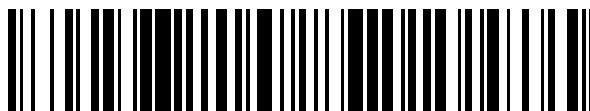


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 888 099**

51 Int. Cl.:

**G01F 1/86** (2006.01)

**G01G 3/16** (2006.01)

**G01G 17/04** (2006.01)

**G01N 9/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.09.2013** **E 13184383 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.08.2021** **EP 2848901**

54 Título: **Procedimiento y aparato para supervisar los recursos disponibles de un cilindro de gas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**30.12.2021**

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

72 Inventor/es:  
**PEMBERTON, GARETH y**  
**BEHRENS, MARCEL**

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

ES 2 888 099 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

Procedimiento y aparato para supervisar los recursos disponibles de un cilindro de gas

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de determinación del uso previsto de gas desde un cilindro de gas y un conjunto de válvula. Más particularmente, la presente invención se refiere a un procedimiento de determinación del uso previsto de gas desde un cilindro de gas usando un oscilador piezoeléctrico sumergido en el gas en el interior del cilindro de gas.

10 Un cilindro de gas comprimido es un recipiente a presión diseñado para contener gases a presiones elevadas, es decir, a presiones significativamente mayores que la presión atmosférica. Los cilindros de gas comprimido se usan en un gran abanico de mercados, desde el mercado industrial general de bajo coste, pasando por el mercado médico, hasta aplicaciones de coste más elevado, tales como la fabricación de productos electrónicos utilizando gases corrosivos, tóxicos o pirofóricos especiales, de alta pureza. Normalmente, los recipientes de gas presurizado comprenden acero, aluminio o materiales compuestos y son capaces de almacenar gases comprimidos, licuados o disueltos con una presión de llenado máxima de hasta 450 barg (donde barg es una medida de la presión (en bares) por encima de la presión atmosférica) para la mayoría de los gases y de hasta 900 barg para gases tales como hidrógeno y helio.

15 La presente invención es aplicable particularmente a gases permanentes. Los gases permanentes son gases que no pueden licuarse solo con presión y, por ejemplo, pueden suministrarse en cilindros a presiones de hasta 450 barg. Ejemplos de estos gases son argón y nitrógeno. Sin embargo, esto no debe considerarse como una limitación y puede considerarse que el término gas abarca una gama más amplia de gases, por ejemplo, tanto un gas permanente como un vapor de un gas licuado. Los vapores de gases licuados están presentes sobre el líquido en un cilindro de gas comprimido. Los gases que se licúan bajo presión cuando se comprimen para introducirlos en un cilindro no son gases permanentes y se describen de manera más precisa como gases licuados bajo presión o como vapores de gases licuados. Como un ejemplo, el óxido nitroso se suministra en un cilindro en forma de líquido, con una presión de vapor de equilibrio de 44 barg a 15°C. Dichos vapores no son gases permanentes o verdaderos, ya que pueden licuarse por presión o por temperatura bajo condiciones ambientales.

25 En muchos casos, es necesario supervisar el contenido de un cilindro o recipiente a presión determinado para determinar la cantidad de gas restante. Esto es particularmente crítico en situaciones tales como las aplicaciones de atención médica.

30 Se conoce el cálculo, según las leyes de los gases, de la variación del contenido 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 bien conocida y hay diversos dispositivos cuya función es medir la presión. El tipo más convencional usa un diafragma elástico equipado con elementos de galga extensométrica. Sin embargo, aunque es uno de los sensores de presión de menor coste fabricado en la actualidad, estos sensores tienden a tener un tamaño relativamente grande y tienen una estructura mecánica que, aunque puede producirse mediante procedimientos fotolitográficos de producción en masa, todavía es relativamente compleja y cara de fabricar. Tienen también un cierto grado de fragilidad y requieren calibración y compensación de temperatura antes de que puedan usarse.

35 En el documento EP 2 458 344 se muestra una disposición conocida que se refiere a la medición del contenido real de un cilindro de gas usando un oscilador de cristal piezoeléctrico dispuesto para medir el contenido de masa de un cilindro de gas. En general, una simple medición del cambio en el contenido másico en el tiempo puede usarse para proporcionar una indicación del tiempo durante el cual un cilindro de gas puede continuar proporcionando un caudal particular.

40 Sin embargo, en general, dicha aproximación no es lo suficientemente precisa para la mayoría de las aplicaciones. Considérese, por ejemplo, el flujo de gas de protección para aplicaciones de soldadura MIG/MAG y TIG. Situaciones similares pueden aplicarse igualmente a otras aplicaciones de gas suministrado por cilindros de gas de alta presión, tales como en MAP de alimentos, sistemas de dispensación de bebidas y aplicaciones médicas.

45 Los gases almacenados a una presión significativamente elevada no siguen las leyes de un gas ideal; en realidad, deben tenerse en cuenta la compresibilidad del gas y los efectos de la temperatura ambiente para determinar el contenido. De esta manera, un cálculo básico del tiempo de uso a partir de la presión y del caudal no proporcionará una respuesta precisa y fiable al usuario.

Además, cuando los gases se mezclan, su compresibilidad y su respuesta a las variaciones de temperatura se alteran a medida que cambia el peso molecular de la mezcla mientras se añaden y se mezclan los componentes.

50 Además, el uso de un cilindro de gas de alta presión requiere un regulador para reducir la presión a un valor cercano a la presión de uso de la aplicación, por ejemplo, justo por encima de la presión atmosférica para una soldadura. El uso de un regulador determina que cada vez que se usa el cilindro, el usuario experimenta un aumento transitorio de gas.

La Figura 1 muestra una disposición convencional para soldadura MIG/MAG. Un conjunto 10 de cilindro de gas está

dispuesto para almacenar gas a alta presión, por ejemplo, de 200 a 300 bares. El conjunto 10 de cilindro de gas tiene un cilindro 12 de gas que comprende un recipiente generalmente cilíndrico que tiene una base plana dispuesta para permitir que el cilindro 12 de gas permanezca de pie sin ayuda sobre una superficie plana.

5 El cilindro 12 de gas está realizado en acero, aluminio y/o materiales compuestos y está adaptado y dispuesto para soportar las considerables presiones internas resultantes del almacenamiento de gas a alta presión.

10 Un regulador 14 primario está situado aguas abajo del cilindro 12 de gas, el regulador 14 primario comprende una válvula de control que emplea un mecanismo de retroalimentación de manera que se mantenga una presión constante en un punto aguas abajo del regulador 14 primario. Una válvula 16 de descarga de seguridad está dispuesta aguas abajo del regulador 14 de presión. El regulador 14 suministra gas a una presión fija al equipo 18 de soldadura MIG/MAG conectado al mismo.

El caudal se controla generalmente restringiendo el flujo de gas, típicamente, mediante válvulas u orificios. El flujo de gas puede dosificarse de manera precisa controlando la presión aguas arriba a través de un tamaño de orificio fijo, donde la presión aguas abajo es sustancialmente menor que la presión aguas arriba.

15 Considérese, por ejemplo, equipos de aplicaciones de soldadura tales como el mostrado en la Figura 1. En dichas disposiciones, la presión a través de las mangueras y las tuberías en la maquinaria de soldadura que conducen al soplete para soldar es significativamente más baja que la presión aguas arriba en un cilindro. Por lo tanto, en dichos casos, un orificio situado cerca de la fuente de presión puede funcionar como la restricción principal, con el caudal determinado por la presión justo aguas arriba del orificio.

20 Sin embargo, si el flujo se detiene en el extremo de la manguera y de la tubería, por ejemplo, mediante una válvula todo/nada de tipo solenoide vinculada al control de arco de soldadura, entonces la presión aumentará en el sistema aguas abajo del orificio hasta que se iguale a la presión aguas arriba. Este aumento en la presión del sistema entre las condiciones de flujo (dinámicas) y estáticas puede causar efectos no deseados.

25 Los problemas anteriores se combinan, durante el uso, para generar un comportamiento de "aumentos transitorios". Un aumento transitorio es un fenómeno que ocurre cuando un gas cambia desde condiciones estáticas a condiciones de flujo, por ejemplo, cuando se abre una válvula de cierre final.

30 Tras la apertura de una válvula, hay un tiempo de transición entre el primer flujo de gas inicial y la consecución de un estado estacionario. Durante este tiempo, la presión en el equipo de la aplicación se reduce desde la presión estática en el almacenamiento (que es igual a la presión aguas arriba) a un nivel muy reducido cercano a la presión atmosférica. Debido a este gradiente de presión, el caudal será más elevado, lo que conducirá a un uso de gas mayor del necesario durante un período de tiempo breve, pero significativo.

35 Además, el ciclo de trabajo de funcionamiento (es decir, el tiempo durante el cual el gas fluye con relación al tiempo durante el cual la alimentación de gas está cerrada) puede afectar también al volumen de aumento transitorio. La consecución de ciclos rápidos de activación/desactivación, por ejemplo, según sea necesario en una aplicación de soldadura por puntos, puede requerir que la proporción de tiempo de inactividad sea similar a la proporción de tiempo de "activación", lo que conduce a considerables problemas de aumentos transitorios.

40 La Figura 2 es un gráfico que ilustra este fenómeno. A partir de esta figura, puede observarse que el caudal nunca se estabiliza en un estado de flujo constante estacionario (tal como cuando una válvula está siempre abierta) antes de que el flujo se detenga en el ciclo de trabajo. Como puede observarse, el aumento transitorio puede causar que se emita brevemente un volumen de gas mayor del necesario. El fenómeno de aumento transitorio puede causar que un dispositivo de medida de tiempo restante basado en una extrapolación simple proporcione una lectura muy superior a la real debido a que no se tiene en cuenta en un cálculo simple basado en el contenido y el flujo.

45 Un aumento transitorio es solo un ejemplo de un comportamiento no lineal de un flujo de gas que puede causar que un cálculo sencillo de tiempo restante sea muy poco preciso. Sin embargo, una gran cantidad de problemas diferentes pueden causar una imprecisión en la medición del tiempo restante del flujo de gas. Para muchas aplicaciones, tales como usos sanitarios, dichos errores pueden ser totalmente inaceptables y potencialmente peligrosos.

En resumen, los cálculos simples para predecir el tiempo de uso restante de un cilindro no pueden usarse para aplicaciones críticas. El tiempo durante el cual se ha usado un cilindro tampoco puede verificar la tasa de uso (caudal) para las inspecciones de calidad.

50 El documento EP 2365297 describe una máquina de refrescos doméstica que comprende un cilindro de gas, una válvula de liberación de gas, un sensor de liberación de gas y un medidor de gas indirecto. El medidor de gas indirecto puede hacerse funcionar para determinar una cantidad de gas liberada desde el cilindro en base a un período de tiempo acumulativo durante el cual la válvula de liberación de gas ha estado abierta en base a los datos desde el sensor de liberación de gas.

Por lo tanto, las disposiciones de medición conocidas adolecen de un problema técnico según el cual no pueden proporcionar una medición precisa del tiempo restante hasta que el contenido de un cilindro de gas se termine o alcance un nivel críticamente bajo.

5 Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento de determinación del uso previsto de gas desde un cilindro de gas tal como se define en la reivindicación 1.

10 Mediante la provisión de dicho procedimiento, el caudal promedio se determina en base a mediciones anteriores, y este se combina con un factor que depende de la cantidad de gas restante en el cilindro de gas. Los inventores de la presente invención han descubierto que el comportamiento de la salida de flujo de gas de un cilindro de gas depende de la proporción de gas restante en el cilindro de gas, es decir, del nivel de llenado del cilindro de gas. Por lo tanto, la proporción de gas restante (que puede expresarse como un porcentaje del nivel de llenado máximo) se usa como un factor para calcular el tiempo restante del cilindro de gas. Dicho procedimiento permite una determinación más precisa del tiempo disponible antes de que la cantidad de gas en el cilindro de gas alcance un nivel predeterminado (por ejemplo, vacío, el 10% o cualquier otro valor adecuado).

15 En una realización, el sensor de gas comprende un oscilador piezoeléctrico sumergido en el gas en el interior del cilindro de gas, y el conjunto sensor comprende un circuito de excitación para excitar el oscilador piezoeléctrico, y la etapa a) comprende: d) excitar, mediante el circuito de excitación, el oscilador piezoeléctrico de manera que el oscilador piezoeléctrico resuene a una frecuencia de resonancia; y e) medir la frecuencia de resonancia del oscilador piezoeléctrico en el tiempo t; y f) determinar, a partir de la frecuencia de resonancia, la masa del gas en el interior del cilindro de gas en el tiempo t.

20 En una realización, cada una de dichas mediciones anteriores del caudal de gas se calcula a partir de la diferencia entre la frecuencia de resonancia del oscilador piezoeléctrico en un primer tiempo y la frecuencia de resonancia del oscilador piezoeléctrico en un segundo tiempo, anterior.

25 En una realización, el procedimiento comprende, además, antes de la etapa a): i) determinar la masa de gas en el cilindro de gas cuando el cilindro de gas está lleno, y en el que la etapa c) comprende, además: j) determinar la proporción de gas restante en el cilindro de gas en el tiempo t a partir de la masa de gas en el cilindro de gas cuando estaba lleno y la masa del gas en el cilindro de gas en el tiempo t.

En una realización, el factor de escala predeterminado se selecciona a partir de una tabla de consulta.

En una realización, el caudal base constante comprende un valor fijo predeterminado. En una realización, el caudal base constante se selecciona de entre múltiples caudales base constantes almacenados en una tabla de consulta.

30 En una realización, el procedimiento comprende además la etapa de: k) actualizar el caudal base constante en base a una medición del caudal real.

En una realización, la actualización en la etapa k) se realiza cada l mediciones del caudal. En una realización, l está comprendido en el intervalo de cinco a quince.

35 En una realización, el nivel predeterminado de la cantidad de gas en el cilindro de gas es sustancialmente cero. En una realización, el nivel predeterminado de la cantidad de gas en el cilindro de gas es aproximadamente el diez por ciento de la cantidad de gas en el cilindro de gas cuando el cilindro de gas está lleno.

Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un conjunto sensor que comprende un procesador y un sensor de gas, estando el conjunto sensor configurado para realizar el procedimiento del primer aspecto.

40 En una realización, el sensor de gas comprende un oscilador piezoeléctrico, comprendiendo el conjunto sensor un circuito de excitación para excitar el oscilador piezoeléctrico a una frecuencia de resonancia.

Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un conjunto sensor que comprende un procesador y un sensor de gas, estando el conjunto sensor configurado para realizar las etapas del primer aspecto.

45 En una realización, el sensor de gas comprende un oscilador piezoeléctrico para su inmersión en el gas en el interior del cilindro de gas y el conjunto sensor incluye además un circuito de excitación para excitar el oscilador piezoeléctrico a una frecuencia de resonancia.

Según una realización de la presente invención, se proporciona un conjunto sensor que comprende un procesador, un oscilador piezoeléctrico para su inmersión en el gas en el interior del cilindro de gas y un circuito de excitación para excitar el oscilador piezoeléctrico a una frecuencia de resonancia, estando el procesador configurado para realizar las etapas del primer aspecto.

50 En una realización, el conjunto sensor comprende además una pantalla dispuesta para su colocación en el conjunto de

cilindro de gas y válvula.

En una realización, el conjunto sensor comprende además medios de comunicación inalámbrica para comunicarse con dispositivos electrónicos externos.

5 Según un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un cilindro de gas y una disposición de válvula que comprende el conjunto sensor del segundo aspecto.

Según un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un producto de programa de ordenador ejecutable por un aparato de procesamiento programable, que comprende una o más partes de software para realizar las etapas del primer aspecto.

10 Según un quinto aspecto de la presente invención, se proporciona un medio de almacenamiento que puede ser usado por un ordenador que tiene almacenado en el mismo un producto de programa de ordenador según el cuarto aspecto.

A continuación, las realizaciones de la presente invención se describirán detalladamente con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un conjunto de cilindro de gas fijado a un sistema de soldadura MIG/MAG;

La Figura 2 es un gráfico que muestra el problema de los aumentos transitorios en un sistema similar al de la Figura 1;

15 La Figura 3 es un diagrama esquemático que muestra una parte superior del conjunto de cilindro de gas y un conjunto sensor y un módulo de datos según una realización de la presente invención;

La Figura 4a es un diagrama esquemático del módulo de datos de la Figura 3;

La Figura 4b es un diagrama esquemático de un circuito de excitación para su uso con el conjunto sensor de la Figura 3;

20 La Figura 5 muestra un gráfico de la frecuencia de un cristal de cuarzo (kHz) en el eje Y como una función de la densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) para una serie de gases diferentes;

La Figura 6 muestra un gráfico de la masa de gas (en kg) en el eje Y como una función de la presión (bar g) en el eje X para argón, oxígeno y una mezcla de argón:dióxido de carbono;

25 La Figura 7 muestra un gráfico de la masa de gas (en kg) en el eje Y como una función de la densidad (en  $\text{kg/m}^3$ ) en el eje X para los mismos tres gases (argón, oxígeno y una mezcla de argón:dióxido de carbono), tal como se muestra en la Figura 6;

La Figura 8 muestra un gráfico de la frecuencia (en kHz) en el eje Y como una función del tiempo (en minutos) en el eje X para un caudal de 12 l/min desde un cilindro de gas de 50 litros a una presión de 100 bar g;

La Figura 9 muestra un gráfico del caudal calculado (en litros por minuto) en el eje Y como una función del tiempo (en minutos) en el eje X para el cilindro de 50 litros a una presión de 100 bar g;

30 La Figura 10 muestra un gráfico de la frecuencia (en kHz) en el eje Y como una función de la masa del cilindro de gas (en kg) en el eje X para un cilindro de gas típico;

La Figura 11a muestra un gráfico de datos ejemplares que ilustra el caudal en litros por minuto como una función del tiempo en minutos usando un caudal inicial de 15 litros/minuto;

35 La Figura 11b muestra un gráfico del contenido del cilindro como una función del tiempo en minutos en base a los caudales ejemplares mostrados en la Figura 11a para una predicción en línea recta, una medición real y una medición predicha usando un procedimiento según la presente invención;

La Figura 11c muestra un gráfico del tiempo restante predicho (en minutos) de un cilindro de gas como una función del tiempo en minutos en base a los caudales ejemplares mostrados en la Figura 11a para una predicción en línea recta, una medición instantánea del caudal y una medición predicha usando un procedimiento según la presente invención;

40 La Figura 12a muestra un gráfico de datos ejemplares que ilustra el caudal en litros por minuto como una función del tiempo en minutos usando un caudal inicial de 18 litros/minuto;

La Figura 12b muestra un gráfico del contenido del cilindro como una función del tiempo en minutos en base a los caudales ejemplares mostrados en la Figura 12a para una predicción en línea recta, una medición real y una medición predicha usando un procedimiento según la presente invención;

45 La Figura 12c muestra un gráfico de tiempo restante predicho (en minutos) de un cilindro de gas como una función del

tiempo en minutos en base a los caudales ejemplares mostrados en la Figura 12a para una predicción en línea recta, una medición instantánea del caudal y una medición predicha usando un procedimiento según la presente invención; y

La Figura 13 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento según una realización descrita.

5 La presente invención proporciona un procedimiento y una disposición de sensor para predecir el tiempo restante de un cilindro de gas. A continuación, se describirá una disposición de cilindro de gas adecuada para su uso con la presente invención.

10 El conjunto 10 de cilindro de gas comprende un cilindro 12 de gas, tal como se describe con relación al ejemplo de la Figura 1. El cilindro 12 de gas tiene un cuerpo 102 realizado en acero, aluminio y/o materiales compuestos y está adaptado y dispuesto para soportar presiones internas de hasta aproximadamente 900 bar g. Una abertura 104 está situada en un extremo proximal del cuerpo 102 del cilindro de gas opuesto a la base y comprende una rosca (no mostrada) adaptada para recibir el conjunto 14 de válvula y regulador.

15 El cuerpo 102 del cilindro de gas y el conjunto 14 de válvula y regulador definen un recipiente a presión (en esta realización, en la forma del cilindro 12 de gas) que tiene un volumen V interior. El volumen V interior es fijo. Esto significa que la estructura del cilindro 12 de gas es tal que puede suponerse que su volumen V interior (y, por consiguiente, el volumen de un gas contenido en el mismo) no varía en un grado significativo durante el uso, el almacenamiento o en función de las condiciones ambientales, tales como temperatura, la presión o la humedad. El volumen V interior del cilindro 12 de gas está destinado a incluir el volumen total en el interior del cuerpo 102 del cilindro de gas y el conjunto 14 de válvula y regulador. En otras palabras, el volumen V interior es el volumen interior total dentro del conjunto 10 de cilindro de gas, donde el gas se mantiene bajo presión.

20 Cualquier fluido adecuado puede estar contenido en el interior del conjunto 10 de cilindro de gas. Sin embargo, la presente realización se refiere, pero no está limitada exclusivamente a, gases permanentes purificados que están libres de impurezas, tales como polvo y/o humedad. Los ejemplos no exhaustivos de dichos gases pueden ser: oxígeno, nitrógeno, argón, helio, hidrógeno, metano, trifluoruro de nitrógeno, monóxido de carbono, criptón o neón.

25 El conjunto 14 de válvula y regulador comprende una carcasa 106 que incluye un regulador de presión integrado y un puerto de llenado para permitir el llenado de un cilindro de gas. Los ejemplos no exhaustivos de reguladores adecuados pueden ser reguladores de diafragma simple o doble. Sin embargo, la persona experta conocerá fácilmente las variaciones que podrían usarse con la presente invención.

30 El conjunto 14 de válvula y regulador puede hacerse funcionar para recibir gas desde el interior del cilindro 12 de gas a la presión máxima del cilindro (por ejemplo, 100 bar), pero para suministrar gas a una presión baja fija, sustancialmente constante (por ejemplo, 5 bar) a la salida. Esto se consigue mediante un mecanismo de retroalimentación de manera que una válvula de asiento, que puede hacerse funcionar para acercar la misma al asiento de válvula o alejarla del mismo, esté conectada a un diafragma. La presión del gas aguas abajo de la válvula puede usarse para actuar sobre el diafragma en oposición a la fuerza de empuje de un muelle.

35 Hay provisto un mango 108 que puede agarrarse con la mano para permitir que un usuario ajuste la fuerza de empuje del muelle, moviendo de esta manera la posición del diafragma y, como resultado, ajustando el espacio de equilibrio entre la válvula de asiento y el asiento de la válvula. Esto permite el ajuste de las dimensiones de la abertura a través de la cual puede pasar el flujo de gas a alta presión desde la salida y, de esta manera, permite establecer la presión de salida.

40 Un orificio 110 pasante está formado en la carcasa 108. El orificio 110 pasante se cierra por medio de un conducto 112 de suministro que permite el suministro de componentes (tales como cables) desde el exterior del cilindro 12 de gas al interior del cilindro 12 de gas. El conducto 112 de suministro funciona como un sello de alta presión que mantiene la integridad del cilindro 12 de gas.

45 Hay provisto un cuerpo 114 de protección. El cuerpo 114 de protección comprende una estructura con forma de concha conectada al conjunto 14 de válvula y regulador. El cuerpo 114 de protección está dispuesto para rodear el conjunto 14 de válvula y regulador durante el uso. El cuerpo 114 de protección es sustancialmente elíptico y tiene una sección transversal circular. Pueden preverse uno o más puertos de acceso en el interior de la estructura del cuerpo 114 de protección. Estos puertos de acceso pueden incluir elementos tales como una pantalla (descrita más adelante), o proporcionar acceso a la salida, al puerto de llenado o al mango 106 que puede agarrarse con la mano para permitir el funcionamiento y la selección de modos o presiones de dispensación de gas.

50 El cuerpo 114 de protección está dispuesto para rodear el conjunto 14 de válvula y regulador, y proporciona protección tanto estructural como ambiental para el conjunto 14 de válvula y regulador y los componentes relacionados. En otras palabras, el cuerpo 114 de protección forma una carcasa o cubierta para el conjunto 14 de válvula y regulador. Por consiguiente, el cuerpo 114 de protección forma un recinto y un entorno para el conjunto 14 de válvula y regulador.

Además, el cuerpo 114 de protección mejora el aspecto estético del conjunto 10 de cilindro y permite contener más

artículos en su interior; por ejemplo, una pantalla electrónica o componentes electrónicos o componentes adicionales necesarios para el funcionamiento del conjunto de cilindro de gas, tal como se describirá más adelante.

5 El cuerpo 114 de protección puede estar realizado en cualquier material adecuado. Sin embargo, el material plástico moldeado mediante inyección es la elección de material preferida debido a la facilidad de fabricación y al abanico de libertad de diseño. Pueden usarse materiales plásticos, tales como ABS o policarbonato, en ejemplos no limitativos y no exhaustivos.

10 El conjunto 10 de cilindro de gas está provisto de un conjunto 200 sensor. El conjunto 200 sensor está dispuesto para medir la densidad del gas dentro del volumen V interior del cilindro 12 de gas. El conjunto 200 sensor se muestra más detalladamente en las Figuras 3 y 4 y, en una parte, comprende un sensor de gas en la forma de un oscilador 202 de cristal de cuarzo conectado a un circuito 204 de excitación y una batería 206.

Tal como se muestra en la Figura 3, el conjunto 200 sensor está situado en un extremo distal de un tubo 116 de alimentación fijado al conjunto 14 de válvula y regulador. El tubo 116 de alimentación está dispuesto para alimentar gas a/desde el interior del cilindro 12 de gas a través del conjunto 14 de válvula y regulador, y se extiende desde el conjunto 14 de válvula y regulador al interior del cuerpo 102 del cilindro de gas.

15 Por lo tanto, el conjunto 200 sensor puede estar conectado físicamente al conjunto 14 de válvula y regulador para facilitar la instalación, pero, durante el uso, los elementos sensores de gas están situados en el interior del cuerpo 102 del cilindro de gas. Esto proporciona condiciones de medición óptimas y reduce los efectos de la convección y/o de la interferencia térmica sobre las mediciones realizadas por el conjunto 200 sensor.

20 En esta disposición, el oscilador 202 de cristal de cuarzo está constantemente bajo presión isostática dentro del volumen V interior del cilindro 12 de gas y, por consiguiente, no experimenta un gradiente de presión. En otras palabras, cualquier esfuerzo mecánico debido a la diferencia de presión entre el volumen V interior del cilindro 12 de gas y el entorno exterior se expresa a través del conducto 112 de suministro.

25 Además, la ubicación de partes del conjunto 200 sensor completamente en el interior del cuerpo 102 del cilindro de gas proporciona una flexibilidad adicional para la configuración de los cilindros 12 de gas. En particular, la ubicación de los componentes relativamente frágiles completamente en el interior de paredes metálicas o de materiales compuestos, fuertes, del cilindro 12 de gas proporciona una protección considerable contra daños ambientales o accidentales. Esto es particularmente importante, por ejemplo, en zonas de almacenamiento o depósitos, donde los cilindros 12 de gas están situados adyacentes a otros cilindros 12 de gas, maquinaria pesada o superficies rugosas.

30 Además, la ubicación de los componentes electrónicos del conjunto 200 sensor dentro del volumen V interior del cilindro 12 de gas permite la provisión de componentes más grandes, que si no podrían no ser adecuados para su uso en la superficie exterior de un cilindro 12. Por ejemplo, puede proporcionarse una batería más grande con el fin de aumentar la vida útil operativa del conjunto 200 sensor.

35 Además, la ubicación interior del conjunto 200 sensor protege los componentes electrónicos contra condiciones ambientales, tales como sal, agua y otros contaminantes. Esto permitiría, por ejemplo, el uso de un circuito de alta impedancia, que es muy sensible a daños por sal y por agua, como parte del conjunto 200 sensor.

40 Sin embargo, en una variante de las realizaciones anteriores, parte del conjunto sensor puede estar situada dentro del volumen V interior del cilindro 12 de gas y una parte puede estar situada en el exterior del mismo. Por ejemplo, el circuito 204 de excitación puede estar situado en el interior del cilindro 12 de gas mientras que la batería 206 puede estar situada en el exterior del cilindro 12 de gas. Esta disposición permite proteger los componentes más frágiles del conjunto sensor contra daños y contaminantes, mientras que la batería 206 es fácilmente accesible para su mantenimiento y sustitución.

45 El conjunto 200 sensor comprende además, y está conectado a, un módulo 250 de datos. El módulo 250 de datos se muestra en la Figura 3 y, de manera esquemática, en la Figura 4a. El módulo 250 de datos está situado en el interior del cuerpo 114 de protección. El módulo 250 de datos está conectado al conjunto 200 sensor por medio de una conexión eléctrica 252 dispuesta para extenderse a través del conducto 112 de suministro. Sin embargo, pueden utilizarse otras conexiones; por ejemplo, una comunicación inalámbrica a través de NFC (Near Field Communication, comunicación de campo cercano), protocolos tales como Bluetooth u otros procedimientos inalámbricos.

50 El módulo 250 de datos comprende una pantalla 254 de visualización que, en esta realización, está integrada en el cuerpo 114 de protección. La pantalla 254 puede comprender, por ejemplo, una pantalla de tipo E-ink para minimizar el consumo de energía y para maximizar la visibilidad de la pantalla. De manera alternativa, puede usarse una pantalla de cristal líquido (Liquid Crystal Display, LCD) o una pantalla de diodos emisores de luz orgánicos (Organic Light Emitting Diode, OLED).

Hay provista también una carcasa 256 que puede hacerse funcionar para contener componentes electrónicos del módulo de datos, incluyendo un procesador 258 (mostrado en la Figura 4a), una memoria 260 y otros componentes electrónicos.

- 5 El procesador 258 puede recibir entradas desde el oscilador 202 de cristal de cuarzo y el circuito 204 de excitación. El procesador 258 puede comprender una disposición adecuada, tal como un circuito integrado específico de la aplicación (Application Specific Integrated Circuit, ASIC) o una matriz de puertas programables por campo (Field Programmable Gate Array, FPGA). El procesador 258 está programado para calcular, visualizar y comunicar parámetros útiles a los usuarios del cilindro 12, tal como se describirá. Tal como se muestra en la Figura 4a, el procesador 258 puede hacerse funcionar para recibir una entrada desde el oscilador 202 piezoeléctrico, entrada de datos (por ejemplo, desde un usuario a través de interruptores o teclas) y desde la memoria 260 que puede almacenar tablas de consulta u otros datos en un almacenamiento de memoria permanente (por ejemplo, memoria flash) o temporal (por ejemplo, RAM).
- 10 Tal como se describirá, el módulo 250 de datos puede registrar varios parámetros medidos por el oscilador 202 piezoeléctrico del conjunto 200 sensor. El módulo 250 de datos puede comprender también un transmisor y un receptor inalámbricos (no mostrados) para permitir la transmisión remota de datos a/desde el módulo 250 de datos a dispositivos adicionales, tal como se describirá más adelante.
- 15 A continuación, el oscilador 202 piezoeléctrico y el circuito 204 de excitación del conjunto 200 sensor se describirán más detalladamente con referencia a la Figura 4b. El oscilador 202 de cristal de cuarzo comprende una pequeña y delgada sección de cuarzo cortado. El cuarzo exhibe un comportamiento piezoeléctrico, es decir, la aplicación de un voltaje a través del cristal causa que el cristal cambie su forma, generando una fuerza mecánica. Por el contrario, una fuerza mecánica aplicada al cristal produce una carga eléctrica.
- 20 Dos superficies paralelas del oscilador 202 de cristal de cuarzo están metalizadas con el fin de proporcionar conexiones eléctricas a través del cristal en bruto. Cuando se aplica un voltaje a través del cristal por medio de los contactos metálicos, el cristal cambia su forma. Mediante la aplicación de un voltaje alterno al cristal, puede causarse que el cristal oscile.
- 25 El tamaño y el espesor físicos del cristal de cuarzo determinan la frecuencia característica o de resonancia del cristal de cuarzo. De hecho, la frecuencia característica o de resonancia del cristal 202 es inversamente proporcional al espesor físico entre las dos superficies metalizadas. Los osciladores de cristal de cuarzo son bien conocidos en la técnica y, de esta manera, la estructura del oscilador 202 de cristal de cuarzo no se describirá adicionalmente en la presente memoria.
- La frecuencia de vibración de resonancia de un cristal de cuarzo variará según el entorno en el que está situado el cristal. En el vacío, el cristal tendrá una frecuencia particular. Sin embargo, esta frecuencia cambiará en diferentes entornos. Por ejemplo, en un fluido, la vibración del cristal será amortiguada por las moléculas circundantes del fluido y esto afectará a la frecuencia de resonancia y a la energía requerida para hacer oscilar el cristal a una amplitud determinada.
- 30 El oscilador 202 de cristal de cuarzo de la presente realización tiene forma de diapasón y comprende un par de dientes 202a (Figura 4b) de aproximadamente 5 mm de largo dispuestos para oscilar a una frecuencia de resonancia de 32,768 kHz. Los dientes 202a del diapasón oscilan normalmente en su modo fundamental, en el que se acercan y se alejan entre sí de manera síncrona a la frecuencia de resonancia.
- 35 Dichos cristales están disponibles normalmente a un coste relativamente bajo. En contraste con la mayoría de los osciladores de cristal de cuarzo que se usan en vacío, en la presente realización, el oscilador 202 de cristal de cuarzo está expuesto al gas bajo presión en el volumen V interior del cilindro 12 de gas.
- 40 En la Figura 4b se muestra un ejemplo de un circuito 204 de excitación para excitar el oscilador 202 de cristal de cuarzo. El circuito 204 de excitación debe cumplir una serie de criterios específicos. En primer lugar, el oscilador 202 de cristal de cuarzo de la presente invención puede exponerse a un intervalo de presiones de gas; potencialmente, las presiones pueden variar desde la presión atmosférica (cuando el cilindro 12 de gas está vacío) a aproximadamente 900 barg si el cilindro de gas contiene un gas presurizado, tal como hidrógeno. De esta manera, se requiere que el cristal 202 de cuarzo funcione (y se reinicie después de un período de inactividad) bajo un amplio intervalo de presiones.
- 45 A medida que la presión en el cilindro 12 de gas aumenta, la oscilación del oscilador 202 de cristal de cuarzo se amortiguará cada vez más y se requerirá la provisión de una mayor ganancia por parte de un amplificador en el circuito 204 de excitación. Sin embargo, si se proporciona una amplificación demasiado elevada, el circuito 204 de excitación, la respuesta desde el oscilador 202 de cristal de cuarzo puede ser difícil de distinguir. En este caso, el circuito 204 de excitación puede simplemente oscilar a una frecuencia no relacionada, o a la frecuencia de un modo no fundamental del oscilador 202 de cristal de cuarzo. Como una limitación adicional, el circuito 204 de excitación debe ser de baja potencia con el fin de que funcione con la alimentación desde pequeñas baterías de baja potencia durante un periodo de tiempo prolongado con o sin energía suplementaria, tal como células fotovoltaicas.
- 50 Con el fin de excitar el oscilador 202 de cristal de cuarzo, el circuito 204 de excitación toma esencialmente una señal de voltaje desde el oscilador 202 de cristal de cuarzo, la amplifica y alimenta esa señal de nuevo al oscilador 202 de cristal de cuarzo. La frecuencia de resonancia fundamental del oscilador 202 de cristal de cuarzo es, en esencia, una función de la tasa de expansión y de contracción del cuarzo. Esto viene determinado en general por el corte y por el tamaño del

cristal.

Sin embargo, los factores externos afectan también la frecuencia de resonancia. Cuando la energía de las frecuencias de salida generadas coincide con las pérdidas en el circuito, puede mantenerse una oscilación. El circuito 204 de excitación está dispuesto para detectar y mantener esta frecuencia de oscilación. A continuación, la frecuencia puede ser medida por el procesador 258 usado para calcular la propiedad apropiada del gas requerida por el usuario y, si es necesario, emitirla a un medio de visualización adecuado (tal como se describirá más adelante).

Cuando se usa con el oscilador 202 de cristal de cuarzo, el procesador 258 puede estar configurado para medir la frecuencia  $f$  o el período de la señal desde el circuito 204 de excitación. Esto puede conseguirse, por ejemplo, contando las oscilaciones durante un tiempo fijo, y convirtiendo esa frecuencia en un valor de densidad usando un algoritmo o una tabla de búsqueda. Este valor es pasado al procesador 258 que está configurado para realizar, en base a las entradas suministradas, un cálculo para determinar la masa del gas y parámetros adicionales para el gas en el cilindro 12 de gas.

A continuación, la teoría y el funcionamiento del conjunto 200 sensor se describirán con referencia a las Figuras 5 a 10.

El oscilador 202 de cristal de cuarzo tiene una frecuencia de resonancia que depende de la densidad del fluido en el que está situado. La exposición de un oscilador de cristal de tipo diapasón oscilante a un gas conduce a un cambio y una amortiguación de la frecuencia de resonancia del cristal (cuando se compara con la frecuencia de resonancia del cristal en el vacío). Hay un número de razones para esto. Aunque existe un efecto amortiguador del gas sobre las oscilaciones del cristal, el gas se adhiere a las púas vibratorias del oscilador 202 de cristal de tipo diapasón, lo que aumenta la masa 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 solo lado:

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

En la que  $\frac{\Delta\omega}{\omega_0}$  es el cambio relativo en la frecuencia angular de resonancia,  $\rho$  es la densidad del gas,  $t$  es el espesor del oscilador de cuarzo,  $\rho_q$  es la densidad del oscilador de cuarzo y  $w$  es la anchura del diapasón.  $c_1$  y  $c_2$  son constantes geoméricamente dependientes y  $\partial$  es el espesor de la capa superficial de gas, tal como se define por:

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

En la que  $\eta$  es la viscosidad dependiente de la temperatura del gas.

Las dos partes de la ecuación 1) se refieren a a) la masa aditiva del gas en las púas del oscilador 202 de cristal de cuarzo y a b) las fuerzas de cizalladura que se generan en la capa superficial más externa de las púas durante la oscilación. De esta manera, la ecuación puede reescribirse en términos de frecuencia y puede simplificarse a:

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

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

Los presentes inventores han descubierto que puede obtenerse una aproximación suficientemente buena mediante la aproximación:

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

Por consiguiente, en una buena aproximación, el cambio de frecuencia es proporcional al cambio en la densidad del gas al que está expuesto el oscilador de cristal de cuarzo. La Figura 6 muestra, para una serie de gases/mezclas de gases diferentes, que la frecuencia de resonancia del oscilador 202 de cristal de cuarzo varía linealmente como una función de la densidad.

El oscilador 202 de cristal de cuarzo es particularmente adecuado para su uso como sensor de densidad para gases suministrados comercialmente. Aunque, tal como se ha indicado anteriormente, el cambio en la frecuencia es aproximadamente igual al cambio en la densidad, en la práctica es relativamente simple implementar una relación más completa. Por lo tanto, en una disposición de medición física, se usa la siguiente ecuación (basada en la ecuación 3)):

$$5) \rho_t = a \left( \frac{f_t}{1000} \right)^2 + b \frac{f_t}{1000} + c$$

En la ecuación 5),  $\rho_t$  es la densidad, y  $f_t$  es la frecuencia de oscilación, ambas medidas en el tiempo  $t$ .  $a$ ,  $b$  y  $c$  son constantes que son funcionalmente reprogramables.

5 Tal como se ha descrito anteriormente, el volumen  $V$  interior de gas en el interior del cilindro 12 de gas es fijo. Por lo tanto, una vez obtenida la densidad  $\rho$  del gas dentro del volumen  $V$  interior del cilindro 12 de gas a partir de la medición por parte del conjunto 200 sensor, la masa  $M$  del gas en el cilindro puede obtenerse a partir de la siguiente ecuación:

$$6) \quad M = \rho V$$

10 Por lo tanto, la medición directa de la densidad  $\rho$  del gas permite el cálculo de la masa de gas restante en el cilindro 12 de gas. En la práctica, en un sistema real, conociendo el volumen del cilindro, puede calcularse la masa de gas restante de una manera sencilla mediante una multiplicación de la frecuencia de resonancia por un factor conocido.

La medición de la masa de gas de esta manera tiene una serie de ventajas sobre las disposiciones conocidas. Por ejemplo, la masa medida según una realización de la invención es corregida de manera intrínseca para la temperatura.

15 Además, la masa de gas medida según una realización de la presente invención es corregida de manera intrínseca para la compresibilidad  $Z$ . En una disposición convencional, por ejemplo, que utiliza un manómetro Bourdon para obtener el contenido de gas a partir de la presión, es necesario aplicar una corrección para la compresibilidad del gas. Esto es particularmente importante a altas presiones, donde la compresibilidad  $Z$  no es proporcional a la presión del gas en la manera esperada de un gas ideal.

20 La compensación automática para la compresibilidad se ilustra con referencia a las Figuras 6 y 7. La Figura 6 muestra un gráfico de la masa de gas (en kg) en el eje Y como una función de la presión (bar g) para argón, oxígeno y mezcla de argón:dióxido de carbono. Tal como se muestra en la Figura 6, las masas de los diferentes gases varían con un aumento de la presión. Además, a altas presiones superiores a 250 bar g, ya no existe una relación lineal entre masa y presión.

25 La Figura 7 muestra un gráfico de la masa de gas (en kg) en el eje Y como una función de la densidad (en kg/m<sup>3</sup>) para los mismos tres gases (argón, oxígeno y una mezcla de argón:dióxido de carbono) de la Figura 6. Al contrario que en la Figura 6, puede observarse que la masa de gas como una función de la densidad es idéntica para cada mezcla gas/gas. Además, la relación todavía es lineal a altas densidades. Por consiguiente, el oscilador 202 de cristal de cuarzo puede tener una alta resolución y puede ser altamente lineal con la densidad.

30 Tal como se ha indicado anteriormente, la disposición de la presente invención permite la medición de la masa con una precisión muy elevada con una resolución de partes por millón. Junto con la respuesta lineal del sensor 202 de densidad de cuarzo a altas densidades y presiones (tal como se ilustra en las Figuras 6 y 7), la alta precisión permite una medición muy precisa de gases muy ligeros, tales como H<sub>2</sub> y He.

También es útil conocer el contenido restante del cilindro de gas en términos de porcentaje. Esto puede hacerse según la siguiente ecuación:

$$7) \quad \text{Contents (\%)} = \frac{\rho}{\rho_f} \times 100$$

35 En la que  $\rho$  es la densidad medida y  $\rho_f$  es la densidad cuando el cilindro está lleno. En la práctica,  $\rho_f$  puede medirse directamente. De manera alternativa, dado un gas conocido y condiciones conocidas (por ejemplo, 300 barg a 15°C), puede suponerse que el valor de  $\rho_f$  toma un valor constante y este puede almacenarse, por ejemplo, en una tabla de consulta en el procesador 258.

Además de la medición de la presión estática en el interior de un cilindro 12 de gas, el conjunto 200 sensor es capaz de medir el caudal másico  $a$  o desde el cilindro 12 de gas.

40 La densidad del gas a presión atmosférica es solo del orden de 1 g/litro, y las tasas de uso de gas normales son frecuentemente de solo unos pocos litros por minuto. Los presentes inventores han descubierto que el oscilador 202 de cristal de cuarzo es lo suficientemente estable y preciso como para permitir que el flujo másico de gas que sale del cilindro 12 de gas sea medido por medio de la densidad variable indicada.

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

El caudal másico  $\frac{\partial M}{\partial t}$  se calcula a partir de la ecuación 8):

$$8) \quad \frac{\partial M}{\partial t} = V \frac{\Delta \rho}{\Delta t}$$

en la que V es el volumen,  $\Delta \rho$  es el cambio de densidad indicado a lo largo del intervalo de tiempo  $\Delta t$ . En este caso, el funcionamiento del conjunto 200 sensor requiere que el circuito 204 de excitación realice una integración sobre un número de ciclos de oscilación del oscilador 202 de cristal de cuarzo.

5 Las Figuras 8 y 9 ilustran datos experimentales de detección de flujo másico. La Figura 8 muestra un gráfico de frecuencia (kHz) en el eje Y como una función del tiempo (en minutos) en el eje X para un caudal de 12 litros por minuto desde un cilindro de 50 litros a la presión de  $\sim 100$  bar indicada. La Figura 9 muestra un gráfico del caudal calculado (en litros por minuto) en el eje Y como una función del tiempo (en minutos) en el eje X para el cilindro de 50 litros a una presión de  $\sim 100$  bar.

10 Estas Figuras ilustran que el caudal másico de gas desde un cilindro 12 de gas puede determinarse a partir de una medición del cambio de la densidad con el tiempo. Por consiguiente, el caudal másico puede calcularse con suficiente precisión y resolución temporal usando el oscilador 202 de cristal de cuarzo y el circuito 204 de excitación.

15 La Figura 10 ilustra datos experimentales adicionales e ilustra un gráfico de frecuencia (en kHz) en el eje Y como una función de la masa total del cilindro (en kg) en el eje X. Tal como puede observarse, el gráfico es aproximadamente lineal, con un alto grado de precisión. Por lo tanto, la Figura 11 muestra que la masa de gas en el interior del cilindro 12 de gas puede medirse de manera precisa con el oscilador 202 de cristal de cuarzo.

20 De manera importante, los datos obtenidos desde el conjunto 200 sensor pueden usarse para presentar datos relacionados con el tiempo restante, es decir, el tiempo antes de que se agote el gas en el cilindro 12. Esto es particularmente crítico en aplicaciones tales como un cilindro de oxígeno de hospital usado en el tránsito de pacientes entre hospitales.

Una disposición conocida consiste en calcular el tiempo restante en base a un caudal establecido determinado. Sin embargo, en general, dicho tiempo restante es inexacto por las razones expuestas anteriormente. Dicho enfoque no puede tener en cuenta los caudales variables, los aumentos repentinos de gas y otros fenómenos. Puede proporcionar lecturas que están por encima o por debajo de las reales en cantidades desconocidas.

25 Además, un procedimiento conocido para realizar la medición de dicho tiempo ( $T_{run}$ ) puede calcularse a partir del conocimiento del caudal (descrito anteriormente), el contenido másico del cilindro 12 y el tiempo ( $T_c$ ) actual mediante la siguiente ecuación:

$$9) \quad T_{run} = T_c + \frac{M}{\frac{\partial M}{\partial t}}$$

30 Este se conoce como tiempo restante calculado a partir del caudal instantáneo, es decir, una extrapolación del caudal medido en la actualidad. Este enfoque proporciona una medición más precisa que puede ajustarse a medida que cambia el caudal. Sin embargo, es probable que este enfoque sea inexacto debido a que solo puede tener en cuenta la situación actual del caudal. Tal como se ha descrito anteriormente, el uso de la ecuación 9) generalmente sobrestimaré la cantidad de gas restante en el cilindro de gas ya que no podrá tener en cuenta los patrones de uso pasados que pueden incluir un comportamiento de aumento transitorio. Para algunas aplicaciones, por ejemplo, aplicaciones de atención médica, esta lectura superior a la real puede suponer un problema crítico.

La presente invención se refiere a un procedimiento en el que el tiempo restante de un cilindro de gas puede estimarse, entre otras cosas, a partir de la tasa de consumo real. Además, el tiempo restante, el tiempo usado, el caudal promedio y los caudales almacenados pueden usarse como un control de calidad para verificar el procedimiento.

El procedimiento de la presente invención se basa en la ecuación 10) siguiente:

$$10) \quad T_{run} = \frac{M}{F_{AVG}}$$

40 En la que M es la masa de gas restante en el cilindro 12 de gas, medida en kilogramos (kg) y  $F_{AVG}$  es el caudal promedio (en kg/min) determinado tal como se indica a continuación.

El caudal  $F_{AVG}$  promedio se determina en base a la ecuación 11) siguiente:

$$11) F_{AVG} = DE + (1 - E) \frac{\sum_{i=0}^n F_i}{n}$$

En la que D es un caudal base, E es un factor de escala variable (tal como se describirá más adelante) y  $F_i$  es una medición de caudal, en la que la segunda función es una suma de n mediciones de caudal, estando i comprendido en el intervalo de 0 a n.

5 Por consiguiente, la ecuación 11) comprende dos funciones. Una es una función de un caudal base y la otra es una función del caudal promedio medido. El factor E de escala está predeterminado y, cuando E varía, la proporción de las funciones primera y segunda que comprenden la ecuación 11) varía.

10 Los presentes inventores han descubierto, por primera vez, que el comportamiento del flujo de gas desde un cilindro de gas depende del contenido del cilindro de gas. Por lo tanto, el factor E de escala se introduce para permitir una transición entre los diferentes regímenes de un cilindro de gas, dependiendo de si está lleno, vacío o parcialmente lleno. El parámetro E se selecciona desde una tabla de consulta, tal como se muestra a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1:

Contenido (%)	E
De 100 hasta 90	0,8
De 90 hasta 60	0,5
De 60 hasta 30	0,2
Menos de 30	0,1

15 Por lo tanto, tal como se muestra en la Tabla 1, a medida que se reduce el contenido del cilindro de gas, el valor de E se reduce de manera concomitante. Esto causa que la primera función de la ecuación 11) reduzca su peso con relación a la segunda función a medida que el cilindro de gas se vacía.

Como resultado, a altos niveles de llenado del cilindro de gas, el caudal es aproximadamente el caudal base, D, modificado a dos partes de diez por el caudal promedio. Este puede establecerse en cualquier valor deseado; por ejemplo, 15 litros/minuto. En kg/min, esto corresponde a un valor de D de aproximadamente 0,03.

A niveles de llenado de cilindro bajos,  $F_{AVG}$  está dominado por el promedio de las n mediciones anteriores del caudal.

20 Los presentes inventores han descubierto que esta ecuación modela bien el comportamiento de un cilindro de gas. Esto es debido a que, a altos niveles de llenado del cilindro, puede conseguirse más fácilmente un caudal base. A niveles de llenado bajos, el suministro es más errático y, de esta manera, la medición del caudal debe dominar. En otras palabras, cuando el cilindro está lleno, es típico usar un caudal generalmente fijo, pero, a medida que el cilindro se vacía, los presentes inventores han descubierto que es necesario predecir el flujo de manera más precisa.

25 Para muchas aplicaciones, puede suponerse que D es una constante. Por ejemplo, si el conjunto 14 de válvula y regulador está dispuesto para entregar un caudal fijo para las aplicaciones finales (por ejemplo, 15 litros/minuto), entonces el valor de D puede fijarse en una memoria del procesador 258 y puede usarse como una constante.

30 De manera alternativa, D puede seleccionarse en función del caudal inicial si el regulador y/o el usuario pueden seleccionar diferentes caudales. El caudal podría ser introducido o seleccionado por un usuario tras la inicialización de un cilindro 12. De manera alternativa, un valor de D podría seleccionarse de entre múltiples valores de D almacenados en una tabla de consulta.

35 Como una alternativa adicional, el valor de D podría compararse con el caudal medido y podría modificarse en caso de ser necesario. Aunque los caudales promedio calculados como parte de la segunda función de la ecuación 11) están dispuestos para ser actualizados de manera constante (o de manera efectivamente constante) con cada medición, el valor de D podría comprobarse periódicamente para determinar si existe una discrepancia entre el valor inicial y el valor real. Por ejemplo, el caudal podría comprobarse cada diez mediciones y podría compararse con el valor almacenado de D, actualizándose D en caso de ser necesario. De manera alternativa, podría actualizarse cada cinco a quince mediciones.

40 Es importante señalar que la segunda función de la ecuación 11) puede usarse para tener en cuenta las variaciones localizadas en el caudal para predecir de manera más precisa el tiempo de funcionamiento restante. Sin embargo, D es un parámetro más global basado en el caudal establecido y, de esta manera, debe actualizarse menos frecuentemente, si se actualiza realmente.

Las Figuras 11 y 12 ilustran dos ejemplos teóricos de la eficacia de este enfoque. La Figura 11 muestra datos teóricos para un caudal inicial de 15 l/min. La Figura 11a) muestra el caudal como una función del tiempo. Obsérvese que el caudal se varía a intervalos periódicos. La Figura 11b) muestra el contenido de gas del cilindro de gas como una función del tiempo. La línea 1 es un ajuste lineal basado en el caudal inicial de 15 l/min. La línea 2 es un gráfico de medición de caudal instantáneo según la ecuación 9). La línea 3 es un gráfico del procedimiento según la presente invención tal como se establece en las ecuaciones 10) y 11).

La Figura 11c) muestra los mismos tres gráficos que en la Figura 11b) pero mostrando el tiempo restante predicho para cada enfoque. Tal como se muestra, la gráfica lineal es inexacta si se varía el flujo. La medición de caudal instantáneo (línea 2) proporciona un valor muy por encima del real a presiones de cilindro altas y caudales bajos. El procedimiento de la presente invención (línea 3) es más preciso.

Las Figuras 12a) ac) muestran datos similares, pero para un caudal inicial de 18 l/min.

A continuación, se describirá un procedimiento según una realización de la presente invención con referencia a la Figura 13.

Etapa 300: inicializar la medición

En la etapa 300, se inicializa el procedimiento de medición en el cilindro 12 de gas. En esta etapa, en el tiempo  $T_0$ , el cilindro de gas está lleno, es decir, lleno al 100%.

De manera alternativa, la medición puede ser activada, por ejemplo, por un usuario al presionar un botón en el exterior del cilindro 12 de gas. Como una alternativa adicional, la medición puede ser iniciada por medio de una conexión remota, por ejemplo, una señal transmitida a través de una red inalámbrica y recibida por el módulo 250 de datos de manera inalámbrica.

Además o como una alternativa adicional, el módulo 250 de datos y el conjunto 200 sensor pueden estar configurados para inicializarse de manera remota o con un temporizador. El procedimiento pasa a la etapa 302.

Etapa 302: Accionar el oscilador de cristal de cuarzo

Una vez inicializado, el circuito 204 de excitación se usa para excitar el oscilador 202 de cristal de cuarzo. Durante la inicialización, el circuito 204 de excitación aplica un voltaje de CA con ruido aleatorio a través del cristal 202. Al menos una parte de ese voltaje aleatorio tendrá una frecuencia adecuada para causar que el cristal 202 oscile. Entonces, el cristal 202 empezará a oscilar de manera sincrónica con esa señal.

Por medio del efecto piezoeléctrico, el movimiento del oscilador 202 de cristal de cuarzo generará entonces un voltaje en la banda de frecuencia de resonancia del oscilador 202 de cristal de cuarzo. A continuación, el circuito 204 de excitación amplifica la señal generada por el oscilador 202 de cristal de cuarzo, de manera que las señales generadas en la banda de frecuencia del resonador 202 de cristal de cuarzo dominen la salida del circuito 204 de excitación. La estrecha banda de resonancia del cristal de cuarzo filtra todas las frecuencias no deseadas y el circuito 204 de excitación excita a continuación el oscilador 202 de cristal de cuarzo en la frecuencia  $f$  de resonancia fundamental. Una vez estabilizado el oscilador 202 de cristal de cuarzo a una frecuencia de resonancia particular, el procedimiento pasa a la etapa 304.

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

La frecuencia  $f$  de resonancia depende de las condiciones dentro del volumen  $V$  interior del cilindro de gas. En la presente realización, el cambio  $\Delta f$  en la frecuencia de resonancia tiene una magnitud que es proporcional al cambio en la densidad del gas en el interior del cilindro 12 de gas y disminuirá con un aumento de la densidad.

Con el fin de realizar una medición, la frecuencia del oscilador 202 de cristal de cuarzo se mide durante un período de aproximadamente 1 s. El objetivo de esto es permitir que la lectura se estabilice y contar un número de oscilaciones suficiente con el fin de determinar una medición precisa. La medición de frecuencia se realiza en el procesador 258. El procesador 258 puede registrar también el tiempo,  $T_0$ , de inicio de la medición.

Una vez medida la frecuencia, el procedimiento pasa a la etapa 306.

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

Una vez medida satisfactoriamente la frecuencia del oscilador 202 de cristal de cuarzo en la etapa 304, a continuación, el procesador 258 calcula la masa de gas en el cilindro 12 de gas.

Esto se realiza cuando la masa del gas puede calcularse directamente a partir de la densidad determinada en la etapa 304 y el volumen  $V$  interior conocido del cilindro 12 de gas. Este valor se registra como el nivel de llenado al 100% del cilindro de gas medido en el tiempo  $T_0$ .

Como una alternativa, si el gas es conocido y se llena a un estado conocido (por ejemplo, 300 barg a 15 grados centígrados), entonces no es necesario realizar las etapas 302 y 304 y el valor en  $T_0$  podría almacenarse simplemente en una tabla de consulta.

5 De cualquier manera, la masa podría registrarse simplemente en una memoria interna asociada con el procesador 258 del conjunto 200 sensor para su recuperación posterior. Como todavía una alternativa adicional, la masa de gas en el tiempo  $T_0$  podría almacenarse en una memoria local de dicho procesador 258. A continuación, el procedimiento pasa a la etapa 308.

Etapa 308: Accionar el oscilador

10 Una vez transcurrido un período de tiempo, por ejemplo, 5 minutos, el circuito 204 de excitación se usa de nuevo para excitar el oscilador 202 de cristal de cuarzo, tal como se ha indicado en la etapa 304. Tal como se ha descrito anteriormente, la estrecha banda de resonancia del cristal de cuarzo filtra todas las frecuencias no deseadas y el circuito 204 de excitación excita a continuación el oscilador 202 de cristal de cuarzo a la frecuencia  $f$  de resonancia fundamental. Una vez estabilizado el oscilador 202 de cristal de cuarzo a una frecuencia de resonancia particular, el procedimiento pasa a la etapa 310.

15 Etapa 310: Medir la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo

La frecuencia  $f$  de resonancia depende de las condiciones dentro del volumen  $V$  interior del cilindro de gas. En la presente realización, el cambio  $\Delta f$  en la frecuencia de resonancia tiene una magnitud que es proporcional al cambio en la densidad del gas en el interior del cilindro 12 de gas y disminuirá con un aumento de la densidad.

20 Con el fin de realizar una medición, la frecuencia del oscilador 202 de cristal de cuarzo se mide durante un período de aproximadamente 1 s. El objetivo de esto es permitir que la lectura se estabilice y contar un número de oscilaciones suficiente con el fin de determinar una medición precisa. La medición de frecuencia se realiza en el procesador 258. El procesador 258 puede registrar también el tiempo,  $T_m$  (donde  $m > 0$ ) cuando se realiza la medición. Una vez medida la frecuencia, el procedimiento pasa a la etapa 312.

Etapa 312: Determinar la masa de gas en el cilindro de gas

25 Una vez medida satisfactoriamente la frecuencia del oscilador 202 de cristal de cuarzo en la etapa 310, a continuación, el procesador 258 calcula la masa de gas en el cilindro 12 de gas en el tiempo  $T_m$ .

La masa podría registrarse simplemente en una memoria interna asociada con el procesador 258 del conjunto 200 sensor para su recuperación posterior. Como todavía una alternativa adicional, la masa de gas en el tiempo  $T_m$  podría almacenarse en una memoria local para dicho procesador 258. A continuación, el procedimiento pasa a la etapa 314.

30 Etapa 314: Calcular el caudal

En la etapa 314 se calcula el caudal. Esto puede realizarse a partir de la diferencia entre la frecuencia de resonancia medida en el tiempo  $T_m$  y la medida en el tiempo  $T_{m-1}$ . A continuación, la diferencia se divide por el tiempo entre  $T_m$  y  $T_{m-1}$ . Tal como se ha descrito anteriormente, el cambio de frecuencia como una función del tiempo es proporcional al cambio en la masa de gas, es decir, el caudal.

35 Etapa 316: Calcular el caudal promedio

A continuación, el caudal promedio puede calcularse en base a la ecuación 11) utilizando las mediciones de caudal realizadas en la etapa 314 para los  $n$  caudales medidos anteriores, donde  $n > 1$  y preferiblemente  $n = 10$ .

Si  $m < n$ , entonces el caudal promedio puede determinarse a partir del caudal base inicial,  $D$ , u otro caudal según se especifique. A continuación, el procedimiento pasa a la etapa 318.

40 Etapa 318: Calcular el tiempo restante

A continuación, el tiempo restante se calcula en base al caudal promedio medido en la etapa 316, se usa también la masa de gas medida en la etapa 312, junto con la determinación del factor  $E$  de escala a partir de la masa de gas medida en la etapa 312 y en la etapa 306.

45 El valor del tiempo restante puede determinarse como el tiempo restante hasta un nivel de llenado particular del cilindro de gas, es decir, el tiempo hasta que queda una cantidad de gas predeterminada. En una realización, este puede ser el tiempo hasta que el cilindro 12 de gas esté completamente vacío. De manera alternativa, el tiempo restante puede calcular el tiempo hasta que el cilindro contiene el 10% de su capacidad total. Como una alternativa adicional, puede usarse cualquier nivel predeterminado deseado en el punto final para el tiempo restante.

Etapa 320: Comunicar los resultados

5 El tiempo restante puede mostrarse de diversas formas. Por ejemplo, la pantalla 254 fijada al cilindro 12 de gas o al conjunto 14 de válvula y regulador podría mostrar el tiempo restante. De manera alternativa, el tiempo restante podría comunicarse de manera remota a una estación base, un teléfono inteligente u otro dispositivo situado dentro del alcance de comunicación inalámbrica del cilindro de gas y el módulo 250 de datos. Si el tiempo restante es corto, por ejemplo, sólo quedan unos minutos, o la capacidad de la botella de gas es baja, puede mostrarse una advertencia luminosa en el cilindro 12 de gas, por ejemplo, una luz de advertencia que forma parte de la pantalla 258 o situada en la protección 114. A continuación, el procedimiento pasa a la etapa 322.

Etapa 322: Retardo

10 A continuación, el procedimiento espera un tiempo predeterminado (por ejemplo, 5 minutos) antes de volver a la etapa 308 para repetir la secuencia para mediciones adicionales en un ciclo  $m+1$  de medición adicional.

No es necesario mantener el conjunto 200 sensor operativo durante todo el tiempo. Por el contrario, es beneficioso reducir el consumo de energía desactivando el conjunto 200 sensor cuando no está siendo usado. Esto prolonga la vida útil de la batería 206.

15 La configuración del circuito 204 de excitación permite reiniciar el oscilador 202 de cristal de cuarzo independientemente de la presión de gas en el cilindro 12 de gas. Por lo tanto, el conjunto 200 sensor puede apagarse como y cuando se requiera para ahorrar energía de la batería.

20 De manera alternativa, si el caudal es lento, o si se desea medir las pérdidas en el interior del cilindro 12 de gas, por ejemplo, debido a fugas, entonces el intervalo de tiempo entre  $T_m$  y  $T_{m+1}$  puede ser considerablemente mayor; por ejemplo, del orden de minutos, horas o días.

A continuación, el procedimiento vuelve a la etapa 308 una vez expirado el período de tiempo.

25 Las variantes de las realizaciones anteriores serán evidentes para la persona experta en la materia. La configuración precisa de los componentes de hardware y software puede diferir y todavía estar incluida dentro del alcance de la presente invención. La persona experta en la materia conocerá fácilmente las configuraciones alternativas que podrían usarse.

Por ejemplo, las realizaciones descritas anteriormente han utilizado un oscilador de cristal de cuarzo que tiene una frecuencia fundamental de 32,768 kHz. Sin embargo, pueden usarse cristales que funcionan a frecuencias alternativas. Por ejemplo, pueden usarse osciladores de cristal de cuarzo que funcionan a 60 kHz y 100 kHz con las realizaciones descritas anteriormente.

30 Además, aunque la realización anterior se ha descrito con referencia al uso de un oscilador de cristal de cuarzo, la persona experta conocerá fácilmente materiales piezoeléctricos alternativos que también podrían usarse. 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 bismuto germanio, cerámica policristalina de titanato de circonio, cerámica con alto contenido de alúmina, materiales compuestos de silicio-óxido de zinc o tartrato de dipotasio.

Además, pueden usarse otros sensores y procedimientos para medir la masa de gas y el caudal, o en combinación. Por ejemplo, un caudalímetro convencional puede usarse junto con un sensor de densidad de cuarzo para medir la masa.

40 Como una alternativa adicional, podrían usarse sensores de gas diferentes de los osciladores piezoeléctricos. Podría usarse un sensor de presión, de estado sólido o un manómetro Bourdon. De manera alternativa, la masa del contenido del cilindro podría obtenerse pesando y esto, junto con un medidor de flujo convencional, podría usarse para determinar la masa en un tiempo posterior a medida que se consume el gas.

45 Las realizaciones de la presente invención se han descrito con referencia particular a los ejemplos ilustrados. Aunque los ejemplos específicos se muestran en los dibujos y se describen detalladamente en la presente memoria, sin embargo, debería entenderse que los dibujos y la descripción detallada no pretenden limitar la invención a la forma particular descrita. Se apreciará que pueden realizarse variaciones y modificaciones a los ejemplos descritos dentro del alcance de la presente invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimientos de determinación el uso predicho de gas desde un conjunto (10) de cilindro de gas que comprende un cilindro (12) de gas y un conjunto (14) de válvula y regulador, usando el procedimiento un conjunto sensor que comprende un sensor (200) de gas seleccionado de entre el grupo que comprende: un oscilador piezoeléctrico; un sensor de presión; o un aparato de pesaje de cilindro de gas, y comprendiendo el procedimiento las etapas de:

- a) determinar (306), usando el sensor de gas, la masa de gas en el cilindro de gas en un tiempo t,
- b) determinar (316), en el tiempo t, un caudal de gas medido desde el cilindro de gas a partir de: i) el promedio de n mediciones anteriores del caudal del gas, donde  $n > 1$ ; o ii) cuando hay menos de n mediciones previas del caudal del gas, un caudal inicial predeterminado; y
- c) determinar (318), en el tiempo t, el tiempo restante hasta que la cantidad de gas en el cilindro de gas alcance un nivel predeterminado, en el que el tiempo restante se determina a partir de la masa de gas en el cilindro de gas en el tiempo t y un caudal promedio calculado en base a la ecuación

$$F_{AVG} = DE + (1 - E) \frac{\sum_{i=0}^n F_i}{n}$$

en la que D es un caudal base,  $F_i$  es una medida de caudal y E es un factor de escala predeterminado seleccionado en función de la proporción de gas que queda en el cilindro de gas en el tiempo t.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el sensor de gas comprende un oscilador piezoeléctrico sumergido en el gas dentro del cilindro de gas, y el conjunto sensor comprende un circuito de excitación para excitar el oscilador piezoeléctrico, y la etapa a) comprende:

- d) excitar, por medio del circuito de excitación, el oscilador piezoeléctrico de manera que el oscilador piezoeléctrico resuene a una frecuencia de resonancia; y
- e) medir la frecuencia de resonancia del oscilador piezoeléctrico en el tiempo t; y
- f) determinar, a partir de la frecuencia de resonancia, la masa del gas en el interior del cilindro de gas en el tiempo t.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que cada una de dichas mediciones anteriores del caudal medido del gas se calcula a partir de la diferencia entre la frecuencia de resonancia del oscilador piezoeléctrico en un primer tiempo y la frecuencia de resonancia del oscilador piezoeléctrico en un segundo tiempo, anterior.

4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procedimiento comprende, además, antes de la etapa a):

- g) determinar la masa de gas en el cilindro de gas cuando el cilindro de gas está lleno, y en el que la etapa c) comprende, además:
- h) determinar la proporción de gas que queda en el cilindro de gas en el tiempo t a partir de la masa de gas en el cilindro de gas cuando está lleno y la masa del gas en el cilindro de gas en el tiempo t.

5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el factor de escala predeterminado se selecciona desde una tabla de consulta.

6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el caudal base predeterminado es una constante.

7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el nivel predeterminado de la cantidad de gas en el cilindro de gas es sustancialmente cero.

8. Conjunto sensor que comprende un procesador y un sensor de gas, estando el conjunto sensor configurado para realizar las etapas de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

9. Conjunto sensor según la reivindicación 8, en el que el sensor de gas comprende un oscilador piezoeléctrico para su inmersión en el gas en el interior del cilindro de gas y el conjunto sensor incluye además un circuito de excitación para excitar el oscilador piezoeléctrico a una frecuencia de resonancia.

10. Conjunto sensor según la reivindicación 8 o 9, que comprende además una pantalla dispuesta para ser situada

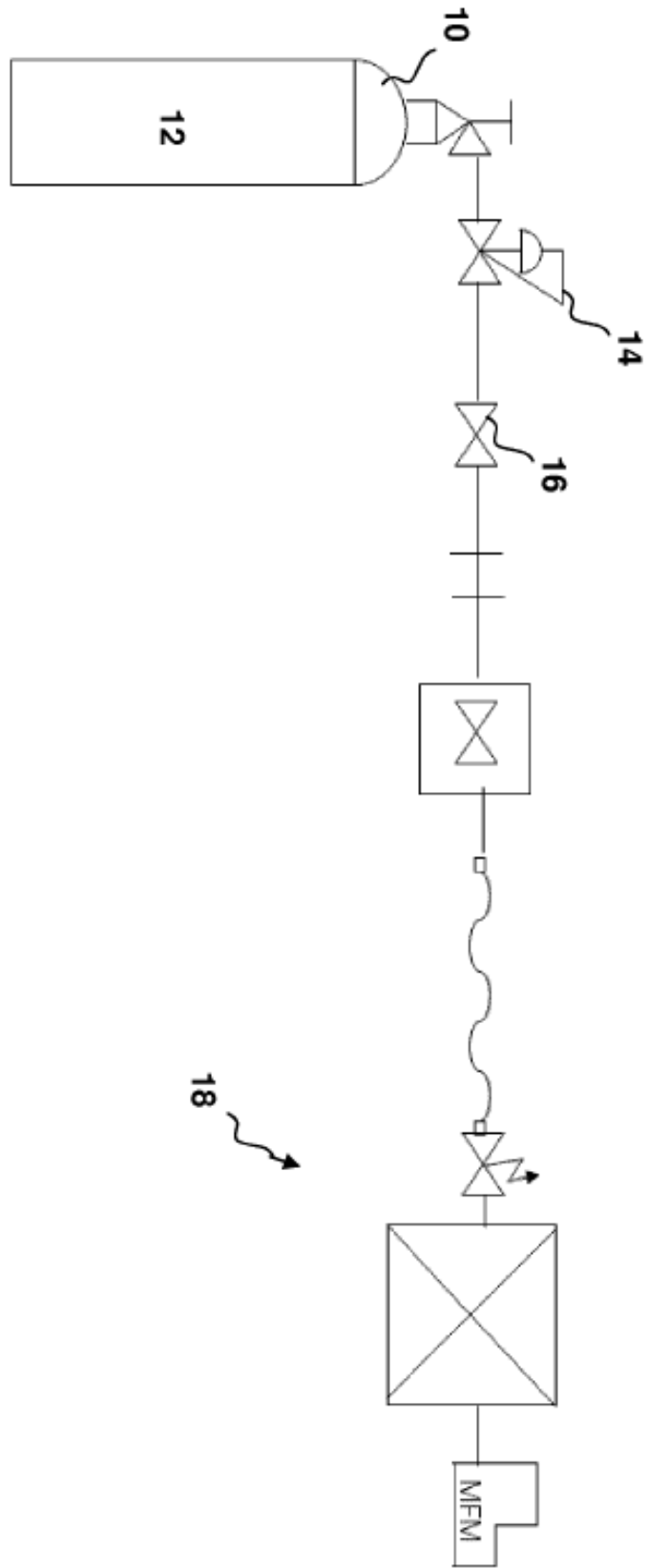
en el cilindro de gas y en el conjunto de válvula y regulador.

11. Conjunto sensor según la reivindicación 8, 9 o 10, que comprende además medios de comunicación inalámbrica para comunicarse con dispositivos electrónicos.

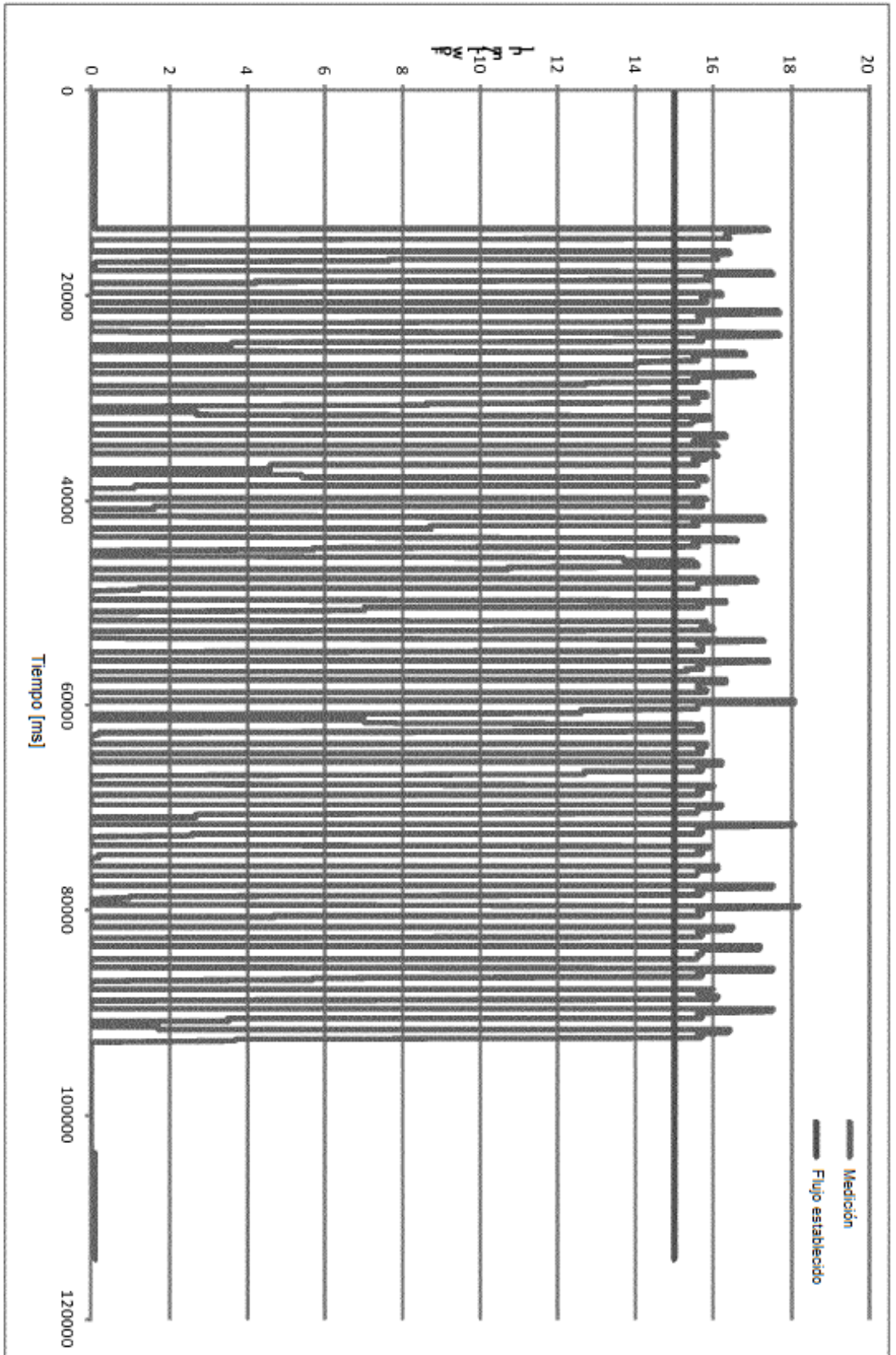
5 12. Conjunto de cilindro de gas que comprende un conjunto de válvula y regulador y el conjunto sensor de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11.

13. Producto de programa de ordenador que puede ser ejecutado por un aparato de procesamiento programable, que comprende una o más partes de software operables para realizar las etapas de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

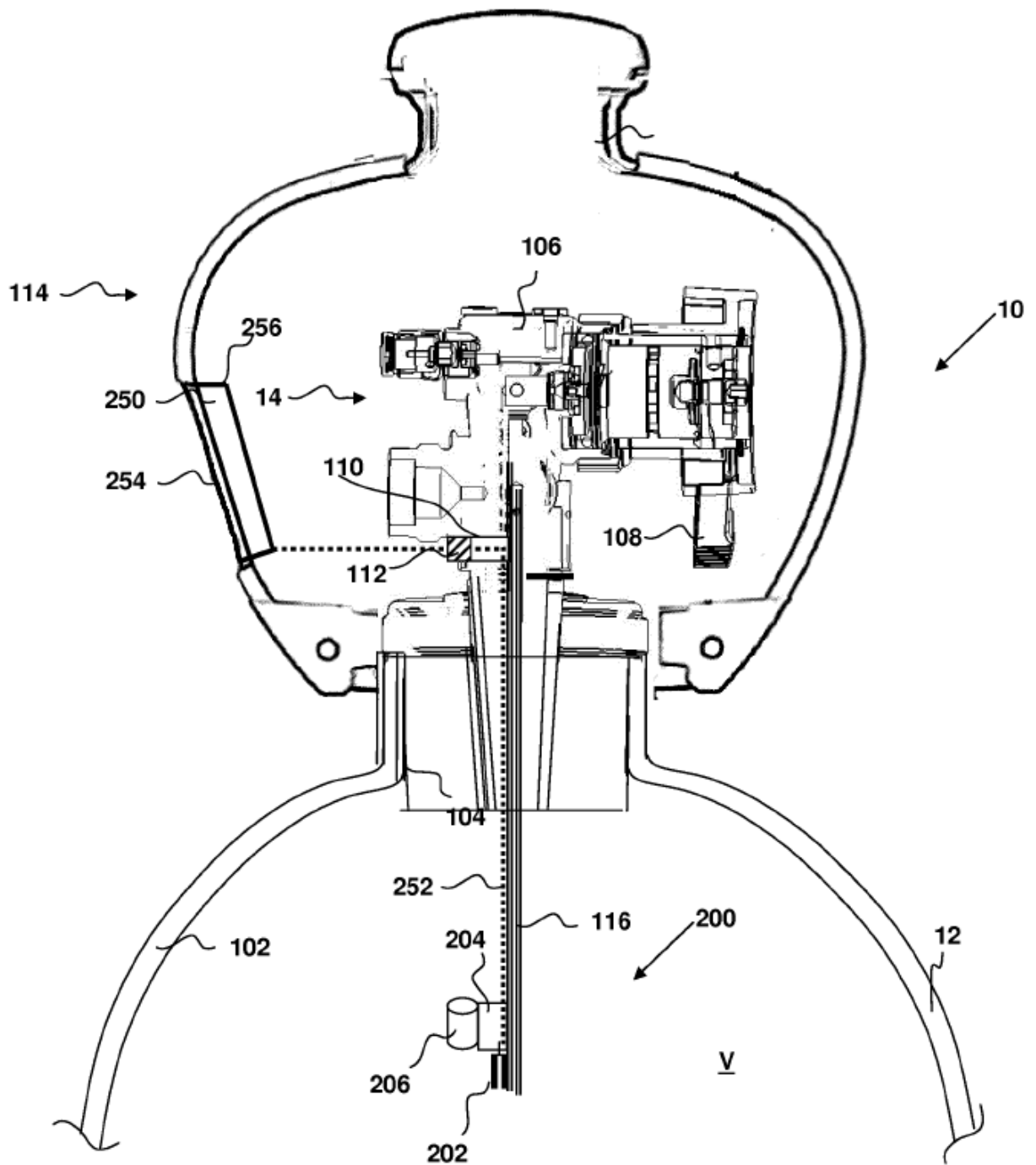
10 14. Medio de almacenamiento que puede ser usado por un ordenador que tiene almacenado en el mismo un producto de programa de ordenador según la reivindicación 13.



**Fig. 1**

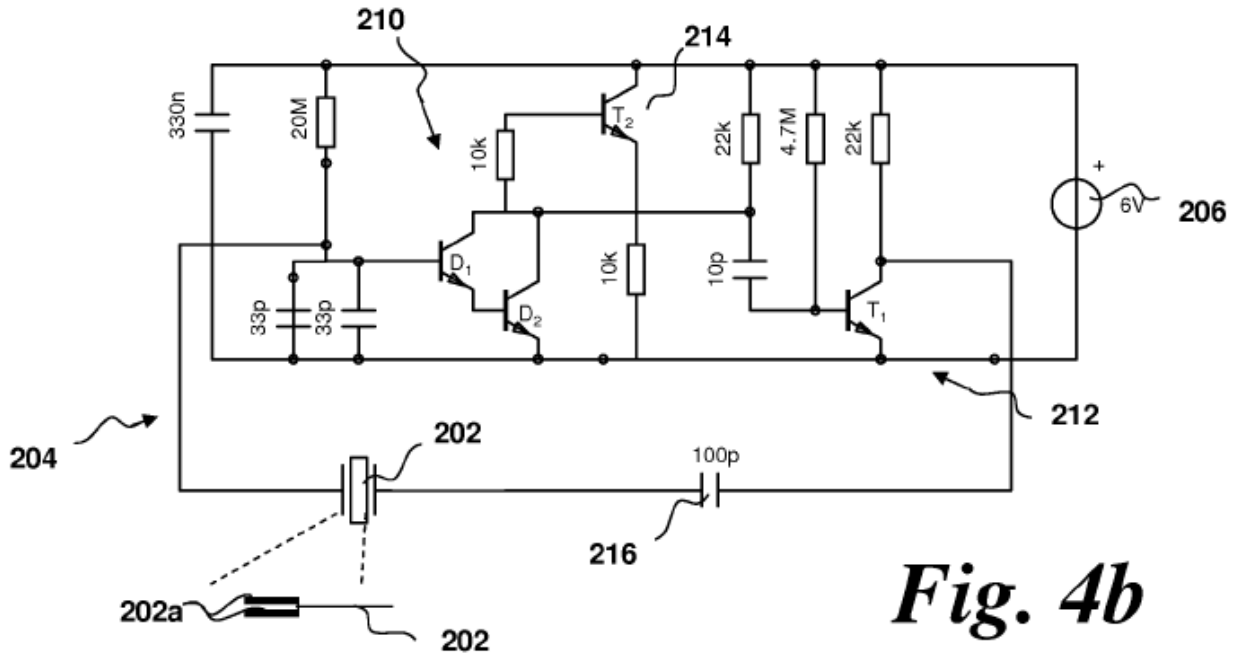
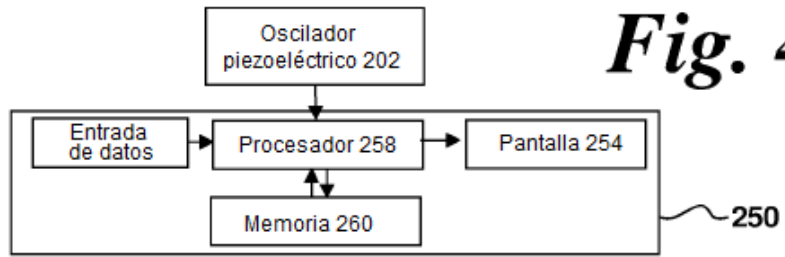


**Fig. 2**

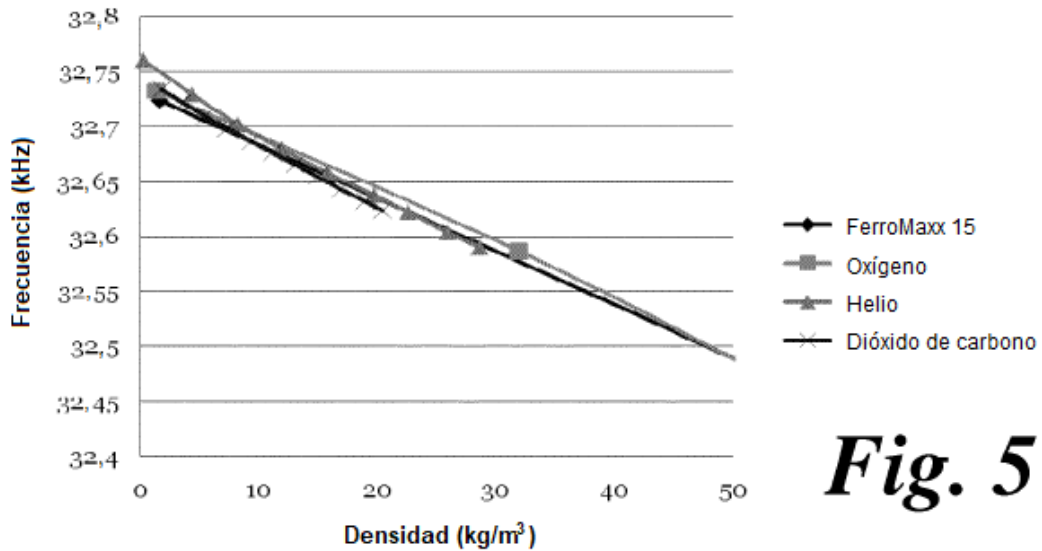


*Fig. 3*

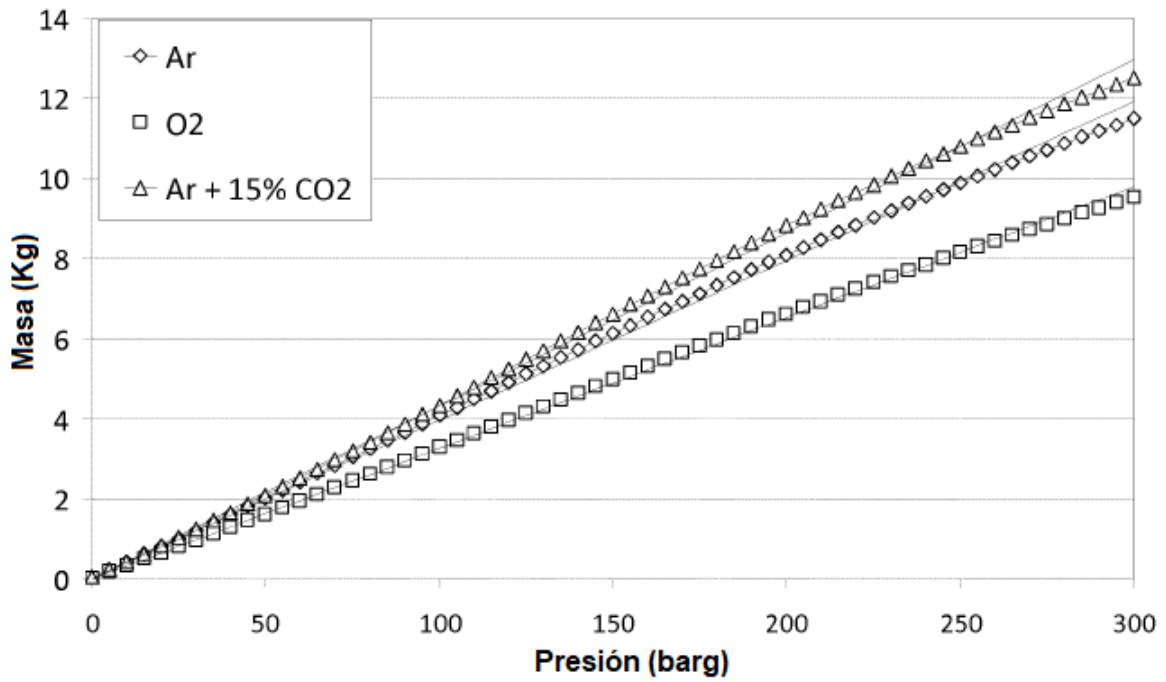
**Fig. 4a**



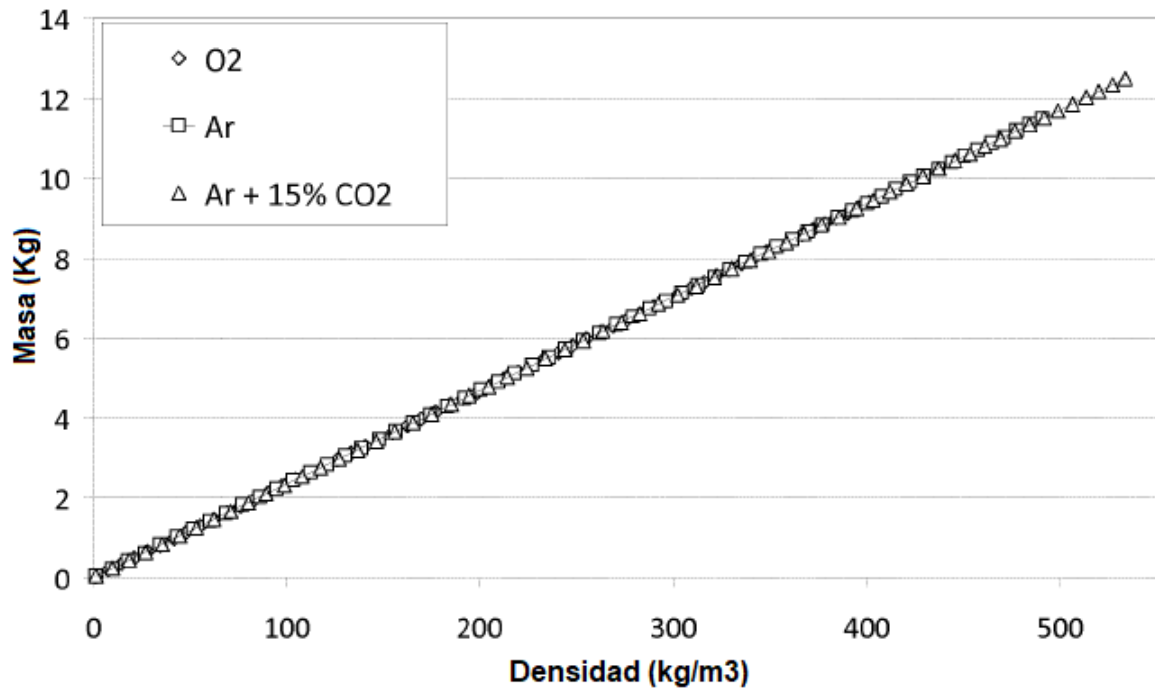
**Fig. 4b**



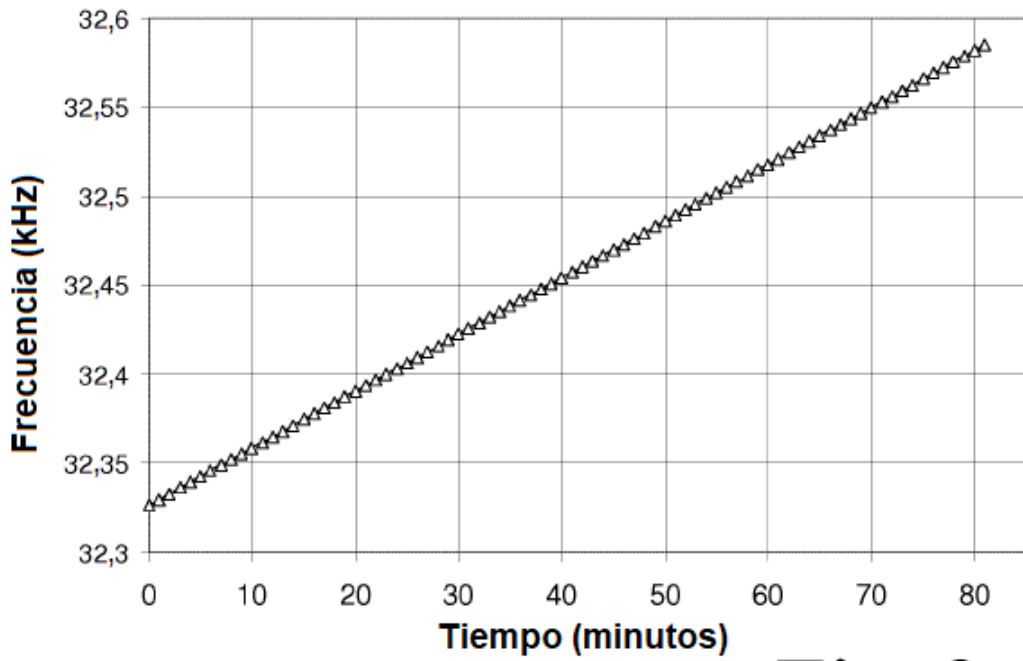
**Fig. 5**



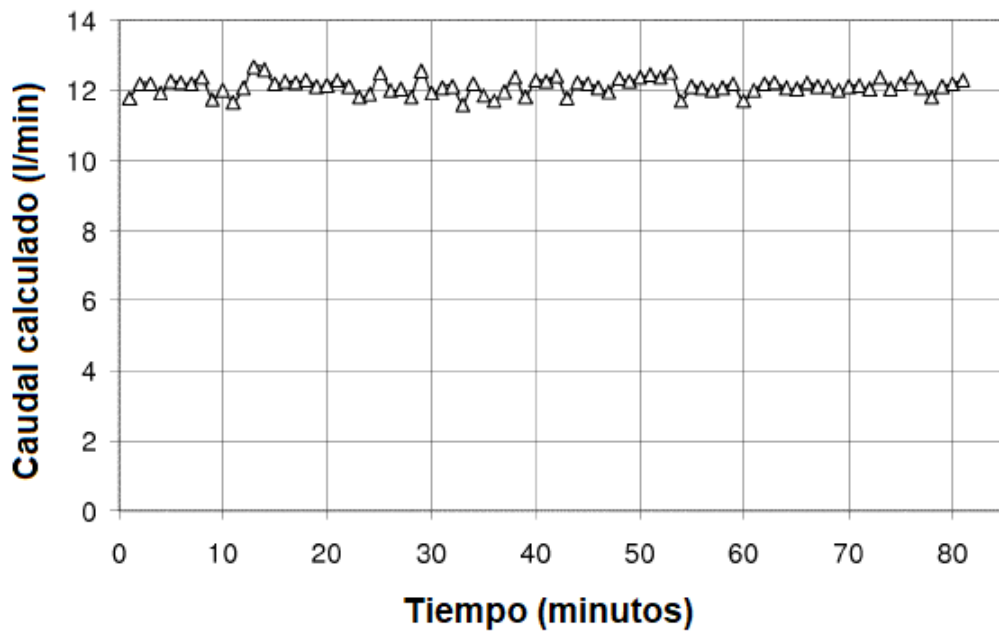
**Fig. 6**



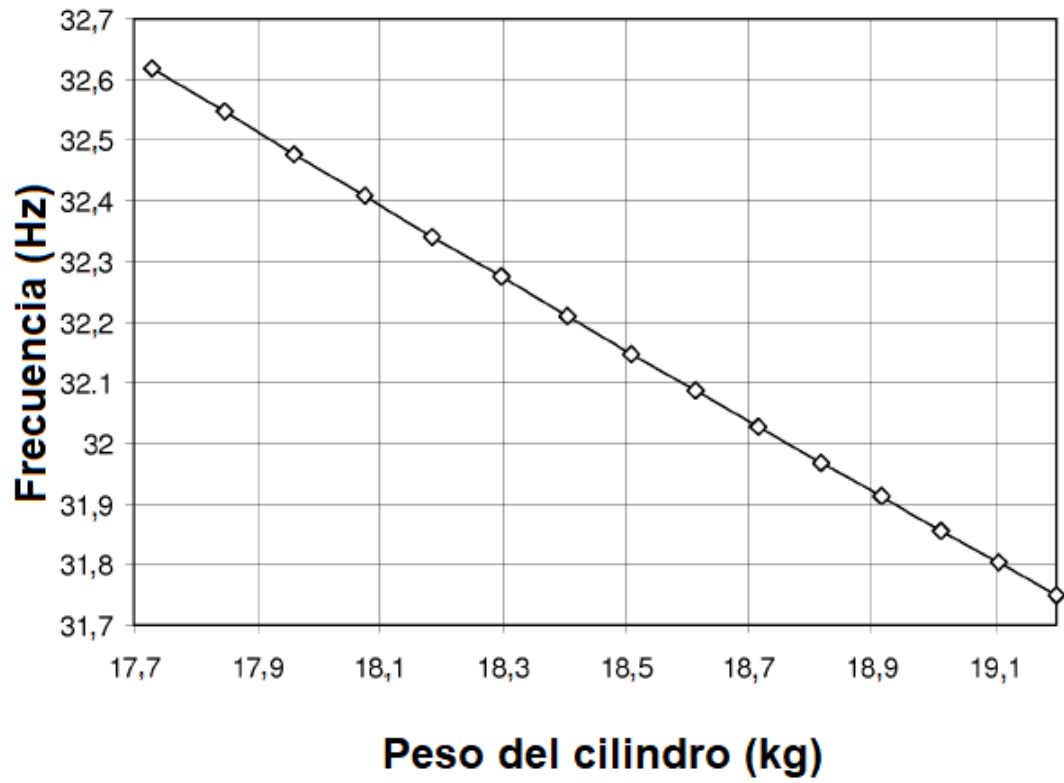
**Fig. 7**



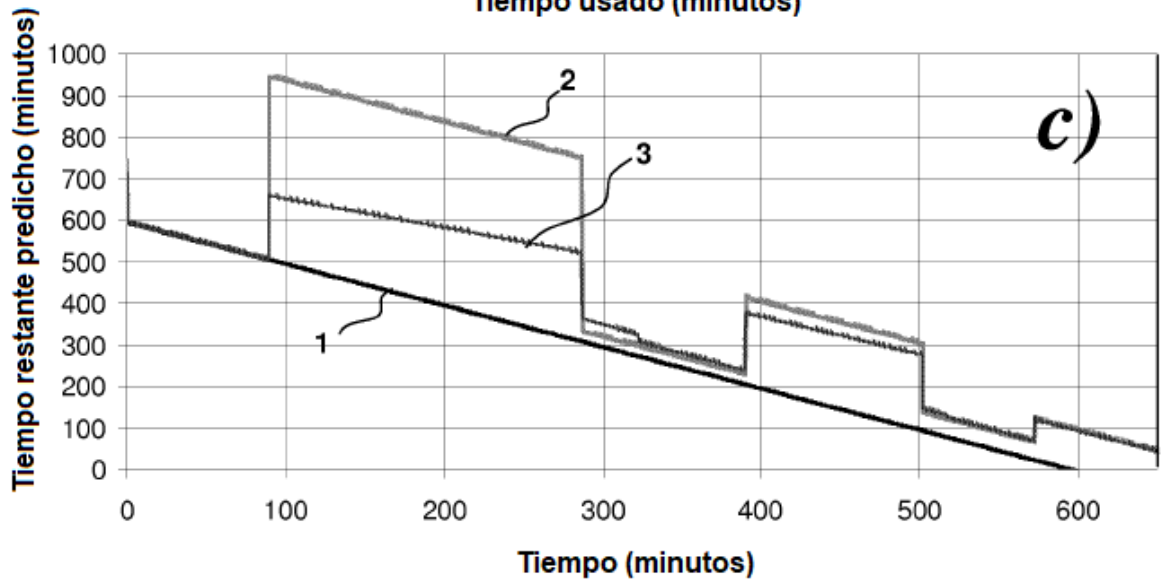
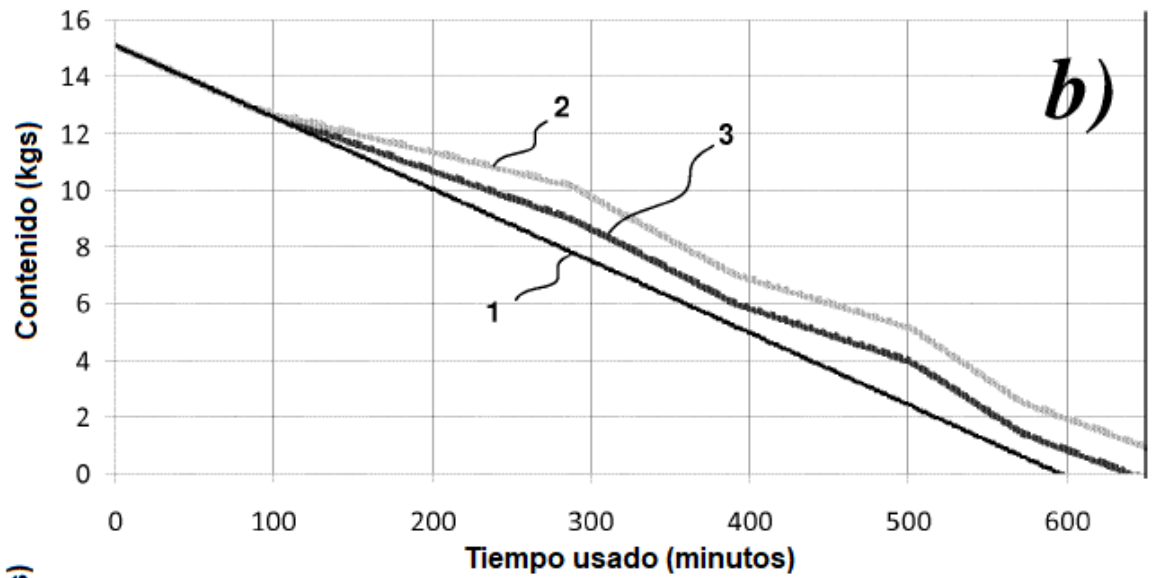
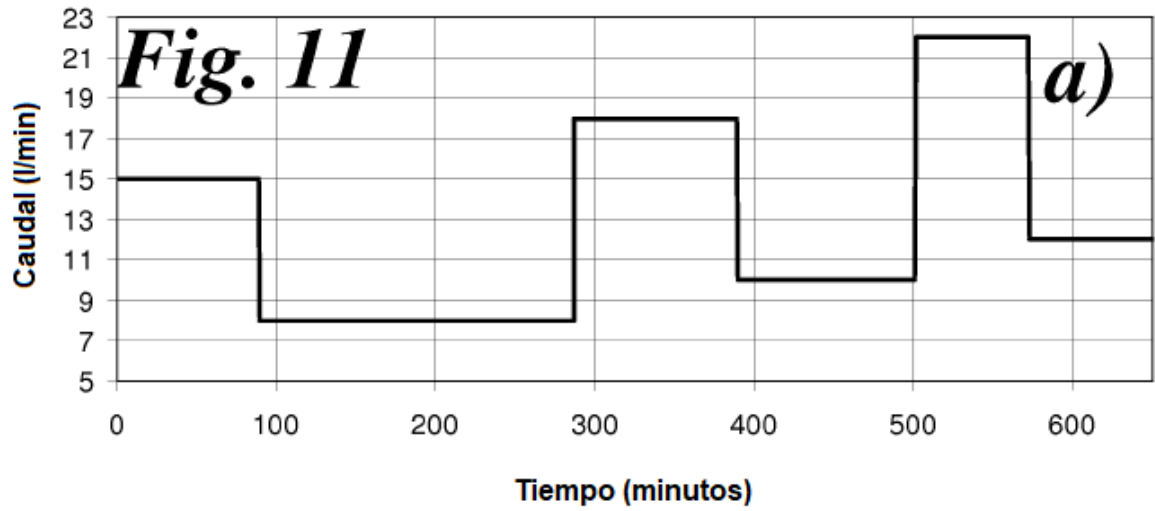
*Fig. 8*

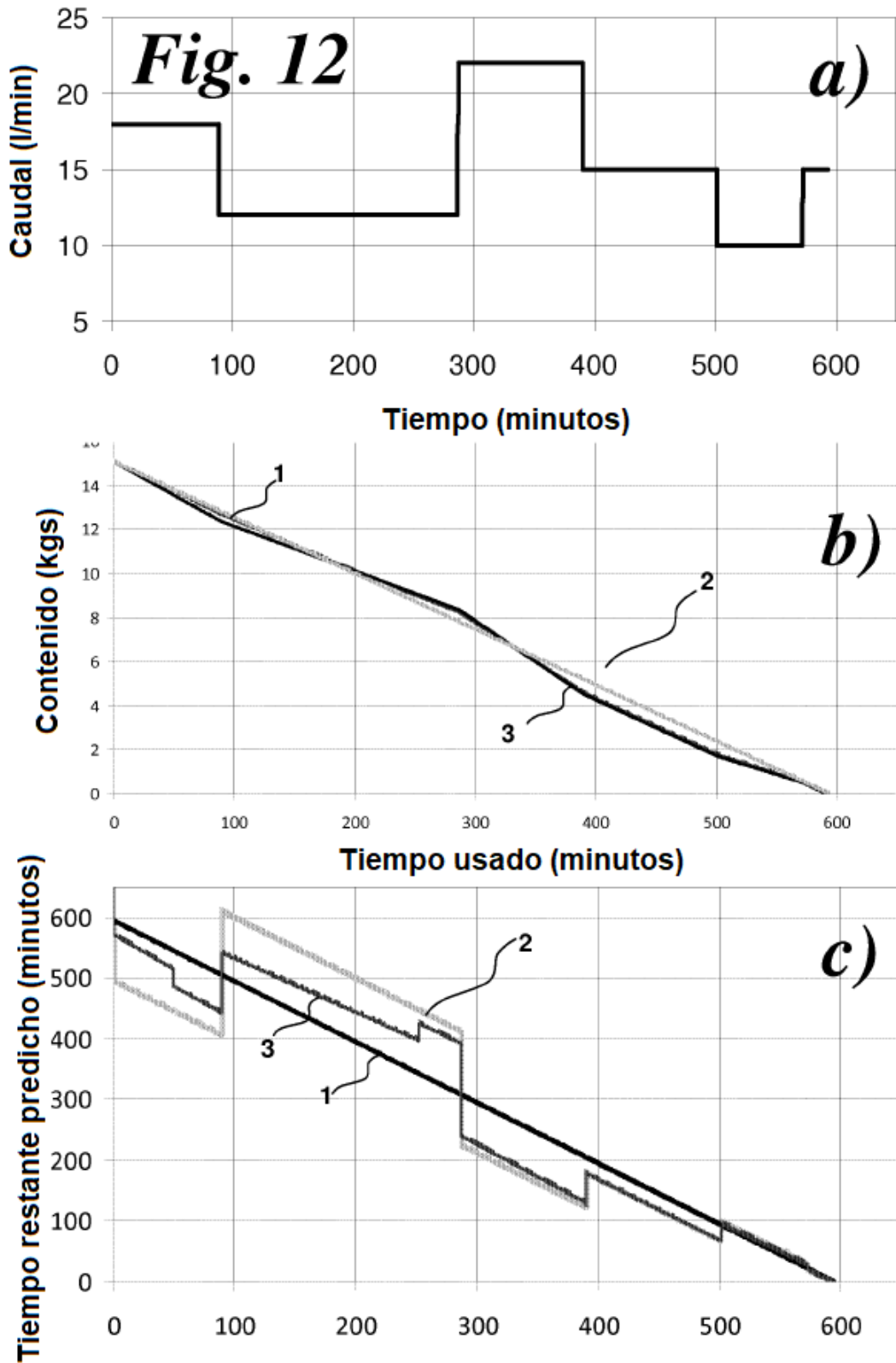


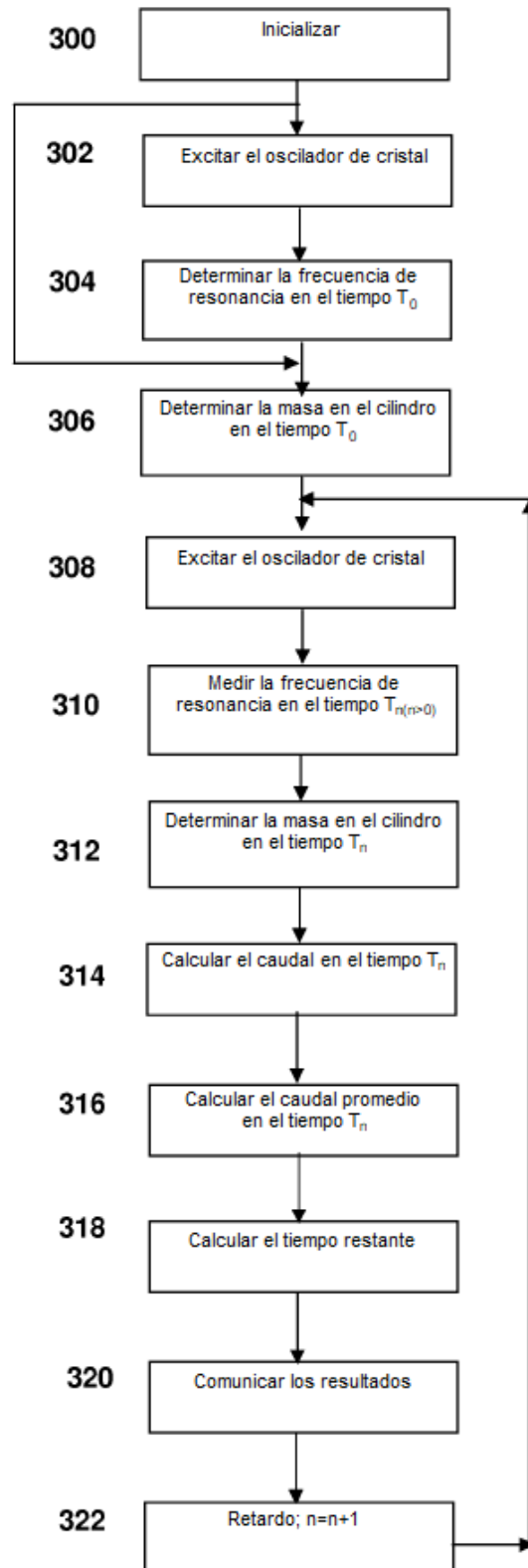
*Fig. 9*



***Fig. 10***







*Fig. 13*