formas del orificio pasante que podrían utilizarse en la presente invención. De forma adicional, podría proporcionarse una pluralidad de orificios pasantes 274.

55 La estructura de la carcasa 250 es tal que las cámaras primera y segunda 262, 270 están en comunicación fluida en serie una con la otra y con el volumen interno V del cilindro de gas 100. En otras palabras, el gas al cual está

expuesto el oscilador de cristal de cuarzo 202 tiene que pasar desde el volumen interno V del cilindro de gas 100, a través de la segunda cámara 270 hacia la primera cámara 262 antes de que éste alcance el oscilador de cristal de cuarzo 202.

5 En la realización mostrada en las Figuras 2 y 3a, las cámaras primera y segunda 262, 270 formadas por la carcasa 250 están formadas como estructuras separadas. Sin embargo, no es necesario que éste sea el caso y puede utilizarse una carcasa 250 común unitaria.

10 Las Figuras 3b a 3f muestran realizaciones alternativas de la carcasa 250 dentro del alcance de la presente invención. Para mayor claridad, se han omitido números de referencia que se refieren a características comunes con la realización de la Figura 3a.

15 La Figura 3b muestra una segunda realización de la carcasa 250. La segunda realización es estructuralmente similar a la primera realización, excepto porque el orificio pasante 274 está formado en la pared de extremo distal 266 de la segunda porción de carcasa 254.

20 La Figura 3c muestra una tercera realización de la carcasa 250. La realización de la Figura 3c es estructuralmente similar a las realizaciones primera y segunda de la carcasa 250, excepto por que la segunda porción de carcasa 254 tiene una longitud mayor. En esta realización, la segunda porción de carcasa 254 tiene una longitud de aproximadamente 230 mm. Mientras que se muestra la Figura 3c con el orificio pasante 274 en un extremo distal, el orificio pasante 274 podría igualmente estar formado en la pared lateral 264 de la segunda porción de carcasa 254.

25 Las realizaciones de las Figuras 3d a 3f muestran diferentes estructuras de la carcasa 250. La cuarta realización de la carcasa 250 mostrada en la Figura 3d difiere de las realizaciones previas en que la carcasa 250 es un miembro unitario y comprende una pared exterior cilíndrica 276, una pared de extremo distal 278 y un sello proximal 280.

30 Las paredes 276, 278, 280 delimitan un interior de la carcasa 250. La carcasa 250 además comprende una pared interna 282 que divide el interior de la carcasa 250 en unas cámaras primera y segunda 284, 286. La primera cámara 284 encierra sustancialmente el oscilador de cristal de cuarzo 202 y está ubicada adyacente al extremo proximal de la carcasa 250.

35 La segunda cámara 286 está ubicada adyacente a la primera cámara 284 y está en comunicación fluida con ésta por medio de un orificio pasante 288 en la pared interna 282. En esta realización, el orificio pasante 288 tiene un diámetro de aproximadamente 0,35 mm. Sin embargo, podrían utilizarse otras formas y dimensiones del orificio pasante, según se requieran. De forma adicional, podría proporcionarse una pluralidad de orificios pasantes 288 si se requiere.

40 Se proporciona un orificio pasante 290 adicional para permitir la comunicación fluida entre la segunda cámara 286 y el volumen interno V del cilindro de gas 100. En común con la primera realización, el orificio pasante 290 está provisto en la pared lateral 276 de la carcasa 250.

45 Una quinta realización de la carcasa 250 se muestra en la Figura 3e. La quinta realización de la carcasa 250 es estructuralmente similar a la cuarta realización; sin embargo, el orificio pasante 290 está provisto en la pared de extremo distal 278 de la carcasa 250 y la carcasa 250 tiene una longitud mayor (en esta realización, de 230 mm) de forma tal que la segunda cámara 286 tiene un volumen interno mayor. Cualquiera de estas variaciones podría aplicarse a la quinta realización.

50 Una sexta realización de la carcasa 250 se muestra en la Figura 3f. La sexta realización de la carcasa 250 es estructuralmente similar a la quinta realización; sin embargo, se proporciona una segunda pared interna 292. La segunda pared interna 292 tiene un orificio pasante 294 formado en la misma y divide el interior de la carcasa 250 en tres cámaras – una primera cámara 284, una segunda cámara 286 y una tercera cámara 296.

55 Las cámaras primera, segunda y tercera 284, 286, 296 están en comunicación fluida en serie una con la otra y con el interior del cilindro de gas 100 externo a la carcasa 250. En otras palabras, el gas al cual está expuesto el oscilador de cristal de cuarzo 202 tiene que pasar secuencial y consecutivamente desde el volumen interno V del cilindro de gas 100, a través de la tercera cámara 296 y la segunda cámara 286 hacia la primera cámara 284 antes de que éste alcance el oscilador de cristal de cuarzo 202.

60 La provisión de una serie de cámaras como se muestra en las realizaciones primera a sexta de la carcasa 250 descritas anteriormente hace posible una amortiguación neumática de las corrientes de convección en el interior del cilindro de gas 100. Como se describió anteriormente, una consecuencia de las diferencias de temperatura en el interior del cilindro 100 es que a menudo tendrá lugar la convección en el cilindro. La convección tiene lugar de forma turbulenta, con modulaciones de densidad y temperatura (tales que $p \sim 1/T$), con casi ningún cambio resultante en la presión.

65

Los inventores entienden que el principio de operación de la carcasa 150 es como se muestra a continuación. La carcasa 250 define un volumen interno de gas que tiende a promediar los cambios en la densidad y la temperatura. En principio, no habrá un flujo a través de los orificios pasantes de la carcasa 250 debido a la ausencia de cambio en la presión. Por lo tanto, el sistema proporcionará una salida estable a una presión estable a medida que la densidad y la temperatura varían justo fuera de ésta. Sólo si cambia la temperatura de la carcasa 250 cambiará la densidad medida. Sin embargo, esto está limitado en la práctica debido a la gran masa térmica del volumen de gas en el interior de la carcasa 250.

Sin embargo, los inventores han encontrado que la carcasa 250 responde de manera diferente con respecto a las fluctuaciones de presión que se ven, por ejemplo, cuando se extrae un caudal desde el cilindro de gas 100. En este caso, los orificios pasantes son suficientemente grandes como para que el correspondiente cambio de presión se comunique casi instantáneamente mediante el flujo de fluido a través de los orificios pasantes.

Se ha encontrado que, con el fin de obtener los beneficios descritos anteriormente, se requiere una carcasa 250 que comprenda por lo menos dos cámaras. Se ha encontrado que una disposición de una cámara única es poco efectiva para proporcionar un aislamiento suficiente contra los cambios en la densidad y temperatura que resultan de las corrientes de convección en el interior del cilindro.

El circuito de control 204 para controlar el oscilador de cristal de cuarzo 202 se muestra en la Figura 4. El circuito de control 204 debe cumplir con una serie de criterios específicos. En primer lugar, el oscilador de cristal de cuarzo 202 de la presente invención puede estar expuesto a un rango de presiones de gas; potencialmente, las presiones pueden variar desde la presión atmosférica (cuando el cilindro de gas 100 está vacío) hasta en torno a 900 bar g si el cilindro contiene un gas sometido a presión tal como el hidrógeno. De este modo, se requiere que el oscilador de cristal de cuarzo 202 opere (y se reinicie después de un período sin uso) bajo un amplio rango de presiones.

Como consecuencia, el factor de calidad (Q) del oscilador de cristal de cuarzo 202 variará considerablemente durante el uso. El factor Q es un parámetro adimensional relacionado con la tasa de amortiguación de un oscilador o resonador. De forma equivalente, éste puede caracterizar el ancho de banda de un resonador con respecto a su frecuencia central.

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

El circuito de control 204 debe ser capaz de accionar el oscilador de cristal de cuarzo 202 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 202 resultará amortiguada de forma creciente, y el factor Q descenderá. El factor Q en descenso requiere que se proporcione una ganancia mayor mediante un amplificador en el circuito de control 204. Sin embargo, si se proporciona una amplificación demasiado alta en el circuito de control 204, la respuesta procedente del oscilador de cristal de cuarzo 202 puede volverse difícil de distinguir. En este caso, el circuito de control 204 puede simplemente oscilar a una frecuencia no relacionada, o a una frecuencia de un modo no fundamental del oscilador de cristal de cuarzo 202.

Como una limitación adicional, el circuito de control 204 debe ser de baja potencia con el fin de funcionar sobre baterías de baja potencia pequeñas durante un largo tiempo con o sin potencia complementaria tal como celdas fotovoltaicas.

Se describirá ahora el circuito de control 204 con referencia a la Figura 4. Con el fin de accionar el oscilador de cristal de cuarzo 202, el circuito de control 204 esencialmente toma una señal de tensión desde el oscilador de cristal de cuarzo 202, la amplifica y envía esa señal de vuelta al oscilador de cristal de cuarzo 202. La frecuencia de resonancia fundamental del oscilador de cristal de cuarzo 202 es, en esencia, una función de la tasa de expansión y contracción del cuarzo. Esto está determinado, en general, por el corte y tamaño del cristal.

Sin embargo, los factores externos también afectan a la frecuencia de resonancia. Cuando la energía de las frecuencias de salida generadas se iguala a las pérdidas en el circuito, una oscilación puede ser sostenida. El circuito de control 204 está dispuesto para detectar y mantener esta frecuencia de oscilación. Entonces, el procesador 220 puede medir la frecuencia, utilizada para calcular las propiedades apropiadas del gas requeridas por el usuario y, si se requiere, generar una salida a un medio de visualización adecuado (como se describirá a continuación).

El circuito de control 204 está alimentado por una fuente de potencia 206 de 6 V. La fuente de potencia 206, en esta realización, comprende una batería de iones de litio. Sin embargo, serán fácilmente evidentes a la persona experta en la técnica las fuentes de potencia alternativas; por ejemplo, otros tipos de batería, ya sean recargables o no recargables y una disposición de células solares.

5 El circuito de control 204 comprende además un amplificador de emisor común de par Darlington 210. Un par Darlington comprende una estructura compuesta que consiste en dos transistores NPN bipolares configurados de forma tal que la corriente amplificada por el primero de los transistores es amplificada además por el segundo transistor. Esta configuración permite que se obtenga una alta ganancia de corriente cuando se compara con cada transmisor tomado de forma separada. De forma alternativa, pueden utilizarse transistores bipolares PNP.

10 El par Darlington 210 está dispuesto en una configuración de retroalimentación desde un amplificador de emisor común de transistor unitario (T_1) 212. Un transistor de unión bipolar NPN se muestra en la Figura 4. Sin embargo, las personas expertas se darán cuenta de las disposiciones alternativas de transistores que pueden utilizarse; por ejemplo, un transistor NPN de unión bipolar o Transistores de Efecto de Campo de Metal – Óxido Semiconductor (MOSFET).

15 El circuito de control 204 comprende un transistor T_2 seguidor emisor NPN adicional que actúa como un *buffer* amplificador 214. El *buffer* amplificador 214 está dispuesto para funcionar como un *buffer* entre el circuito y el entorno exterior.

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

25 Ahora se describirá un circuito de control 240 alternativo con referencia a la Figura 5. El circuito de control 240 puede utilizarse en vez del circuito de control 204 descrito anteriormente. En contraste con el circuito de control 204 descrito anteriormente, el circuito de control 240 incluye un amplificador Transistor de Efecto de Campo de Metal – Óxido Semiconductor (MOSFET) 242 de conducto común en lugar del par Darlington del circuito de la Figura 6. El MOSFET 242 funciona como una entrada de alta impedancia que hace posible que la impedancia de entrada de la etapa amplificadora se iguale a la alta impedancia del oscilador de cristal de cuarzo 202. En otras palabras, el MOSFET 242 proporciona una ganancia unitaria con una alta impedancia de entrada para reducir la carga eléctrica sobre el oscilador de cristal de cuarzo 202.

30 La salida del amplificador MOSFET de conducto común 242 es suministrada a dos amplificadores de emisor común de transistores unitarios (Q_2 , Q_3) sucesivos 244. Unos resistores R_6 y R_8 proporcionan tanto retroalimentación negativa como corriente de polarización para los transistores. Los amplificadores de emisor común 244 proporcionan una alta ganancia para amplificar las oscilaciones del oscilador de cristal de cuarzo 202 y, en esta realización, comprenden transistores de unión bipolar NPN. Sin embargo, la persona experta se dará cuenta de las disposiciones alternativas de transistores que pueden utilizarse; por ejemplo, un transistor PNP de unión bipolar o MOSFETs.

35 Un condensador 246 está conectado entre el oscilador de cristal de cuarzo 202 y tierra. El condensador 246, en esta realización, es operable para aumentar el accionamiento al oscilador de cristal de cuarzo 202.

40 Un resistor 248 está conectado en serie con el oscilador de cristal de cuarzo 202. El resistor 248, en esta realización, tiene un valor de 56 k Ω y amortigua las oscilaciones del oscilador de cristal de cuarzo 202 con el fin de hacer posible que el circuito oscile sobre un amplio rango de presiones con sólo cambios graduales en la forma de onda.

45 El circuito de accionamiento 240 es alimentado por una batería 249 de 3 V. La batería 249, en esta realización, comprende una batería de litio. Sin embargo, serán fácilmente evidentes las fuentes de potencia alternativas a la persona experta en la técnica; por ejemplo, otros tipos de batería tanto recargables como no recargables y disposiciones de celdas solares. De forma alternativa, puede utilizarse una disposición de suministro de la red eléctrica después de una rectificación a corriente continua y una apropiada reducción de tensión.

50 Se describirá ahora un circuito de control 300 alternativo adicional con referencia a la Figura 6. El circuito de control mostrado en la Figura 6 está configurado de forma similar a un oscilador Pierce. Los osciladores Pierce son conocidos de los osciladores de reloj IC digitales. En esencia, el circuito de control 300 comprende un inversor digital unitario (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 202.

55 En esta disposición, el oscilador de cristal de cuarzo 202 funciona como un elemento de filtro altamente selectivo. El resistor R_1 actúa como un resistor de carga para el transistor R. El resistor R_2 actúa como un resistor de retroalimentación, polarizando el inversor T en su región lineal de operación. Esto efectivamente hace posible que el inversor T opere como un amplificador de inversión de alta ganancia. Otro resistor R_s es utilizado entre la salida del inversor T y el oscilador de cristal de cuarzo 202 para limitar la ganancia y para amortiguar las oscilaciones no deseadas en el circuito.

60 El oscilador de cristal de cuarzo 202 en combinación con C_1 y C_2 forma un filtro pasa – banda de red Pi. Esto hace posible un corrimiento de fase de 180 grados y una ganancia de tensión desde la salida a la entrada a

aproximadamente la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo. El circuito de control 300 descrito anteriormente es fiable y barato de fabricar dado que éste comprende relativamente pocos componentes.

5 Como se expuso anteriormente, la unidad de medición 200 puede incluir un procesador 220 que recibe entradas desde el oscilador de cristal de cuarzo 202 y del circuito de control 204. El procesador 220 puede comprender una disposición adecuada, tal como un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) o una matriz de compuerta programable de campo (FPGA). El procesador 220 está programado para calcular, exhibir y comunicar parámetros útiles a los usuarios del cilindro 100.

10 Cuando se utiliza con el oscilador de cristal de cuarzo 202, el procesador 200 puede ser configurado para medir la frecuencia f o periodo de la señal procedente del circuito de control 204. Esto puede lograrse mediante, por ejemplo, el recuento de oscilaciones sobre un tiempo fijado, y la conversión de esa frecuencia en un valor de densidad utilizando un algoritmo o tabla de búsqueda. Este valor se envía al procesador 220 que está configurado para llevar a cabo, basado en las entradas suministradas, un cálculo para determinar la masa del gas en el cilindro de gas 100.

15 Opcionalmente, el procesador 220 puede estar diseñado para producción en masa, para ser idéntico en todos los cilindros, con diferentes características en el *software* y *hardware* admisibles para los diferentes gases.

20 Adicionalmente, el procesador 220 puede estar configurado también para minimizar el consumo de energía a través de la implementación de modos en espera o suspendido que puede cubrir el procesador 220 y componentes adicionales tales como el circuito de control 204 y el oscilador de cristal de cuarzo 202.

25 Pueden implementarse diversos esquemas; por ejemplo, el procesador 220 puede estar en espera durante 10 segundos de cada 11 segundos. Además, el procesador 220 puede controlar el oscilador de cristal de cuarzo 202 y el circuito de control 204 de forma tal que esos componentes se ponen en espera durante la mayor parte del tiempo, sólo estando conectados los componentes menos consumidores de energía durante $\frac{1}{2}$ segundo cada 30 segundos. De forma alternativa o adicional, los componentes de comunicación tales como la antena 230 puede estar desconectados según se requiera o ser utilizados para activar la unidad de medición 200.

30 Ahora se describirá la teoría y operación de la unidad de medición 200 con referencia a las Figuras 7 a 14.

35 El oscilador de cristal de cuarzo 202 tiene una frecuencia de resonancia que es dependiente de la densidad del fluido en el cual éste está ubicado. La exposición de un oscilador de cristal plano de tipo diapasón oscilante a un gas conduce a un cambio y amortiguación de la frecuencia de resonancia del cristal (cuando se compara con la frecuencia de resonancia del cristal en el vacío). Hay una serie de razones para esto. Aunque hay un efecto de amortiguación del gas sobre las oscilaciones del cristal, el gas adyacente a las puntas vibrantes 202a del oscilador de cristal 202 en forma de diapasón aumenta la masa efectiva del oscilador. Esto conduce a una reducción en la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo según el movimiento de una viga elástica fija en un lado:

$$1) \quad f = \frac{f_0}{\sqrt{1 + \frac{\rho}{M_0}}}$$

40 donde f es la frecuencia de oscilación, f_0 es la frecuencia de oscilación en vacío, ρ es la densidad del gas y M_0 es una constante.

45 La densidad ρ será, en la mayoría de los casos, pequeña comparada con M_0 , de forma tal que la fórmula puede aproximarse por la siguiente ecuación lineal:

$$2) \quad f = f_0 \left(1 - \frac{\rho}{2M_0}\right)$$

50 Que puede expresarse nuevamente en términos de la desviación de la frecuencia Δf desde f_0 como se expresa en la ecuación 3):

$$3) \quad \Delta f = \frac{1}{2} \left(\frac{f_0}{M_0}\right) \rho$$

Como consecuencia, para una buena aproximación, el cambio en la frecuencia es proporcional al cambio en la densidad del gas al cual está expuesto el oscilador de cristal de cuarzo. La Figura 7 muestra, para una serie de diferentes mezclas gas / gas, que la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal 202 varía linealmente en función de la densidad.

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

El oscilador de cristal de cuarzo 202 es particularmente adecuado para uso como medidor de densidad para gases suministrados comercialmente. En primer lugar, con el fin de medir de forma precisa la densidad de un gas, es necesario que el gas esté libre de polvo y gotas de líquido, lo cual está garantizado con los gases suministrados comercialmente, pero no con aire o en la generalidad de situaciones de monitorización de presión.

En segundo lugar, debido a que la presión del gas en el interior de un cilindro sólo puede cambiar lentamente durante el uso normal (es decir, a medida que el gas es extraído a través de la salida 110), el hecho de que el oscilador de cristal de cuarzo 202 requiera una pequeña cantidad de tiempo (aproximadamente 1 segundo) para tomar una lectura, no tiene impacto sobre la exactitud de la medición. El período de tiempo de aproximadamente 1 segundo se requiere debido a la necesidad de contar oscilaciones y debido a la necesidad de que el oscilador de cristal de cuarzo 202 alcance el equilibrio a una nueva presión de gas.

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

Como se describió anteriormente, el volumen interno V del gas en el interior del cilindro de gas 100 es fijo. Por lo tanto, una vez que se ha obtenido la densidad ρ del gas en el interior del volumen interno V del cilindro de gas 100 a partir de medición por parte de la unidad de medición 200, puede obtenerse la masa M del gas en el cilindro a partir de la siguiente ecuación:

$$4) \quad M = \rho V$$

La medición directa de la densidad ρ del gas, por lo tanto, hace posible el cálculo de la masa de gas remanente en el cilindro de gas 100.

La medición de la masa de gas de esta forma tiene una serie de ventajas sobre las disposiciones conocidas. Por ejemplo, la masa medida según una realización de la invención está corregida intrínsecamente por la temperatura. Por el contrario, la medición de la presión utilizando, por ejemplo, un manómetro de Bourdon varía proporcionalmente con la temperatura absoluta. Por lo tanto, la presente disposición no requiere una medición de temperatura y / o corrección como es el caso con las disposiciones conocidas.

Además, la masa de gas medida según una realización de la presente invención, está corregida intrínsecamente por la compresibilidad Z. En una disposición convencional, por ejemplo, utilizando un manómetro de Bourdon con el fin de obtener el contenido de gas a partir de la presión, la compresibilidad del gas necesita ser corregida. Esto es particularmente importante a altas presiones, en las que la compresibilidad Z no es proporcional a la presión de gas de la forma esperada para un gas ideal.

La compensación automática para la compresibilidad se ilustra con referencia a las Figuras 8 y 9. La Figura 8 muestra un gráfico de la masa del gas (en kg) sobre el eje Y en función de la presión (bar g) para Argón, Oxígeno y mezcla de Argón – Dióxido de Carbono. Como se muestra en la Figura 8, las masas de los diferentes gases varían con el incremento de la presión. Además, a altas presiones por encima de 250 bar g, ya no hay una relación lineal entre masa y presión.

La Figura 9 muestra un gráfico de la masa del gas (en kg) sobre el eje Y en función de la densidad (en kg/m³) para los mismos tres gases (Argón, Oxígeno y mezcla de Argón – Dióxido de Carbono) que en la Figura 8. En contraste con la Figura 8, puede verse que la masa del gas en función de la densidad es idéntica para cada mezcla gas / gas. Además, la relación es lineal aún a altas densidades. Como consecuencia, el oscilador de cristal de cuarzo 202 puede tener una alta resolución así como ser altamente lineal con la densidad.

Como se destacó anteriormente, la disposición de la presente invención hace posible la medición de la masa con una gran exactitud con una resolución de partes por millón. Asociado a la respuesta lineal del oscilador de cristal de cuarzo 202 a altas densidades y presiones (como se ilustró en las Figuras 8 y 9), la gran exactitud hace posible que se midan con exactitud gases muy ligeros tales como H₂ y He.

En muchas situaciones prácticas, la medición del caudal másico hacia o desde el cilindro de gas 100 es importante. Esto puede ser útil en situaciones en las que la tasa de uso del gas procedente del cilindro de gas 100 se requiere, por ejemplo, para calcular el tiempo restante antes de que se vacíe el cilindro. De forma alternativa o adicional, el caudal másico puede ser monitorizado con el fin de administrar cantidades precisas de gas.

La densidad del gas a presión atmosférica es sólo del orden de 1 g/litro, y las tasa de uso normales de gas son a menudo de varios litros por minuto. Los inventores han encontrado que el oscilador de cristal de cuarzo 202 es suficientemente estable y exacto para hacer posible que el caudal másico del gas que sale del cilindro de gas 100 sea medido a través del cambio de densidad indicado.

$$\frac{\partial M}{\partial t}$$

El caudal másico $\frac{\partial M}{\partial t}$ se calcula a partir de la ecuación 5):

$$5) \quad \frac{\partial M}{\partial t} = V \frac{\Delta \rho}{\Delta t}$$

donde V es el volumen, $\Delta \rho$ es el cambio en la densidad indicada sobre el intervalo de tiempo Δt . En este caso, la operación de la unidad de medición 200 requiere que el circuito de control 204 integre sobre una serie de ciclos de oscilación del oscilador de cristal de cuarzo 202.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

Por lo tanto, no es posible obtener una tasa instantánea de cambio de densidad con el tiempo $\frac{\partial \rho}{\partial t}$. Sin embargo, la tasa de cambio de la densidad con el tiempo es relativamente baja en un cilindro de gas 100 bajo operación normal. Por lo tanto, la medición tomada utilizando la unidad de medición 200 es suficientemente exacta en un uso normal.

Las Figuras 10 y 11 ilustran datos experimentales de detección de caudal másico. La Figura 10 muestra un gráfico de frecuencia (kHz) sobre el eje Y en función del tiempo (en minutos) sobre el eje X para un caudal de 12 litros por minuto en un cilindro de 50 litros a aproximadamente 100 bar de presión indicada. La Figura 11 muestra un gráfico del caudal calculado (en litros por minuto) sobre el eje Y en función del tiempo (en minutos) sobre el eje X para el cilindro de 50 litros a aproximadamente 100 bar de presión.

Estas figuras ilustran que, para la mayoría de los usos normales, puede determinarse el caudal másico de gas procedente de un cilindro 100 a partir de una medición del cambio de densidad con el tiempo. Como consecuencia, el caudal másico puede ser calculado con suficiente exactitud y resolución en el tiempo utilizando el oscilador de cristal de cuarzo 202 y el circuito de control 204.

La Figura 12 ilustra datos experimentales adicionales que muestran la operación de la presente invención. La Figura 12 muestra un gráfico de frecuencia (en kHz) sobre el eje Y en función de la masa total del cilindro (en kg) sobre el eje X. Como puede verse, el gráfico es, en un alto grado de exactitud, aproximadamente lineal. Por lo tanto, la Figura 12 muestra que la masa de gas en el interior del cilindro 100 puede ser medida de forma precisa con el oscilador de cristal de cuarzo 202.

Sin embargo, como se describió anteriormente, cuando se extrae un caudal de un cilindro, la parte superior del cilindro puede hacerse significativamente más fría que el resto de cilindro, estableciéndose fuertes corrientes de convección en el interior del cilindro. La Figura 13 muestra el efecto de la convección sobre la medición del caudal de gas desde un cilindro desde el cual se ha extraído un caudal de gas durante 10 minutos.

En la configuración experimental, se omite la carcasa 250 y se coloca el oscilador de cristal de cuarzo 202 en el interior del cilindro de gas, descubierto y directamente expuesto al gas en el cilindro 100.

Puede verse a partir de la Figura 13 que las corrientes convectivas generan un ruido considerable a la señal de caudal después de que el caudal se para. El eje Y muestra el caudal en litros / min dividido 2, mientras que el eje X es el tiempo, con un punto de dato por segundo. El nivel de ruido debido a la convección significa que pueden detectarse caudales erróneos y que puede recopilarse información poco significativa. En particular, las fluctuaciones

de ruido pueden conducir a mediciones erróneas de caudales que oscilan entre +10 litros/min y -10 litros/min. Esto es claramente inaceptable para uso comercial preciso.

5 La Figura 14 ilustra una medición similar. Sin embargo, en este caso, la disposición experimental comprende la carcasa 250 de la primera realización, que está ubicada alrededor del oscilador de cristal de cuarzo 202 para actuar como un amortiguador neumático. Como se muestra en la Figura 14, los datos exhiben significativamente menos ruido que en las mediciones mostradas en la Figura 13, tanto cuando la válvula está abierta y el gas está circulando (a un caudal de aproximadamente 12 litros / minuto) como cuando la válvula está cerrada.

10 Como se muestra, una carcasa 250 según una realización de la presente invención reduce significativamente el ruido de los datos (y los errores de medición resultantes) debidos a la convección en el interior del cilindro 100.

15 Los inventores han encontrado que esta reducción en el ruido no puede lograrse de forma efectiva utilizando filtrado electrónico solo. Por ejemplo, aunque la aplicación de un filtro RC o un filtro digital exponencial da como resultado un poco de alisamiento de la señal, se ha encontrado experimentalmente que, con el fin de obtener resultados aceptables, se requiere un tiempo constante de aproximadamente 30 segundos. Este tiempo de respuesta largo es inaceptable para la mayoría de las aplicaciones comerciales típicas.

20 Sin embargo, se ha encontrado que la combinación de la carcasa 250 (que reduce significativamente el ruido debido a la convección) y el filtrado electrónico puede proporcionar buenos resultados. Debido a que se reduce significativamente el ruido mediante el uso de la carcasa 250, puede proporcionarse un filtrado electrónico que hace medias sobre un período de tiempo más corto, mejorando la respuesta.

25 Se ha aplicado un modelo exponencial para calcular la media, que utiliza la fórmula de la ecuación 6):

$$6) \quad \frac{\partial f}{\partial t_{Av}} = \left(\frac{\partial f}{\partial t_{previous}} \times \gamma \right) + \left(\frac{\partial f}{\partial t_{current}} \times (1 - \gamma) \right)$$

Donde $\frac{\partial f}{\partial t_{previous}}$ es el valor previamente calculado de $\frac{\partial f}{\partial t_{Av}}$ (el valor medio); $\frac{\partial f}{\partial t_{current}}$ es el valor actualmente

almacenado de $\frac{\partial f}{\partial t}$ y γ es una constante de descenso exponencial (0 a <1).

30 Sin embargo, el filtrado exponencial introduce un retardo en el tiempo a los valores informados. Este retardo puede ser calculado utilizando la ecuación 7):

$$7) \quad t_{delay} = \left(\frac{1}{1 - \gamma} \right) \times \partial t$$

35 Donde ∂t es el período de tiempo ente lecturas.

40 La Figura 15 muestra una medición experimental que muestra el efecto del filtrado con un descenso constante γ de 0,9. Puede verse claramente que el filtro tiene el efecto de alisar aún más el ruido de la señal.

45 La Tabla 1 a continuación muestra un resumen de las mediciones hechas sobre disposiciones de la carcasa según realizaciones de la presente invención. Como se muestra a continuación, el uso de las diversas realizaciones de la carcasa 250 da como resultado una mejora de hasta un orden de magnitud en la reducción del ruido como resultado de las corrientes de convección en el interior del cilindro 100. Además, el filtrado numérico puede además reducir la dispersión del caudal (es decir, la variación medida en el caudal como consecuencia del ruido en la señal de medición). Sin embargo, la media numérica se logra a costa de la respuesta en el tiempo. Por lo tanto, en la práctica se requiere una solución de compromiso.

50

Tabla 1

Tipo de Hardware	Dispersión Total (Hz/s)	Dispersión del Caudal (Hz/s)	Dispersión del Caudal (equivalente) (l/min)	Tiempo de Establecimiento Inicio (seg)	Tiempo de Establecimiento Parada (seg)
Sin carcasa	0,84	0,205	39	23	>200
Carcasa de 80 mm, orificio pasante de 0,35 mm	0,29	0,029	5	89	115
Carcasa de 80 mm, orificio pasante de 0,22 mm	0,30	0,023	4	94	126
Carcasa de 230 mm, orificio pasante de 0,22 mm	0,33	0,078	15	84	105
Carcasa de 80 mm, orificio pasante de 0,22 mm, Filtrado Numérico ($\square=0,9$)	0,26	0,0085	1,6	89	115

5 Ahora se describirá un método de uso de la presente invención con referencia a la Figura 16. El método descrito a continuación es aplicable a cada una de las realizaciones descritas anteriormente.

Etapa 400: Inicializar la medición

10 En la etapa 400, se inicializa la medición de la masa de gas en el cilindro de gas 100. Esto puede activarse mediante, por ejemplo, un usuario que presiona un botón sobre la parte exterior del cilindro de gas 100. De forma alternativa, la medición puede iniciarse por medio de una conexión remota, por ejemplo, una señal transmitida a través de una red inalámbrica y recibida por la unidad de medición 200 a través de la antena 230 (véase la Figura 2).

15 Como una alternativa o adición más, la unidad de medición 200 puede estar configurada para inicializarse de forma remota o sobre un cronómetro. El método continúa hacia la etapa 402.

Etapa 402: Activar el oscilador de cristal de cuarzo

20 Una vez inicializado, el circuito de control 204 es utilizado para activar el oscilador de cristal de cuarzo 202. Durante la inicialización, el circuito de control 204 aplica una tensión AC de ruido aleatorio a través del cristal 202. Por lo menos una parte de esa tensión aleatoria estará a una frecuencia adecuada para hacer que el cristal 202 oscile. El cristal 202 comenzará entonces a oscilar en sincronía con esa señal.

25 A través del efecto piezoeléctrico, el movimiento del oscilador de cristal de cuarzo 202 generará entonces una tensión en la banda de frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo 202. El circuito de control 204 entonces amplificará la señal generada por el oscilador de cristal de cuarzo 202, de forma tal que las señales generadas en la banda de frecuencia del oscilador de cristal de cuarzo 202 dominarán la salida del circuito de control 204. La banda de resonancia estrecha del cristal de cuarzo filtra todas las frecuencias no deseadas y el circuito de control 204 entonces activa el oscilador de cristal de cuarzo 202 a la frecuencia f de resonancia fundamental. Una vez que el oscilador de cristal de cuarzo 202 se ha estabilizado a una frecuencia de resonancia particular, el método continúa hacia la etapa 304.

Etapa 404: Medición de la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo

35 La frecuencia de resonancia f es dependiente de las condiciones en el interior del volumen interno V del cilindro de gas. En la presente realización, el cambio en la frecuencia de resonancia $\square f$ es proporcional en magnitud al cambio en la densidad del gas en el interior del cilindro de gas 100 y disminuirá con el incremento de la densidad.

40 Con el fin de hacer una medición, la frecuencia del oscilador de cristal de cuarzo 202 es medida durante un período de aproximadamente 1 s. Esto es para permitir que la lectura se estabilice y para que se cuenten suficientes oscilaciones con el fin de determinar una medición precisa. La medición de frecuencia es llevada a cabo en el procesador 220. El procesador 220 también puede registrar el tiempo T_1 en que se comenzó la medición.

45 El oscilador de cristal de cuarzo 202 está ubicado en el interior de la carcasa 250 de una de las realizaciones previamente descritas. Por lo tanto, durante el período de medición, la carcasa 250 protege al oscilador de cristal de cuarzo 202 de las variaciones de densidad y temperatura debidas a la convección en el interior del cilindro 100. Esta situación se puede producir cuando, por ejemplo, se ha extraído gas del cilindro 100 durante un período predeterminado y la parte superior del cilindro 100 está fría.

Una vez que se ha medido la frecuencia, el método continúa hacia la etapa 406.

50

Etapa 406: Determinar la masa del gas en el cilindro de gas

Una vez que se ha medido de forma satisfactoria la frecuencia del oscilador de cristal de cuarzo 202 en la etapa 404, el procesador 220 entonces calcula la masa de gas en el cilindro de gas 100.

5 Esto se realiza utilizando la ecuación 5) anterior en la cual la masa del gas puede ser calculada directamente a partir de la densidad determinada en la etapa 404 y del volumen interno V conocido del cilindro de gas 100. El método entonces continúa hacia la etapa 408.

Etapa 408: Almacenar resultados de la medición

10 Una vez que se ha calculado la masa del gas, la masa podría ser grabada simplemente en una memoria interna asociada con el procesador 220 de la unidad de medición 200 para una recuperación posterior. Como todavía otra alternativa, podría almacenarse la masa del gas en el tiempo T_1 en una memoria local de dicho procesador 220.

El método continúa entonces hacia la etapa 410.

15 *Etapa 410: Comunicar resultados*
Como una etapa adicional, puede exhibirse la masa de gas en una serie de formas. Por ejemplo, una pantalla unida al cilindro de gas 100 o a la válvula 104 podría exhibir la masa de gas contenida en el interior del cilindro de gas 100. En la alternativa, podría comunicarse de forma remota la medición de la masa de gas a una estación de base o a un medidor ubicado sobre un accesorio adyacente.

El método entonces continúa hacia la etapa 412.

Etapa 412: Apagar la unidad de medición

25 No es necesario mantener la unidad de medición 200 operativa todo el tiempo. Por el contrario, es beneficioso reducir el consumo de potencia mediante el apagado de la unidad de medición 200 cuando no está en uso. Esto prolonga la vida de la batería 206.

30 La configuración del circuito de control 204 hace posible que se reinicie el oscilador de cristal de cuarzo 202 independientemente de la presión de gas en el cilindro de gas 100. Por lo tanto, la unidad de medición 200 puede ser apagada y reiniciada cuando se requiera con el fin de ahorrar energía de la batería.

35 El método descrito anteriormente está relacionado con una medición única del contenido del cilindro 100. Aunque la carcasa 250 de la presente invención está dispuesta para proteger contra las corrientes convectivas que afectan de forma más prominente a las mediciones del caudal másico, la carcasa 250 también ayudará a la medición del contenido en estado estable (es decir, una medición única). Esto es debido a que un usuario puede requerir una medición en estado estable del contenido verdadero de un cilindro 100 después de que un caudal particular haya sido extraído, de forma tal que pueda determinarse la masa de gas restante.

40 Sin embargo, después de que se ha extraído un caudal, la parte superior del cilindro 100 puede estar más frío que el resto del mismo, creándose corrientes convectivas en el interior. La carcasa 250 permite que se haga la medición precisa del contenido de masa verdadero independientemente de la convección en el interior del cilindro 100. Esto mejora la exactitud y velocidad de las mediciones en estado estable.

45 Se ha descrito anteriormente el método de operación de una realización de la presente invención con referencia a las etapas 400 a 412 anteriores en relación con mediciones en el estado estable. Sin embargo, las siguientes etapas adicionales también pueden llevarse a cabo opcionalmente con el fin de medir el caudal másico procedente del cilindro 100.

50 *Etapas 414 – 418: Realizar determinación adicional de masa*
Puede ser deseable calcular el caudal másico del gas hacia / procedente del cilindro de gas 100. En el tiempo T_2 que es posterior al T_1 , se llevan a cabo las etapas 414, 416 y 418. Las etapas 414, 416 y 418 corresponden a las etapas 404, 406 y 408 respectivamente, llevadas a cabo en el momento T_2 . Los valores resultantes de las etapas 414, 416 y 418 se almacenan en la memoria interna del procesador 220 como una masa del gas en el momento T_2 .

55 El intervalo de tiempo entre T_1 y T_2 puede ser muy corto, del orden de segundos, tal como se ilustra en la Figura 9. De forma alternativa, si el caudal es bajo, o si se desea medir pérdidas en el interior del cilindro de gas 100 debidas 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.

60 El método continúa entonces hacia la etapa 420.

Etapa 420: Aplicar filtrado numérico

65 Esta etapa, como se describió anteriormente, es opcional. El filtrado numérico puede elegirse en situaciones en las que se requiere un caudal muy preciso pero en las cuales el tiempo de respuesta del aparato de medición es menos

crítico. Una situación como tal puede producirse cuando, por ejemplo, debe medirse un caudal bajo sobre un largo período de tiempo.

5 Si se selecciona el filtrado numérico, éste puede llevarse a cabo mediante *hardware* computacional dedicado que forma parte del procesador 220 o, de forma alternativa, puede ser codificado en *software* que se ejecuta sobre el procesador 220.

10 Como se describió anteriormente, el filtrado numérico puede comprender un filtro exponencial que utiliza la medición realizada en la etapa 406 (y almacenada en la etapa 408) junto con la última medición realizada en la etapa 416 (y almacenada en la etapa 418).

El método continúa entonces hacia la etapa 422.
Etapas 422: Calcular el caudal másico

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

20 El método puede llevar a cabo, entonces, las etapas 414 a 420 repetidas para calcular caudales másicos adicionales si se requiere. De forma alternativa, el método puede moverse hacia la etapa 412 y la unidad de medición 200 puede detenerse.

25 Las realizaciones descritas anteriormente 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, pueden utilizarse osciladores de cristal de cuarzo que operan a 60 kHz y a 100 kHz con las realizaciones descritas anteriormente. Se muestra en la Figura 17 un gráfico que indica el cambio de frecuencia con la densidad para diferentes cristales. Como un ejemplo adicional, podría utilizarse un oscilador de cristal que opera a una frecuencia de 1,8 MHz.

30 Una operación a frecuencia más alta hace posible que se monitoree la presión de forma más frecuente gracias al período de tiempo más corto que se requiere para tomar muestras de un número dado de ciclos. De forma adicional, los cristales de frecuencia más alta hacen posible un ciclo de trabajo más corto para utilizarse en un modo suspendido de un cristal. A modo de explicación, en la mayoría de los casos, el cristal y el circuito de control pasarán la mayor parte del tiempo desconectados, sólo siendo conectados durante un segundo más o menos, cuando se necesita una medición. Esto puede ocurrir, por ejemplo, una vez por minuto. Cuando se utiliza un cristal de frecuencia más alta, puede medirse la presión más rápidamente. Por lo tanto, puede reducirse el tiempo en el cual el cristal está operativo. Esto puede reducir el consumo de energía y, de forma concomitante, mejorar la vida de la batería.

40 De forma adicional, se han descrito las realizaciones anteriores mediante la medición de la frecuencia absoluta de un oscilador de cristal de cuarzo. Sin embargo, en dispositivos electrónicos autónomos incorporados en un regulador asociado al cilindro de gas, puede ser ventajoso medir el cambio en la frecuencia del sensor mediante la comparación de esa frecuencia con un cristal de referencia de tipo idéntico pero encerrado en un recipiente al vacío o bajo presión. El recipiente bajo presión puede contener un gas a una densidad seleccionada, gas bajo condiciones atmosféricas o puede estar abierto a la atmósfera externa del cilindro de gas 100.

50 Una unidad de medición 500 adecuada se muestra en la Figura 18. La unidad de medición 500 comprende un primer oscilador de cristal de cuarzo 502 y un segundo oscilador de cristal de cuarzo 504. El primer oscilador de cristal de cuarzo 502 es un cristal de referencia que está ubicado en el interior de un contenedor sellado 506 sometido a vacío. El primer oscilador de cristal de cuarzo 502 es accionado por un circuito de control 508.

55 El segundo oscilador de cristal de cuarzo 504 es un cristal similar al cristal 202 descrito en las realizaciones anteriores. El segundo oscilador de cristal de cuarzo 504 está expuesto al entorno de gas en el interior del volumen interno del cilindro de gas 100. El segundo oscilador de cristal de cuarzo 504 es accionado por un circuito de control 510.

60 Esta comparación puede llevarse a cabo utilizando un circuito mezclador electrónico 512, el cual combina las dos señales de frecuencia y genera una salida a una frecuencia igual a la diferencia entre los dos cristales. Esta disposición permite cambios pequeños debidos a, por ejemplo, temperatura a ser anulada.

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

65 De forma adicional, todos los dispositivos electrónicos requeridos para medir y exhibir la densidad, masa o caudal másico no necesitan estar montados sobre o en el cilindro de gas. Por ejemplo, las funciones electrónicas podrían

estar divididas entre unidades montadas sobre el cilindro de forma permanente y unidades ya sea montadas en una estación de uso del usuario, o montadas de forma temporal sobre la salida del cilindro, como la posición utilizada normalmente para un medidor de caudal convencional.

5 Un ejemplo de esta disposición se muestra con referencia a la Figura 19. La disposición comprende una unidad de cilindro de gas 50 que comprende un cilindro de gas 600 y una unidad de medición 602. La unidad de cilindro de gas 50, el cilindro de gas 600 y la unidad de medición 602 son sustancialmente similares a la unidad de cilindro de gas 10, el cilindro de gas 100 y la unidad de medición 200, como se describieron sustancialmente con referencia a las realizaciones previas.

10 En esta realización, la unidad de medición 602 comprende un oscilador de cristal de cuarzo y un circuito de control (no mostrado) similares al oscilador de cristal de cuarzo 202 y al circuito de control 204 de las realizaciones anteriores. Se proporciona una antena 604 para comunicación mediante cualquier protocolo adecuado de comunicación remota; por ejemplo, Bluetooth, Infrarrojos (IR) o RFID. De forma alternativa puede utilizarse comunicación *one-wire*.

15 Como una alternativa más, pueden utilizarse métodos de comunicación acústica. La ventaja de métodos como tal es que la comunicación remota puede efectuarse sin el requerimiento de una antena externa.

20 Una tubería de conexión 606 está conectada a la salida del cilindro de gas 600. La tubería de conexión está terminada por un conector 608 de conexión rápida. El conector 608 de conexión rápida hace posible que se conecten y desconecten tuberías de conexión, de trabajo o componentes, fácil y rápidamente desde el cilindro de gas 600.

25 Se proporciona una unidad de conexión rápida 650 para su conexión al cilindro de gas 600. Se proporciona un conector 610 de conexión rápida complementario para su conexión al conector 608. Además, la unidad de conexión rápida 650 está provista de una unidad de datos 652. La unidad de datos 652 comprende una pantalla de visualización 654 y una antena 656 para comunicación con la antena 604 de la unidad de cilindro de gas 50. La pantalla de visualización 654 puede comprender, por ejemplo, una pantalla de visualización de tinta electrónica para minimizar el consumo de energía y maximizar la visibilidad de la pantalla de visualización.

30 La unidad de datos 652 puede registrar diversos parámetros a medida que son medidos por la unidad de medición 602 de la unidad de cilindro de gas 50. Por ejemplo, la unidad de datos 652 podría registrar el caudal versus el tiempo. Un registro como tal puede ser útil, por ejemplo, sobre componentes críticos, o para suministrar datos sobre un uso particular de un usuario.

35 De forma adicional, los datos obtenidos del cilindro de gas 600 pueden ser utilizados para presentar datos sobre el agotamiento del tiempo, es decir, el tiempo antes de que se consuma el gas en el cilindro 600. Esto es particularmente crítico en aplicaciones tales como un cilindro de oxígeno en un hospital utilizado en el tránsito de pacientes entre hospitales. Un tiempo como tal (T_{ro}) puede ser calculado a partir del conocimiento del caudal (expuesto anteriormente), el contenido másico del cilindro 600 y el tiempo actual (T_c) mediante la siguiente ecuación 8):

$$8) \quad T_{ro} = T_c + \frac{M}{\frac{\partial M}{\partial t}}$$

45 De forma alternativa, los datos procedentes de la unidad de datos 652 pueden ser enviados hacia una máquina de soldadura equipada con ordenador (para aplicaciones de soldadura) u otros equipos que utilizan gas, para permitir el cálculo de parámetros derivados, al igual que mensajes de advertencia. Ejemplos no exhaustivos de esto pueden ser: gas utilizado por unidad de tiempo de arco, gas utilizado por kg de alambre de soldadura (por ejemplo, con advertencia acerca de la porosidad de la soldadura), el número de globos de tamaño estándar (o para medir y calibrar globos de un tamaño no estándar), el número de horas de soldadura restantes, la visualización de presión (mediante la conversión del valor de densidad medida a presión utilizando los datos conocidos del gas).

50 De forma adicional, la unidad de datos 652 puede estar dispuesta para proporcionar las siguientes funciones: proporcionar una alarma audible o visible si el nivel de gas está por debajo de un cierto nivel o caudal; para proporcionar el tiempo de vida del cilindro (por ejemplo, para mezclas que cambian lentamente) o la fecha de caducidad de un cilindro; para contener y exhibir datos sobre el uso del gas, es decir, qué tipos de soldadura, qué tipos de metal soldados, o dar enlaces de forma tal que teléfonos móviles u ordenadores puedan adquirir datos detallados; para proporcionar operación multimodal, por ejemplo, un modo de suministro / llenado y un modo de usuario; para exhibir diferentes cantidades al usuario a partir de lo que se muestra por parte de la compañía de gas que rellena los cilindros; para permitir la introducción de datos; para proporcionar datos tales como un número de cilindro, el tipo de gas, un certificado de análisis, un historial del usuario (quién tuvo el cilindro sobre qué fechas), datos de seguridad y avisos operacionales que pueden estar en forma resumida en el cilindro.

Como una alternativa, todos los ejemplos anteriores pueden ser, opcionalmente, procesados, almacenados u obtenidos desde un sistema ubicado enteramente en (o en el interior de) el cilindro de gas 600 como se indicó en términos de la unidad de medición 200, 602.

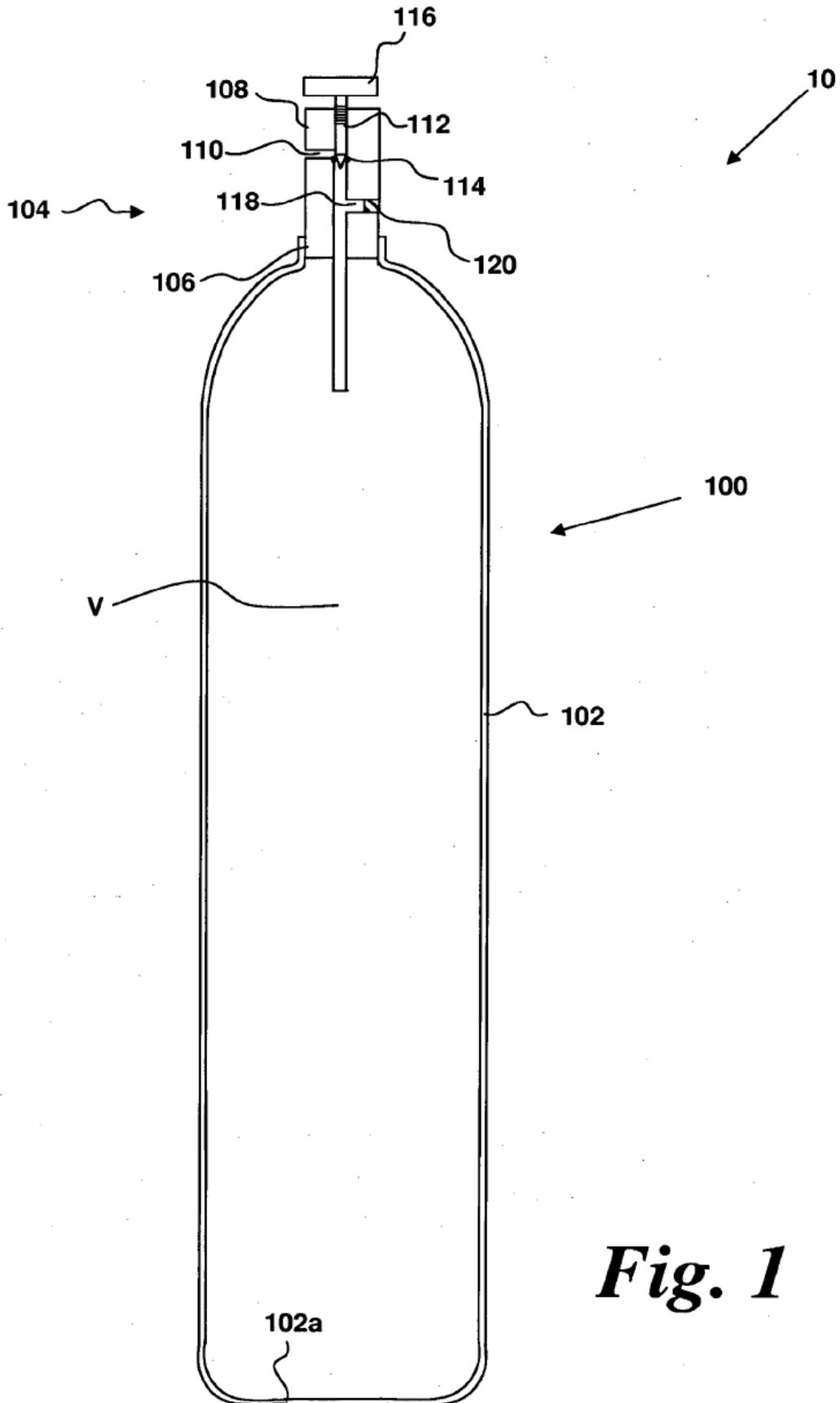
5 De forma adicional, las realizaciones pueden utilizarse también para llevar a cabo una detección de fugas. Un oscilador de cristal de cuarzo es particularmente adecuado para esta tarea debido a la gran sensibilidad de un sensor como tal. De forma adicional, un oscilador de cristal de cuarzo no leerá de forma incorrecta cambios de presión debidos a cambios en la temperatura del cilindro, como es el caso cuando se miden fugas utilizando un medidor de presión. De forma adicional, las realizaciones de la invención pueden utilizarse para detectar fallos, por ejemplo, en la detección de fallos en válvulas con presión residual (por ejemplo, en un cilindro utilizado con presión por debajo de 3 bar g).

10 Si bien las realizaciones anteriores se han descrito con referencia al uso de un oscilador de cristal de cuarzo, la persona experta se dará cuenta fácilmente de los materiales piezoeléctricos alternativos que podrían utilizarse también. 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, cerámicas de titanato de circonio policristalino, cerámicas de alta alúmina, compuestos de óxido de zinc – silicio, o tartrato de dipotasio.

20

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una unidad de medición (200) para la medición de propiedades físicas de un gas bajo presión en el interior de un cilindro de gas (100) que comprende un cuerpo de cilindro de gas (102) y un dispositivo de válvula (104) que definen un volumen interno fijo (V) del cilindro de gas, comprendiendo la unidad de medición (200) una carcasa, un oscilador piezoeléctrico (202) para su inmersión en el gas en el interior del cilindro de gas (100) y un circuito de control operable para controlar el oscilador piezoeléctrico de forma tal que el oscilador piezoeléctrico vibra a una frecuencia de resonancia, estando dispuesta la unidad de medición (200) para determinar la densidad del gas en el interior del cilindro de gas (100) a partir de la frecuencia de resonancia del oscilador piezoeléctrico (202) cuando está sumergido en dicho gas, en la cual, durante el uso, la carcasa (250) está ubicada en el interior del volumen interno fijo (V) del cilindro de gas y comprende una primera cámara y una segunda cámara, estando la primera cámara en comunicación fluida con la segunda cámara y conteniendo sustancialmente a dicho oscilador piezoeléctrico, y estando la segunda cámara en comunicación fluida con el interior del cilindro de gas (100).
- 10 2. Una unidad de medición según la reivindicación 1, en la cual la unidad de medición (200) comprende además un procesador dispuesto para determinar, a partir de la medición de la densidad y a partir del volumen interno (V) de dicho cilindro de gas (100), la masa del gas en el interior del cilindro de gas (100).
- 15 3. Una unidad de medición según la reivindicación 2, en la cual el procesador está dispuesto además para llevar a cabo repetidas mediciones de la masa del gas en el interior del cilindro de gas a intervalos discretos de tiempo, para obtener una pluralidad de mediciones y para determinar, a partir de dicha pluralidad de mediciones, el caudal másico de gas hacia / desde el cilindro de gas durante los intervalos discretos de tiempo.
- 20 4. Una unidad de medición según la reivindicación 3, en la cual el procesador está dispuesto para definir dichos intervalos discretos de tiempo como del orden de segundos.
- 25 5. Una unidad de medición según la reivindicación 3 ó 4, en la cual el procesador está dispuesto para aplicar filtrado numérico a dichas mediciones.
- 30 6. Una unidad de medición según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual la primera cámara tiene una pared que comprende una primera abertura que permite la comunicación fluida entre las cámaras primera y segunda, y la segunda cámara que tiene una pared que comprende una segunda abertura para permitir una comunicación fluida entre la segunda cámara y el volumen interior del cilindro de gas.
- 35 7. Una unidad de medición según la reivindicación 6, en la cual la primera y / o la segunda abertura tiene unas dimensiones de 0,35 mm o menos.
- 40 8. Una unidad de medición según la reivindicación 7, en la cual la primera y / o la segunda abertura tiene unas dimensiones de 0,22 mm o menos.
- 45 9. Una unidad de medición según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual la carcasa es sustancialmente cilíndrica.
- 50 10. Una unidad de medición según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual la carcasa tiene una longitud de 230 mm o menos.
- 55 11. Una unidad de medición según la reivindicación 10, en la cual la carcasa tiene una longitud de 80 mm o menos.
- 60 12. Una unidad de medición según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual dicho oscilador piezoeléctrico comprende un oscilador de cristal de cuarzo.
13. Un cilindro de gas (100) para contener un gas bajo presión, teniendo el cilindro de gas (100):
 un cuerpo del cilindro de gas (102) que define un volumen interno fijo (V);
 un dispositivo de válvula (104) conectado a dicho cuerpo de cilindro de gas (102) y dispuesto para permitir el llenado selectivo del cilindro de gas o la dispensación de gas desde dicho cilindro de gas (100); y
 la unidad de medición (200) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.
14. Un cilindro de gas según la reivindicación 13, en el cual la unidad de medición está ubicada enteramente en el interior del volumen interno fijo del cilindro de gas.



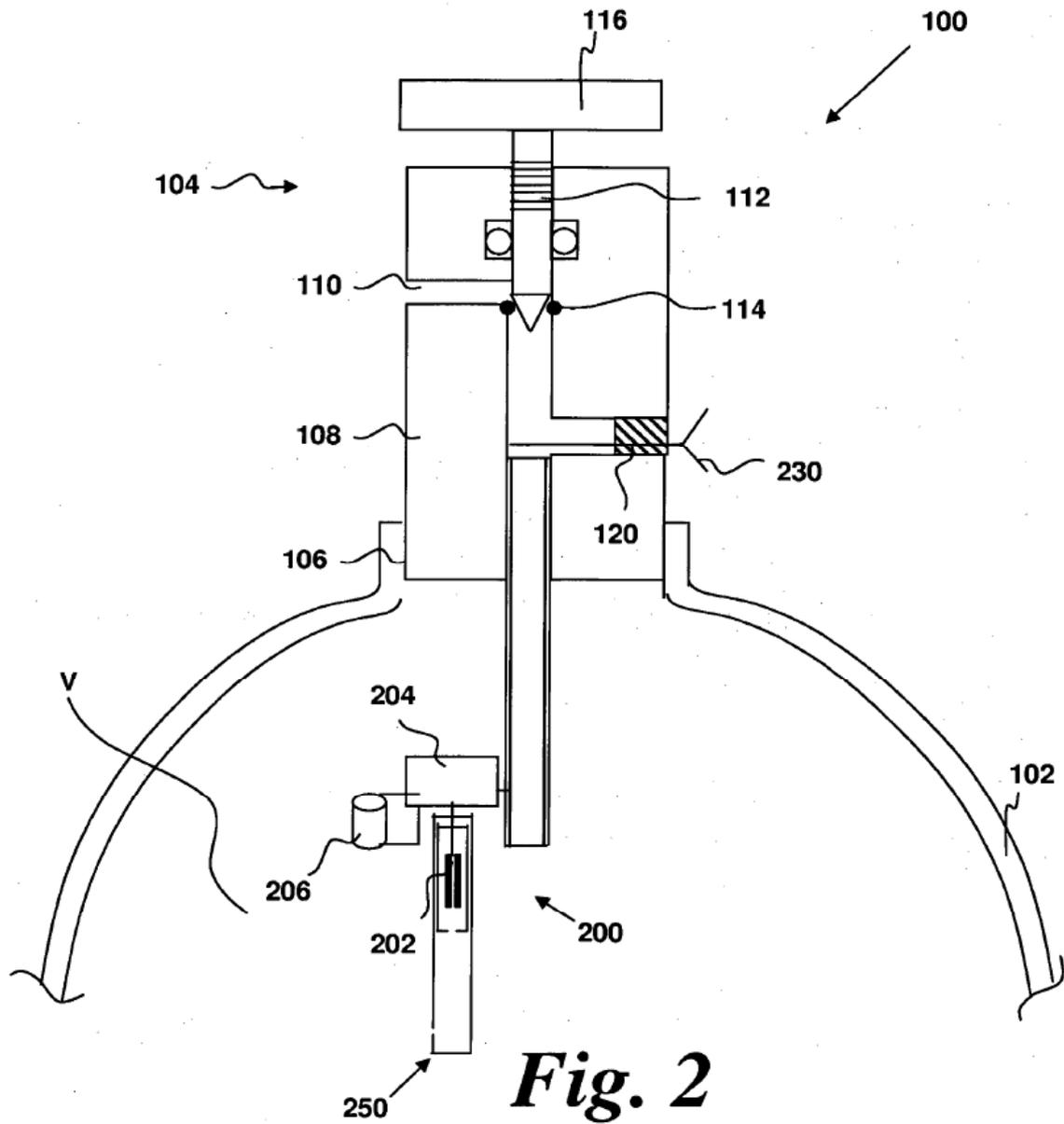


Fig. 2

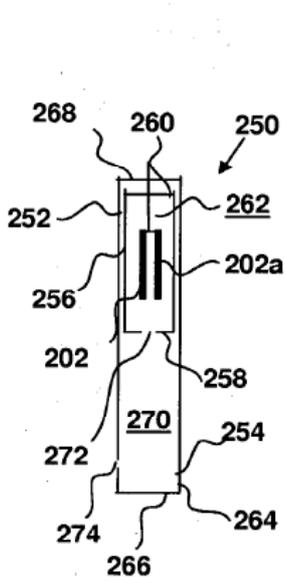


Fig. 3a

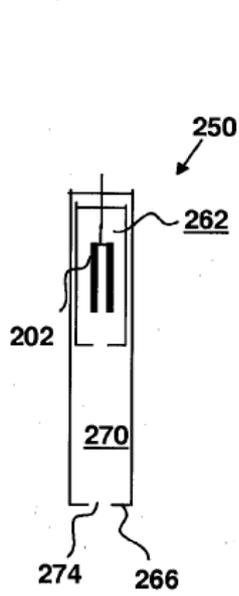


Fig. 3b

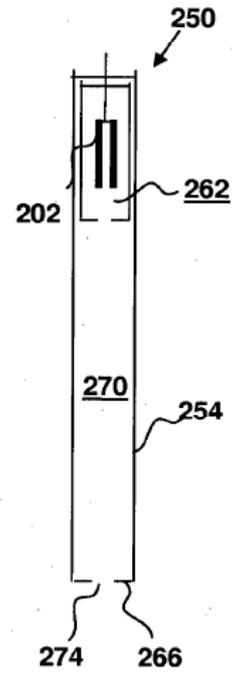


Fig. 3c

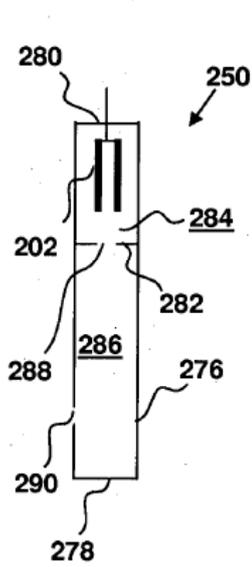


Fig. 3d

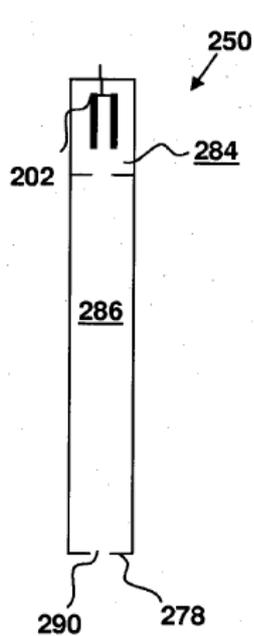


Fig. 3e

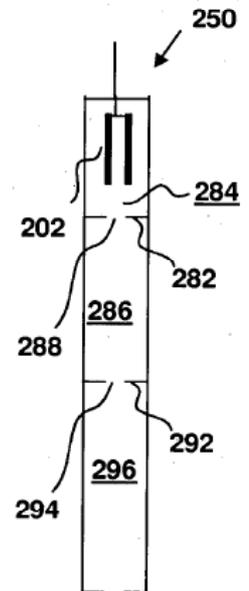


Fig. 3f

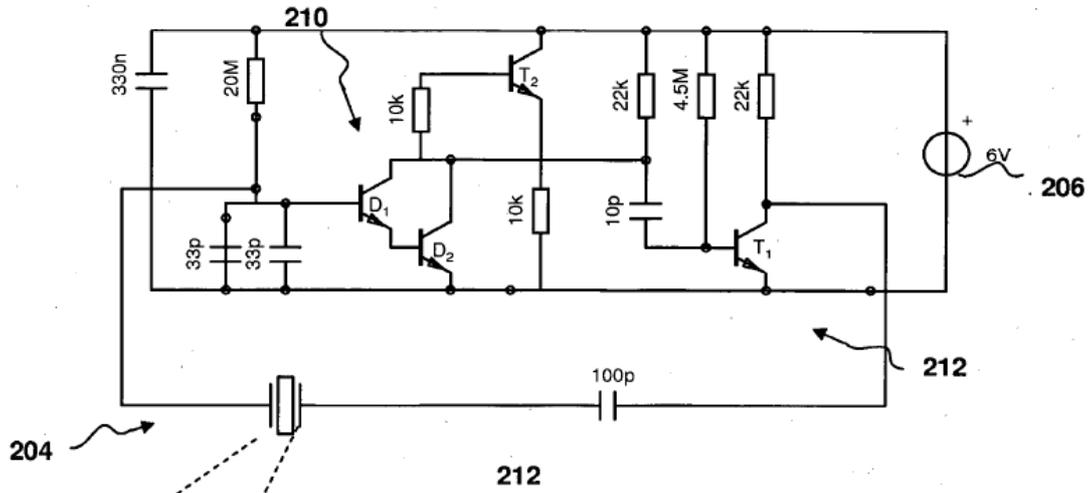
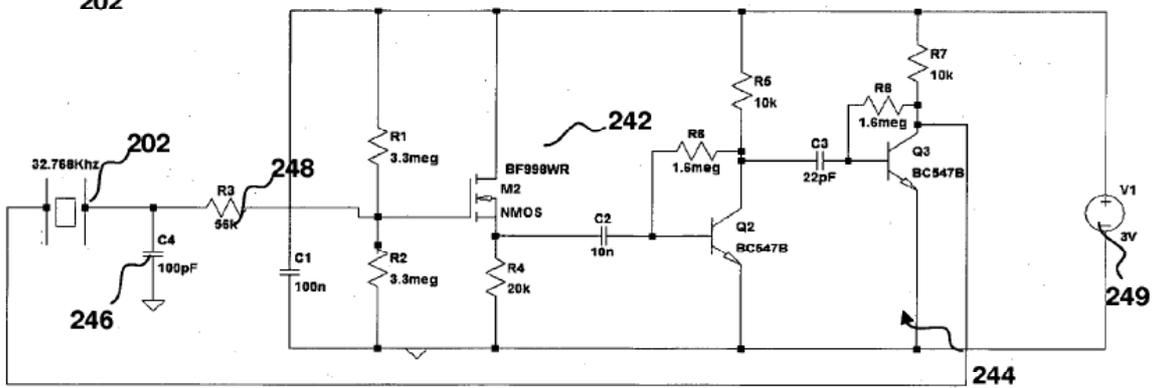


Fig. 4



240

Fig. 5

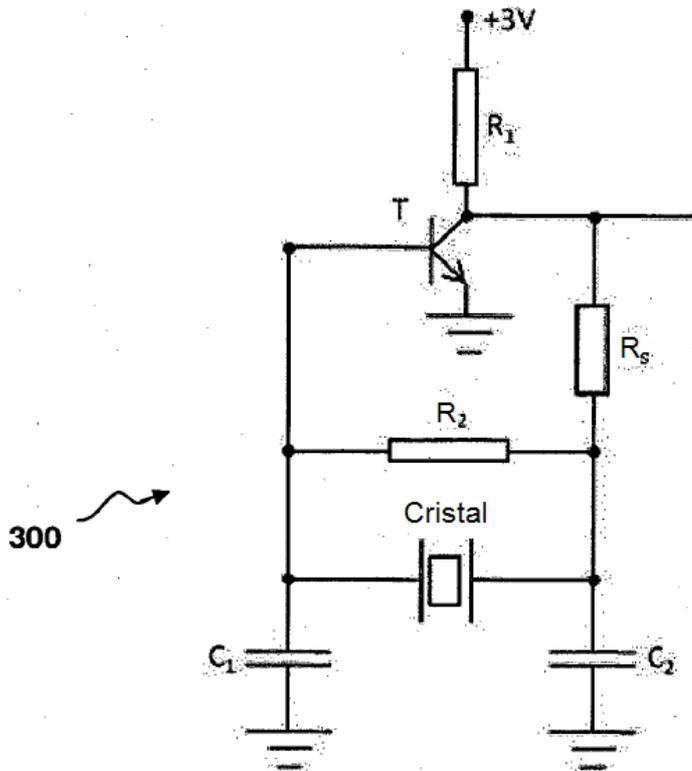


Fig. 6

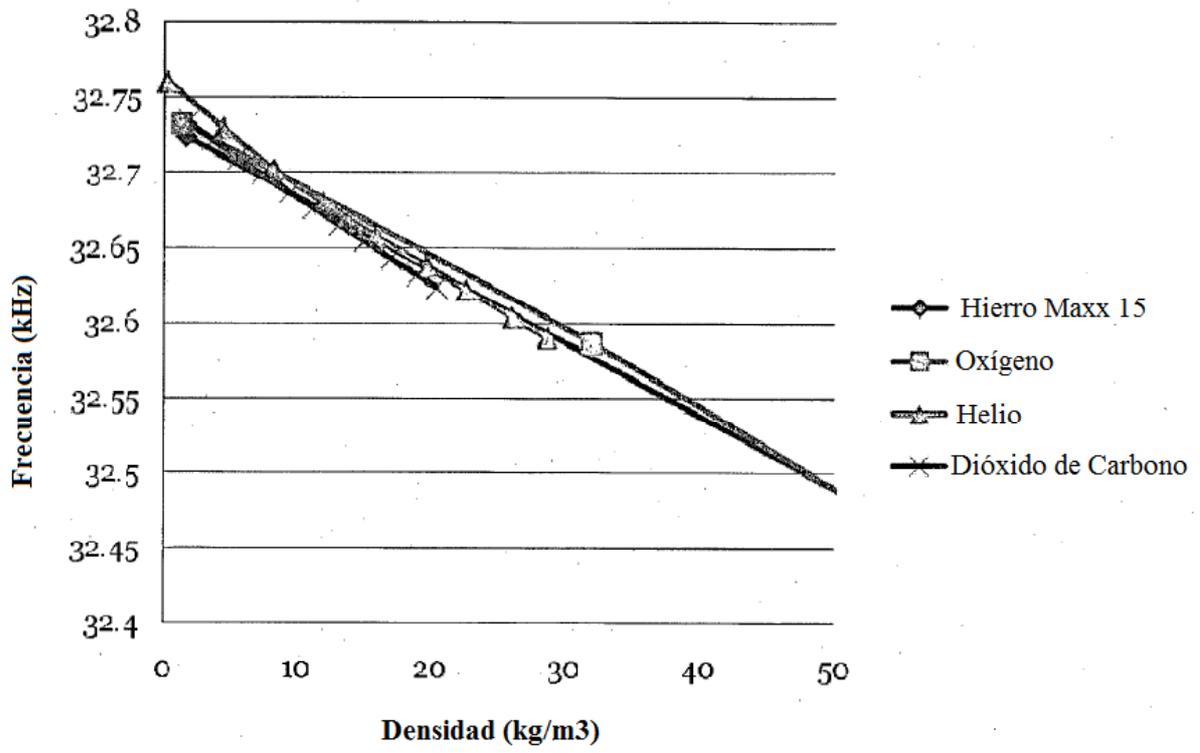


Fig. 7

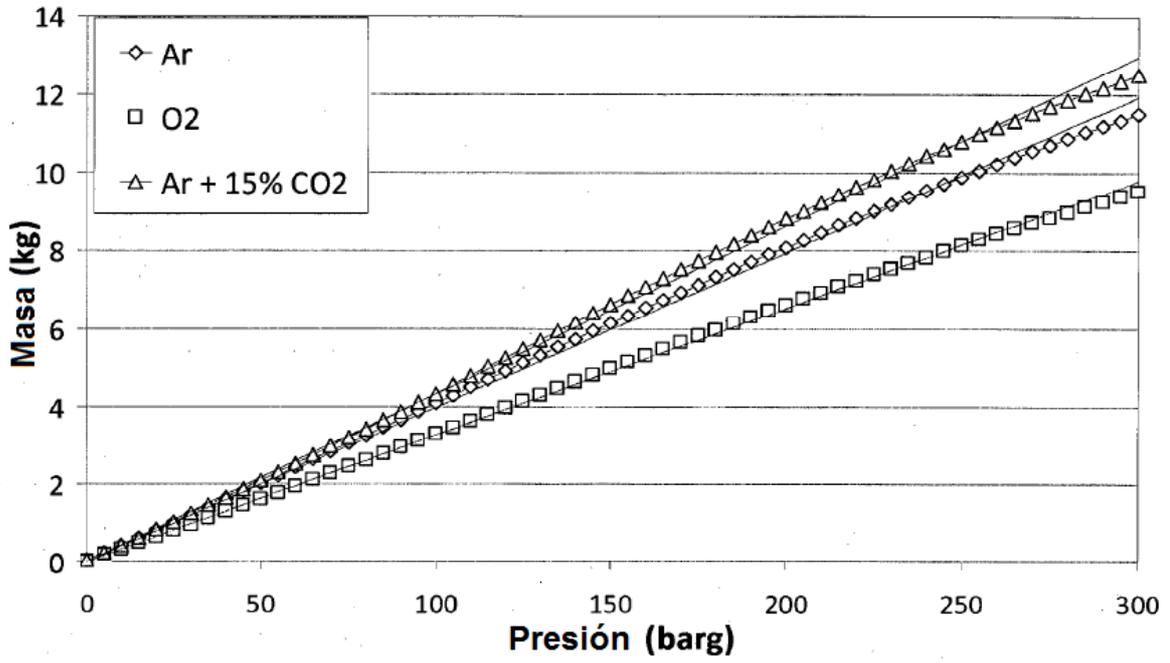


Fig. 8

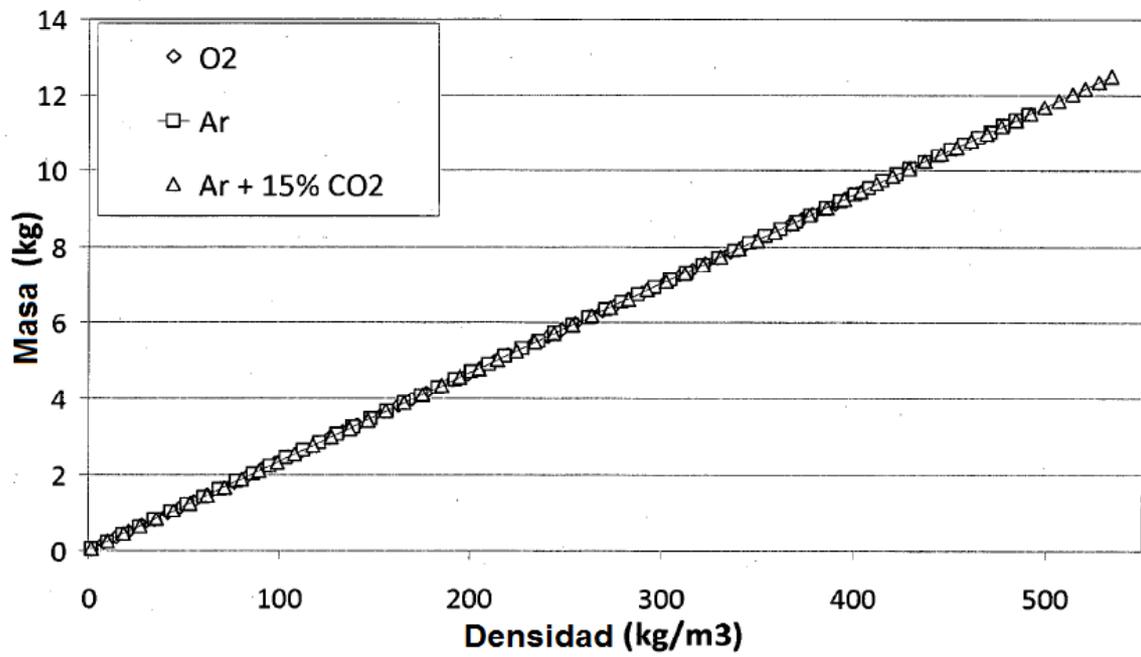


Fig. 9

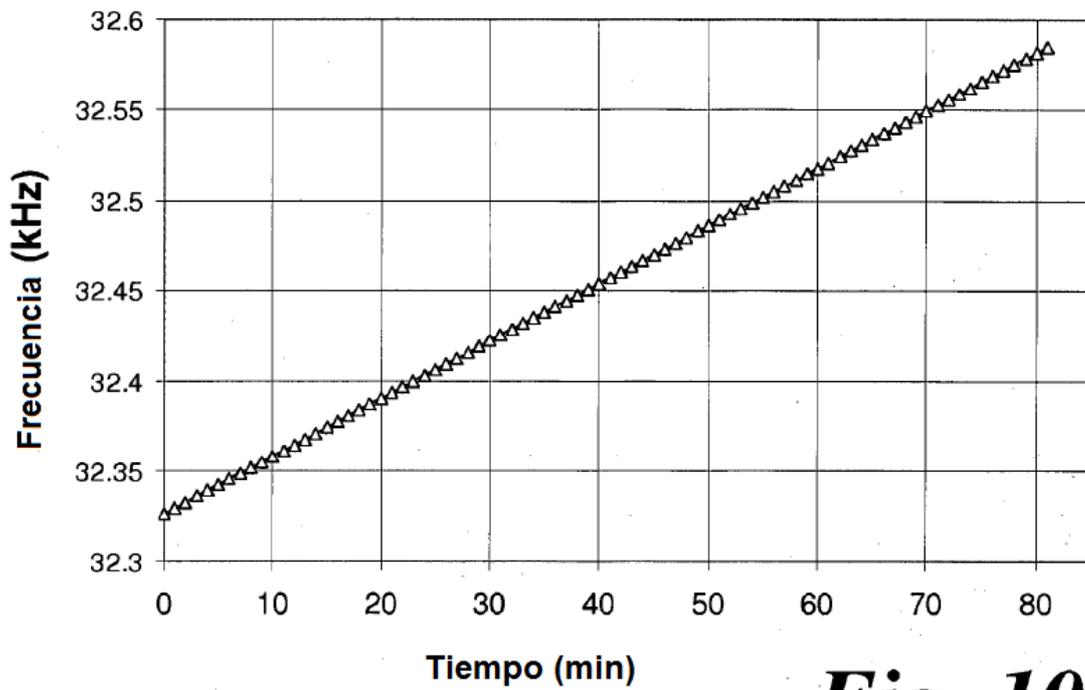


Fig. 10

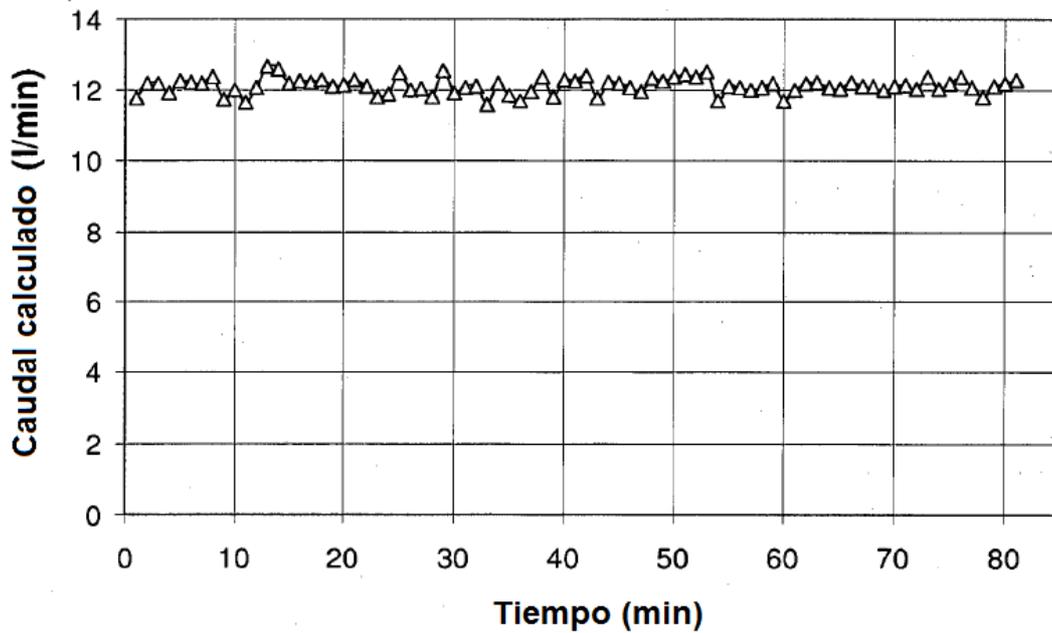


Fig. 11

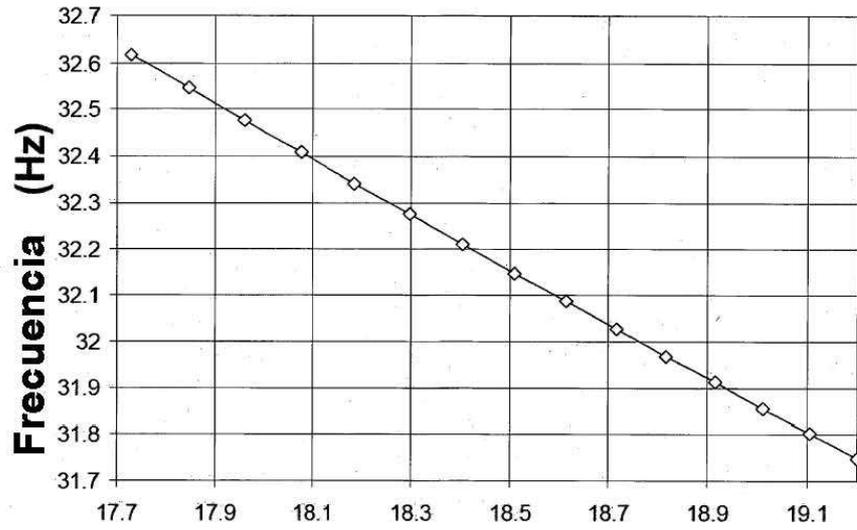


Fig. 12

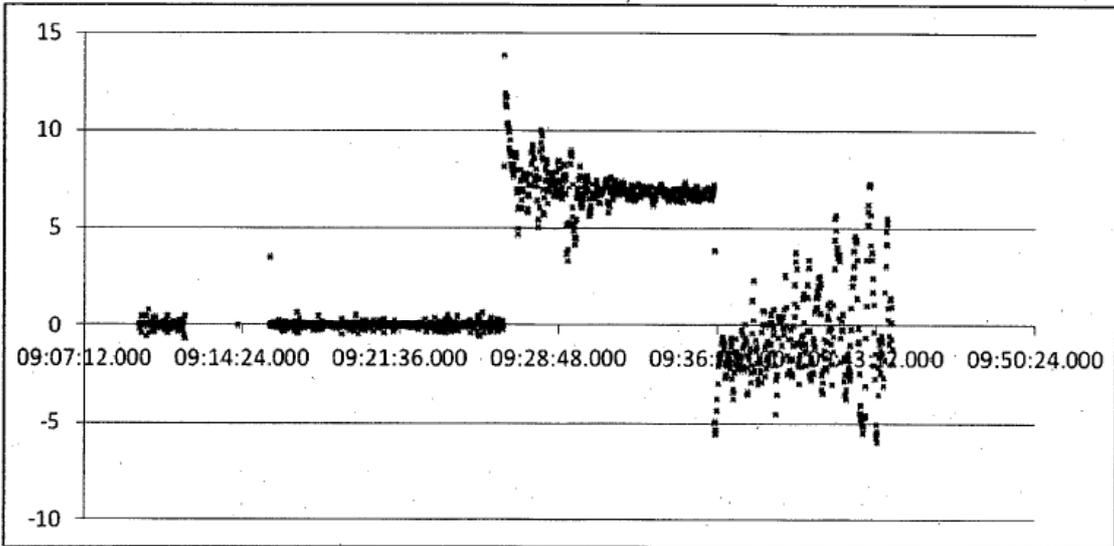


Fig. 13

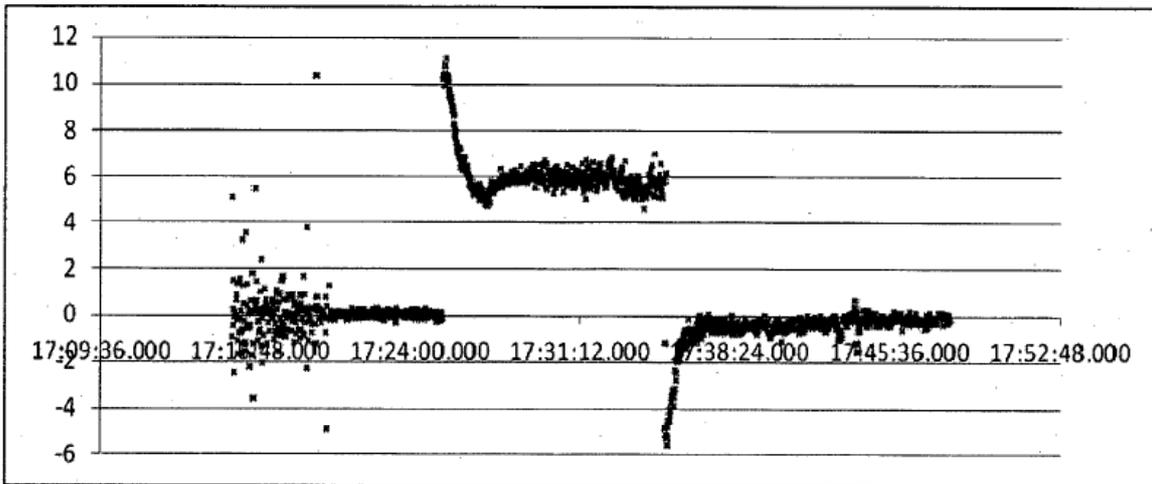


Fig. 14

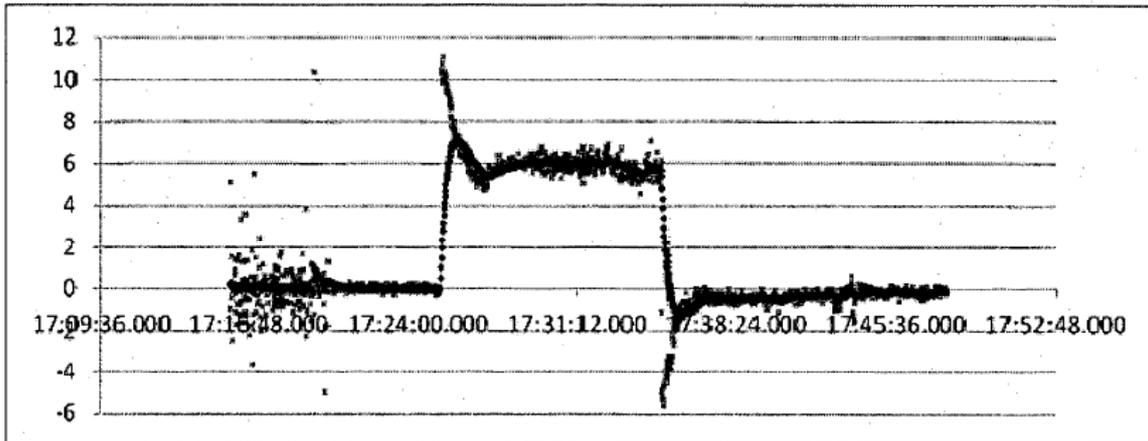


Fig. 15

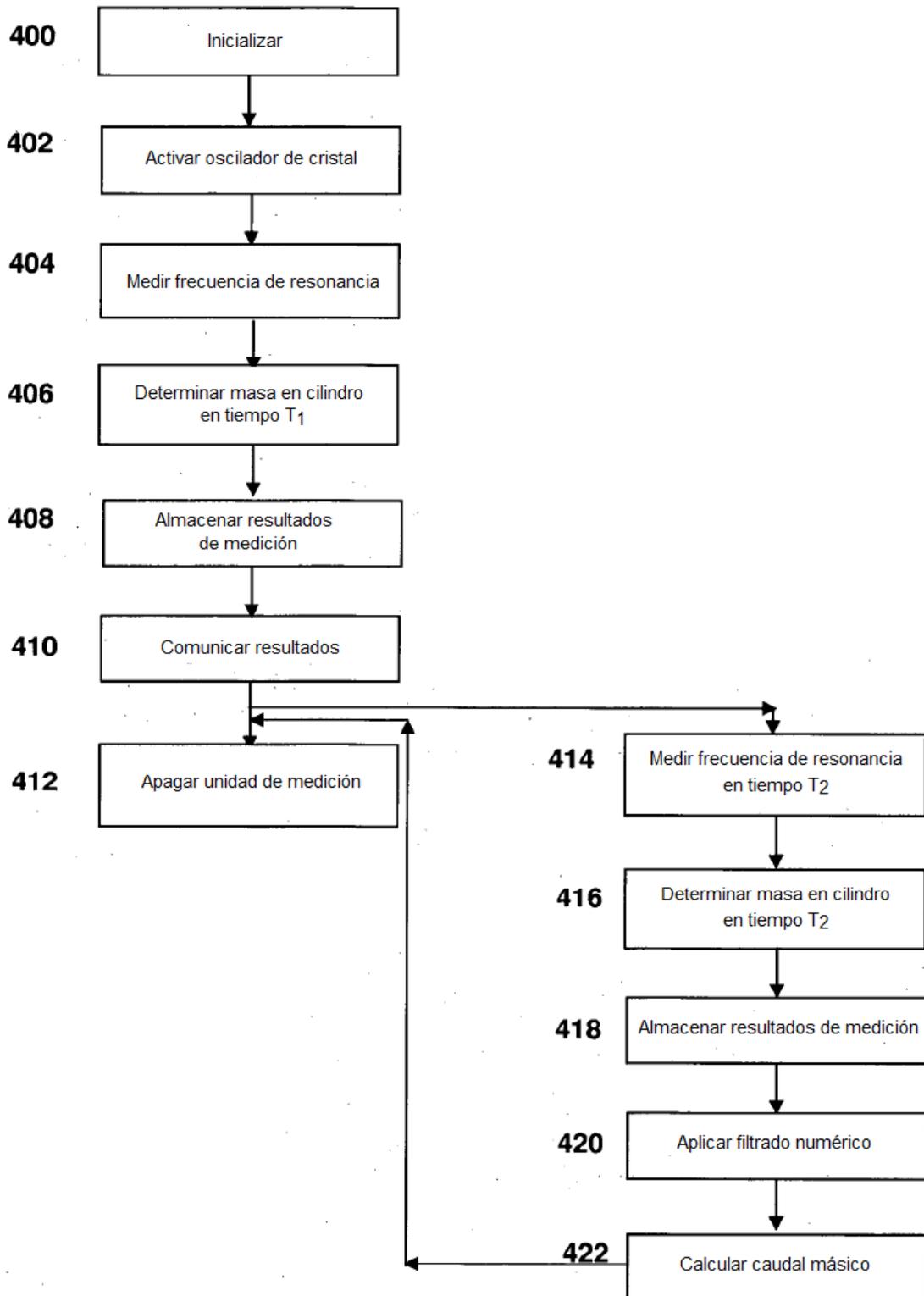


Fig. 16

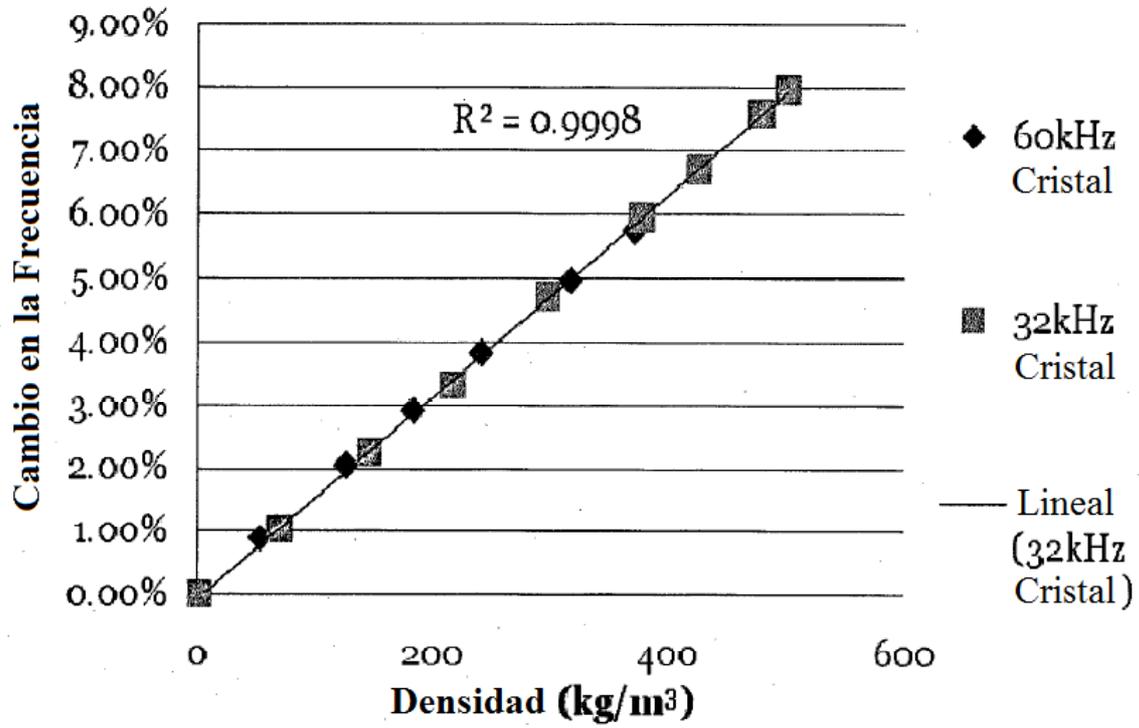


Fig. 17

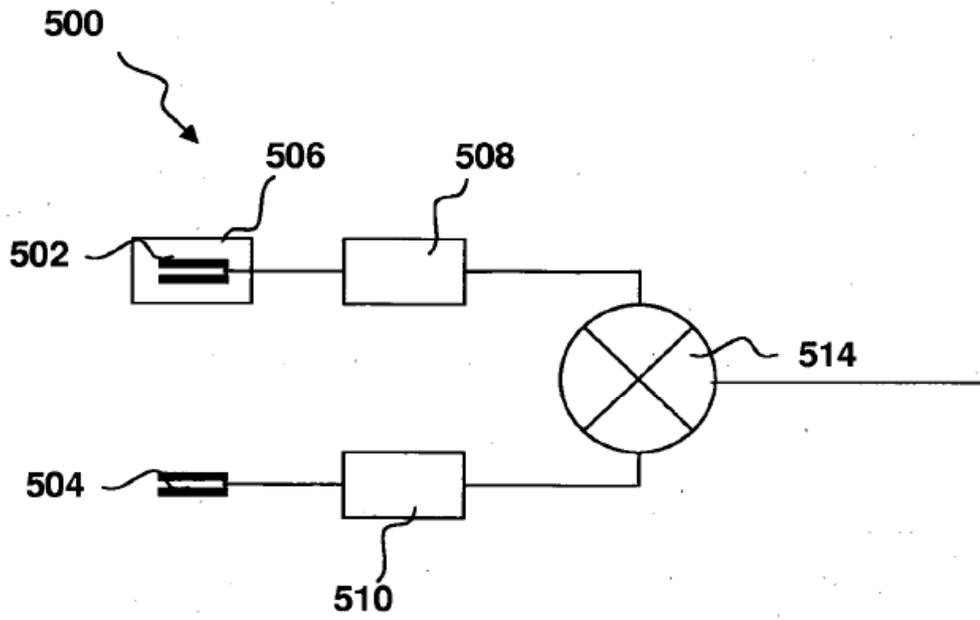


Fig. 18

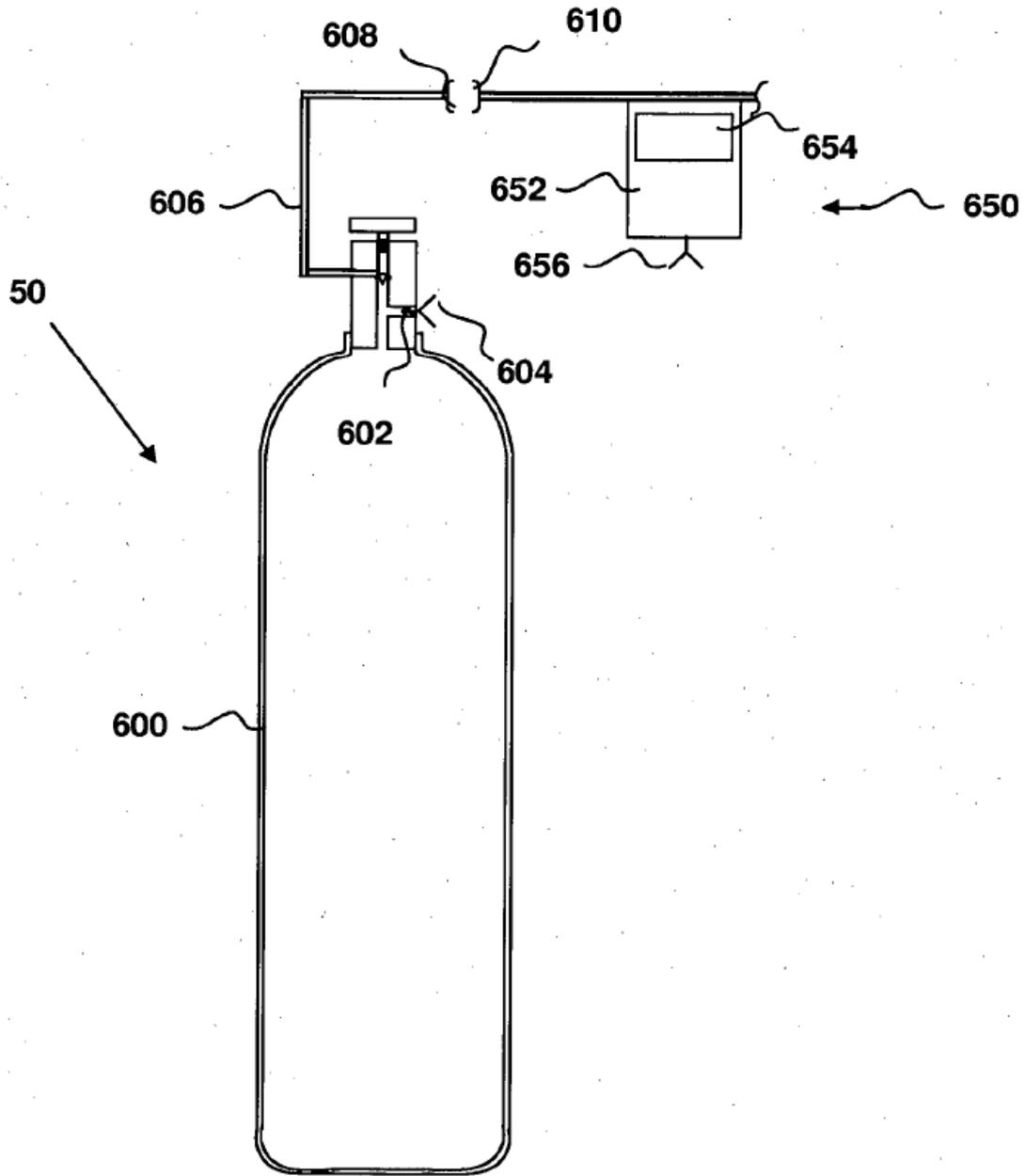


Fig. 19