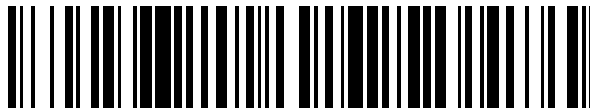


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 663 244**

51 Int. Cl.:

B01F 15/02 (2006.01)

B01F 15/04 (2006.01)

B01F 3/02 (2006.01)

G05B 15/00 (2006.01)

G05D 11/13 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2012** **E 12169396 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.12.2017** **EP 2667277**

54 Título: **Método y aparato para proporcionar una mezcla de gases**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.04.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

DOWNIE, NEIL ALEXANDER y
LEE, THOMAS DAVID MATTHEW

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 663 244 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para proporcionar una mezcla de gases

- 5 La presente invención se refiere a un método y a un aparato para proporcionar una mezcla de gases. Más particularmente, la presente invención se refiere a un método y a un aparato para proporcionar una mezcla de gases en la que la proporción de gases en la mezcla se determina y mantiene utilizando un oscilador de cristal piezoeléctrico.
- 10 Los métodos y aparatos que se describen en esta memoria pueden ser aplicados a sistemas en los que están presentes fluidos con una presión relativamente elevada (por ejemplo, de en torno a 10 bares o superior), tales como, por ejemplo, los de suministro de fluidos en cilindros a alta presión, o plantas de fabricación que utilizan fluidos a alta presión. La presente invención se refiere, en particular, a gases «limpios», es decir, gases con una
- 15 escasa o nula cantidad de impurezas o contaminantes tales como vapor de agua o polvo.
- 20 La presente invención es particularmente aplicable a gases permanentes. Los gases permanentes son gases que no pueden ser licuados únicamente mediante la presión, y, por ejemplo, pueden ser suministrados en cilindros a presiones de hasta 450 bar g (siendo bar g una medida de la presión en bares por encima de la presión atmosférica [bares manométricos]). Ejemplos de estos son el argón y el nitrógeno. Sin embargo, esto no ha de tomarse como limitativo, y el término «gas» puede ser considerado de manera que abarque un amplio abanico de gases, por ejemplo, tanto un gas permanente como un vapor o un gas licuado.
- 25 Los vapores de gases licuados se encuentran por encima del líquido en un cilindro de gas comprimido. Los gases que se licuan bajo presión a medida que son comprimidos para llenar un cilindro no son gases permanentes y se describen de manera más exacta como gases licuados a presión o como vapores de gases licuados. Como ejemplo de ellos, el óxido nitroso se suministra dentro de un cilindro en forma líquida, con una presión de vapor en el equilibrio de 44,4 bar g a 15°C. Tales vapores no son gases permanentes o verdaderos, ya que son licuables por una presión o temperatura en torno a las condiciones ambientales.
- 30 Un cilindro de gas comprimido es un recipiente a presión diseñado para contener gases a presiones elevadas, esto es, a presiones significativamente mayores que la presión atmosférica. Los cilindros de gas comprimido se utilizan en una amplia variedad de mercados, desde el mercado de la industria generalista de bajo coste, pasando por el mercado médico, hasta aplicaciones de coste más elevado, tales como la fabricación electrónica que se sirve de gases de especialidad corrosivos, tóxicos o pirofóricos de alta pureza. Por lo común, los recipientes de gas a presión
- 35 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 bar g para la mayoría de gases, y de hasta 900 bar g para gases tales como el hidrógeno y el helio.
- 40 En muchos casos, es deseable, y, en ocasiones, crucial, conocer el tipo de gas, ya sea en el interior de un cilindro, ya sea en un lugar aguas abajo de un cilindro; por ejemplo, en una tubería durante un procedimiento de soldadura. Un ejemplo de tal situación sería conocer cuándo se ha producido una purga.
- 45 Los pesos moleculares se miden, por lo común, utilizando espectrómetros de masas. Tales disposiciones miden la relación entre la masa y la carga de un gas con el fin de determinar de forma directa el peso molecular. Una disposición comúnmente utilizada es una fuente de desorción / ionización de láser, asistida matricialmente, en combinación con un analizador de masa por tiempo de vuelo (conocida como MALDI-TOF). Tales disposiciones, sin embargo, ocupan mucho espacio, son caras y resultan inadecuadas para muchas aplicaciones en las que la portabilidad y el coste pueden ser de relevancia.
- 50 El documento FR-A-2.940.624 se refiere a un mezclador de gases susceptible de hacerse funcionar para mezclar dos gases diferentes en una proporción fija y para controlar la presión de los mismos. Existe un sensor de presión situado aguas abajo de un mezclador de gases y que puede hacerse funcionar para controlar una válvula destinada a regular la presión del gas.
- 55 Un tipo alternativo de medidor que puede ser utilizado para medir pesos moleculares es un densitómetro de gas vibratorio tal como el mostrado y descrito en la divulgación “GD series Vibratory Gas Density Meters” (Densitómetros de gas vibratorios de la serie GD), Suzuki et al., Yokogawa Technical Report [Informe Técnico Yokogawa] Nº 29 (2000). Tal disposición comprende un cilindro metálico de pared delgada dispuesto de forma tal, que es capaz de fluir gas por el interior y por el exterior del cilindro. Dos pares de elementos piezoeléctricos están situados en el
- 60 cilindro –un par de elementos de accionamiento y un par de elementos de detección–. La densidad del gas se obtiene a partir de una medición de dos frecuencias de resonancia diferentes con el fin de compensar las variaciones debidas a la temperatura. Las frecuencias de resonancia utilizadas son muy bajas, del orden de unos pocos centenares de Hz.
- 65 La anterior disposición es compleja, relativamente cara y altamente vulnerable a los efectos de la vibración. Esto es

debido a que las frecuencias de resonancia que se utilizan son comparables a las frecuencias generadas por las vibraciones externas. Adicionalmente, se requiere una complicada disposición de excitación y detección para compensar los efectos de la temperatura.

5 Además, existe en la técnica la necesidad de proporcionar un flujo controlado de una mezcla de un gas. Los mezcladores de flujo de gas utilizan, por lo común, dos medidores de flujo másico para proporcionar un flujo medido de cada gas. Sin embargo, si bien el flujo másico de cada gas es conocido, no hay en la actualidad ningún método fiable para medir la composición de gas así producida, o el caudal de flujo total combinado. Existe, por lo tanto, en la tecnología el problema técnico de que no es posible proporcionar, utilizando disposiciones conocidas, el caudal de flujo o la presión, medidos de forma precisa, de una mezcla deseada de dos o más gases.

10 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona una disposición mezcladora de gases que comprende una primera fuente de aporte de gas para suministrar un primer gas; una segunda fuente de aporte de gas para suministrar un segundo gas, diferente de dicho primer gas; unas primera y segunda válvulas electrónicas para regular el flujo respectivo de los primer y segundo gases provenientes de las primera y segunda fuentes de aporte de gas; un mezclador; y una salida, de tal manera que el mezclador está situado aguas abajo con respecto a las primera y segunda válvulas electrónicas y dispuesto, durante el uso, para mezclar los primer y segundo gases con el fin de proporcionar un gas mezclado a la salida, de tal modo que la disposición mezcladora de gases comprende, adicionalmente, un medidor, comprendiendo el medidor: un primer conjunto sensor, susceptible de hacerse funcionar para determinar el peso molecular promedio del gas mezclado y que incluye un oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia, en contacto con el gas mezclado; un segundo conjunto sensor, susceptible de hacerse funcionar para determinar la presión del primer o del segundo gas aguas abajo con respecto a la válvula respectiva de las primera o segunda válvulas electrónicas, y aguas arriba del mezclador; y un controlador, susceptible de hacerse funcionar, en respuesta al peso molecular promedio del gas mezclado y a dicha presión de gas, para controlar automáticamente dichas primera y segunda válvulas electrónicas con el fin de controlar la proporción relativa de los primer y segundo gases de dicho gas mezclado y la presión o caudal de flujo másico del gas mezclado desde la salida.

20 En una realización, el segundo conjunto sensor comprende un segundo oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia, en contacto con el primer o el segundo gas aguas arriba del mezclador.

25 En una realización, la disposición mezcladora de gases comprende, adicionalmente, un tercer conjunto sensor, susceptible de hacerse funcionar para determinar la presión del gas aguas abajo con respecto al otro del primer o el segundo dispositivos de regulación de flujo. En una realización, el tercer conjunto sensor comprende un tercer oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia, en contacto con el otro del primer o segundo gas aguas arriba del mezclador.

30 En una realización, el primer conjunto sensor comprende, de manera adicional, un conducto a través del cual el gas mezclado fluye durante su uso, de tal manera que el conducto tiene un orificio de restricción de flujo aguas arriba de dicha salida, a través del cual se produce un flujo estrangulado durante el uso, de tal modo que el orificio de restricción de flujo divide el conducto en una porción de aguas arriba, situada aguas arriba con respecto a dicho orificio, y una porción de aguas abajo, en comunicación con la salida, de tal modo que dicho oscilador de cristal piezoeléctrico está situado en dicha porción de aguas arriba, siendo el primer conjunto sensor, adicionalmente, susceptible de hacerse funcionar para medir el caudal de flujo másico del gas mezclado a través de dicho orificio.

35 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método para proporcionar una mezcla de gases en una cierta proporción relativa utilizando una disposición mezcladora de gases, de tal manera que la disposición mezcladora de gases comprende una primera fuente de aporte de gas, destinada a suministrar un primer gas, una segunda fuente de aporte de gas, destinada a suministrar un segundo gas diferente de dicho primer gas, unas primera y segunda válvulas electrónicas para regular el flujo respectivo de los primer y segundo gases desde las primera y segunda fuentes de aporte de gas, un mezclador, situado aguas abajo de las primera y segunda válvulas electrónicas, una salida y unos primer y segundo conjuntos sensores, de tal manera que el primer conjunto sensor comprende un oscilador de cristal piezoeléctrico de alta frecuencia, en contacto con el gas mezclado, y el método comprende: a) recibir el primer gas desde la primera fuente de aporte de gas; b) recibir el segundo gas desde la segunda fuente de aporte de gas; c) mezclar el primer y el segundo gases para formar un gas mezclado; d) medir una frecuencia de resonancia del oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia en contacto con el gas mezclado; e) determinar, utilizando el segundo conjunto sensor, la presión del primer o del segundo gas aguas abajo con respecto a las respectivas primera o segunda válvulas electrónicas y aguas arriba del mezclador; f) determinar el peso molecular promedio del gas mezclado a partir de dicha frecuencia de resonancia y de dicha medida de la presión; y g) controlar automáticamente, en respuesta a dicho peso molecular promedio determinado y a dicha medida de la presión, dichas primera y segunda válvulas electrónicas con el fin de controlar la proporción relativa de dichos primer y segundo gases en dicho gas mezclado, y la presión o el caudal de flujo másico del gas mezclado desde la salida.

60 En una realización, el segundo conjunto sensor comprende un segundo oscilador de cristal piezoeléctrico plano de

- alta frecuencia y la etapa e) comprende medir una frecuencia de resonancia del segundo oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia en contacto con el primer o el segundo gas, aguas arriba del mezclador.
- 5 En una realización, la disposición mezcladora de gases comprende, de manera adicional, un tercer conjunto sensor y el método comprende, adicionalmente, de forma subsiguiente a la etapa e), h) determinar la presión del gas aguas abajo con respecto al otro de los primer o segundo dispositivos de regulación de flujo.
- 10 En una realización, el tercer conjunto sensor comprende un tercer oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia, en contacto con el otro del primer o segundo gas, aguas arriba del mezclador, y la etapa h) comprende medir una frecuencia de resonancia del tercer oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia en contacto con el primer o segundo gas, aguas arriba del mezclador.
- 15 En una realización, el primer conjunto sensor comprende, adicionalmente, un conducto a través del cual el gas mezclado fluye durante el uso, de tal manera que el conducto tiene un orificio de restricción de flujo aguas arriba de dicha salida, a través del cual se produce un flujo estrangulado durante el uso, de tal manera que el orificio de restricción de flujo divide el conducto en una porción de aguas arriba, situada aguas arriba de dicho orificio, y una porción de aguas abajo, en comunicación con la salida, de tal modo que el método comprende, adicionalmente: i) determinar, a partir de la frecuencia de resonancia, el caudal de flujo másico de gas a través de dicho orificio.
- 20 En una realización, el método comprende, de manera adicional, medir la temperatura del gas con un sensor de temperatura. En una realización, el sensor de temperatura comprende un termistor o una resistencia dependiente de la temperatura. En una realización, dicho oscilador de cristal piezoeléctrico comprende al menos dos ramas planas. Un oscilador de cristal plano es compacto y robusto y, como resultado de ello, resulta relativamente inafectado por las perturbaciones ambientales. Por otra parte, debido a que la frecuencia de oscilación del oscilador es elevada (del orden de los kHz), el oscilador se ve relativamente inafectado por vibraciones localizadas (que tienden a tener frecuencias del orden de los Hz). Esto está en contraste con las disposiciones de detección de peso molecular conocidas.
- 25 En una realización, el cristal de cuarzo está cortado en AT o cortado en SC.
- 30 En una variante, la superficie del cristal de cuarzo está directamente expuesta al gas.
- 35 En una realización, dicho oscilador de cristal piezoeléctrico tiene una frecuencia de resonancia de 32 kHz o mayor.
- 40 En una realización, el conjunto sensor comprende una fuente de suministro de energía. En una realización, la fuente de suministro de energía comprende una batería de litio.
- 45 En una realización, el conjunto sensor comprende un procesador.
- 50 En una realización, el medidor comprende, de manera adicional, uno o más de entre un circuito de excitación y un procesador y una fuente de suministro de energía.
- 55 En una realización, el conjunto sensor comprende un circuito de excitación que comprende un par Darlington dispuesto en una configuración de realimentación desde un amplificador en emisor común.
- 60 En una realización, el medidor comprende, adicionalmente, un sensor de presión destinado a medir la presión del gas.
- 65 En una realización, dicho sensor de presión es un sensor de presión electrónico. En una realización, el sensor de presión electrónico comprende un sensor de diafragma piezorresistivo.
- En una realización, el cristal de cuarzo comprende al menos una rama. En una variante, el cristal de cuarzo comprende un par de ramas planas.
- En una realización, el cristal de cuarzo está cortado en AT o cortado en SC.
- En una variante, la superficie del cristal de cuarzo está directamente expuesta al gas.
- En una realización, el oscilador de cristal piezoeléctrico tiene una frecuencia de resonancia de 32 kHz o superior.
- En una realización, el medidor comprende un filtro situado en la entrada. En una realización, el filtro tiene un tamaño de los poros comprendido en el intervalo entre 5 μm y 10 μm .
- En una realización, el medidor comprende un elemento calentador situado dentro del alojamiento. En una realización, el elemento calentador está situado en posición adyacente al oscilador de cristal piezoeléctrico. En una

realización adicional, el elemento calentador está situado en contacto con el oscilador de cristal piezoeléctrico.

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

5 En una realización, el conjunto sensor comprende un procesador.

En una realización, el medidor comprende un dispositivo de presentación visual.

10 En una realización, el medidor comprende una antena conectada al conjunto sensor y dispuesta para permitir una transmisión inalámbrica de los datos desde el medidor. En una realización, el medidor es susceptible de hacerse funcionar para transmitir datos inalámbricos a una unidad de presentación visual distante.

15 De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un producto de programa informático ejecutable por un aparato de procesamiento programable, que comprende una o más partes de software que llevan a cabo las etapas del primer aspecto.

20 De acuerdo con un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un medio de almacenamiento utilizable por una computadora, el cual tiene, almacenado en el mismo, un producto de programa informático de acuerdo con el cuarto aspecto.

Se describirán, a continuación, en detalle realizaciones de la presente invención, con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

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

La Figura 2 es un diagrama esquemático que muestra un conjunto regulador y una primera realización de un medidor de peso molecular;

La Figura 3 es un diagrama esquemático que muestra un conjunto regulador y una segunda realización de un medidor de peso molecular;

30 La Figura 4 es un diagrama esquemático que muestra un conjunto regulador y una tercera realización de un medidor de peso molecular;

La Figura 5 es un diagrama esquemático que muestra una cuarta realización de un medidor de peso molecular;

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

La Figura 7 es un diagrama esquemático que muestra una alternativa del circuito de excitación para uso con cualquiera de las primera a cuarta realizaciones;

La Figura 8 es un diagrama esquemático que muestra una alternativa adicional del circuito de excitación para uso con cualquiera de las primera a cuarta realizaciones;

40 La Figura 9 es un diagrama esquemático que muestra los parámetros suministrados como entrada y suministrados como salida de un procesador para uso con cualquiera de las primera a cuarta realizaciones;

La Figura 10 muestra un gráfico de la frecuencia del cristal de cuarzo (kHz) en el eje Y, en función de la densidad (kg/m^3) para un cierto número de gases diferentes;

45 La Figura 11 muestra un gráfico de la densidad del gas (en kg/m^3) en el eje Y, en función de la presión (bar g [bares manométricos]), en el X, para el argón, el oxígeno y una mezcla de argón : dióxido de carbono : oxígeno a presiones de hasta 300 bar g;

La Figura 12 muestra un gráfico de la densidad del gas (en kg/m^3) en el eje Y, en función de la presión (bar g), en el eje X, para el argón, el oxígeno y una mezcla de argón : dióxido de carbono : oxígeno a presiones de hasta 100 bar g;

50 La Figura 13 es un gráfico que muestra el cambio en la frecuencia (en Hz) en el eje Y, en función del tiempo (en segundos), en el eje X, cuando se purgan los gases;

La Figura 14 es un gráfico correspondiente a la Figura 13, que muestra el cambio calculado en peso molecular (en el eje Y) en función del tiempo (en segundos), en el eje X;

La Figura 15 es un diagrama de flujo que ilustra un método de acuerdo con una realización descrita;

55 La Figura 16 muestra un diagrama esquemático de una realización de la presente invención, que muestra una disposición mezcladora de gases;

La Figura 17 muestra un diagrama esquemático de una realización adicional de la presente invención, que muestra una disposición mezcladora de gas;

60 La Figura 18 muestra un diagrama esquemático de una realización adicional de la presente invención, que muestra una disposición mezcladora de gas;

La Figura 19 muestra un diagrama esquemático de una realización adicional de la presente invención, que muestra una disposición mezcladora de gases;

La Figura 20 muestra un conjunto de flujo másico para uso con las realizaciones de las Figuras 19 y 23;

65 La Figura 21 muestra un conjunto de flujo másico alternativo para uso con las realizaciones de las Figuras 19 y 23;

La Figura 22 muestra un gráfico de la frecuencia del cristal en función del caudal de flujo másico;
 La Figura 23 muestra un diagrama esquemático de una realización adicional de la presente invención, que muestra una disposición mezcladora de gases;
 La Figura 24 muestra un gráfico del comportamiento en frecuencia de diferentes tipos de cristales;
 La Figura 25 es un diagrama esquemático que muestra un conjunto sensor alternativo que comprende dos cristales de cuarzo; y
 La Figura 26 muestra una disposición alternativa que utiliza una unidad de datos electrónica distante.

5
 10 La Figura 1 muestra una vista esquemática de una situación en la cual puede utilizarse la presente invención. Se proporcionan un cilindro de gas 100, un regulador 150 y un medidor de peso molecular 200.

15 El cilindro de gas 100 tiene un cuerpo 102 de cilindro de gas y una válvula 104. El cuerpo 102 de cilindro de gas comprende un recipiente a presión generalmente cilíndrico que tiene una base plana 102a, dispuesta para permitir que el conjunto de cilindro de gas 10 permanezca erguido, sin soporte, sobre una superficie plana.

20 El cuerpo 102 de cilindro de gas está hecho de acero, aluminio y/o material compuesto y se ha configurado y dispuesto para soportar presiones internas de hasta aproximadamente 900 bar g. Existe una abertura 106, situada en un extremo proximal, o más cercano, del cuerpo 102 de cilindro de gas, opuestamente a la base 102, y que comprende una rosca (no mostrada) configurada para recibir la válvula 10.

25 El cilindro de gas 100 define un recipiente a presión que tiene un volumen interno V. Cualquier fluido adecuado puede contenerse dentro del cilindro 100. Sin embargo, la presente realización se refiere, aunque no está exclusivamente limitada a, gases permanentes purificados que carecen de impurezas tales como polvo y/o humedad. Ejemplos no exhaustivos de tales gases pueden ser: oxígeno, nitrógeno, argón, helio, hidrógeno, metano, trifluoruro de nitrógeno, monóxido de carbono, kriptón o neón.

30 La válvula 104 comprende un alojamiento 108, una salida 110, un cuerpo 112 de válvula y un asiento 114 de válvula. El alojamiento 108 comprende una rosca complementaria para acoplamiento con la abertura 106 del cuerpo 102 de cilindro de gas. La salida 110 se ha configurado y dispuesto para permitir que el cilindro 100 sea conectado a otros componentes de un conjunto gasístico; por ejemplo, mangueras, tuberías, o válvulas de presión o reguladores adicionales. La válvula 104 puede, opcionalmente, comprender una VIPR (válvula con reducción de presión integrada –“Valve with Integrated Pressure Reduction”–). En esta situación, el regulador 150 puede ser omitido.

35 El cuerpo 112 de válvula puede ser axialmente ajustado hacia el asiento 114 de válvula o en alejamiento de este por medio de la rotación de una maneta asible 116 de forma selectiva para abrir o cerrar la salida 110. En otras palabras, el movimiento del cuerpo 112 de válvula hacia el asiento 114 de válvula o en alejamiento de este controla selectivamente el área del paso de comunicación entre el interior del cuerpo 102 de cilindro de gas y la salida 110. Esta, a su vez, controla el flujo de gas desde el interior del conjunto 100 de cilindro de gas hacia el entorno exterior.

40 Un regulador 150 está situado aguas abajo de la salida 110. El regulador 150 tiene una entrada 152 y una salida 154. La entrada 152 del regulador 150 está conectada a una tubería de entrada 156 que proporciona un camino de comunicación entre la salida 110 del cilindro de gas 100 y el regulador 150. La entrada 152 del regulador 150 se ha dispuesto para recibir gas a una presión elevada desde la salida 110 del cilindro de gas 100. Esta puede ser cualquier presión adecuada; sin embargo, generalmente, la presión del gas que sale por la salida 110 se encontrará por encima de 20 bar y, más probablemente, estará en la región entre 100 bar y 900 bar.

45 La abertura de salida 154 está conectada a una tubería de salida 158. Existe un acoplamiento 160, situado en el extremo distal, o más alejado, de la tubería de salida 158 y que se ha configurado para su conexión a tuberías o dispositivos adicionales (no mostrados) para los que se requiere el gas.

50 Un medidor de peso molecular 200 se encuentra situado en comunicación con la tubería de salida 158, entre la salida 154 y el acoplamiento 160. El medidor de peso molecular 200 está situado inmediatamente aguas abajo del regulador 150 y se ha dispuesto para determinar el peso molecular del gas (o el peso molecular promedio de una mezcla de gases) aguas abajo del regulador 150.

55 El regulador 150 y el medidor de peso molecular 200 se muestran con mayor detalle en la Figura 2.

60 En esta realización, el regulador 150 comprende un único regulador de diafragma. Sin embargo, la persona experta se apercebirá fácilmente de las variantes que pueden utilizarse con la presente invención; por ejemplo, un regulador de dos diafragmas u otra disposición.

65 El regulador 150 comprende una región 162 de válvula, en comunicación con la entrada 152 y con la salida 154. La región 162 de válvula comprende una válvula de asiento 164 situada en posición adyacente a un asiento 166 de válvula. La válvula de asiento 164 está unida a un diafragma 168 que se ha configurado para permitir el movimiento de traslación de la válvula de asiento 164 hacia el asiento 166 de válvula y en alejamiento de este, con el fin de

cerrar y abrir, respectivamente, una abertura 170 situada entre ellos. El diafragma 168 está cargado elásticamente por medio de un resorte 172 situado en torno a un vástago 174.

5 El regulador 150 es susceptible de hacerse funcionar para recibir gas desde la salida 110 a toda la presión del cilindro (por ejemplo, 100 bar), pero para entregar el gas a una presión a una baja presión fijada y sustancialmente constante (por ejemplo, 5 bar) a la salida 154. Esto se consigue gracias a un mecanismo de realimentación en virtud del cual la presión del gas aguas abajo de la abertura 170 es susceptible de hacerse operar de manera que actúe sobre el diafragma 168 en oposición a la fuerza de carga del resorte 172. En la realización de la Figura 2, el regulador 150 es un regulador de presión fija y se ha dispuesto para entregar gas desde la salida 154 a una presión fijada y conocida. La presión viene determinada por la fuerza de carga relativa del resorte 172.

10 En el caso de que la presión del gas en la región adyacente al diafragma 168 supere la magnitud especificada, el diafragma 168 es susceptible de hacerse funcionar para moverse hacia arriba (con respecto a la Figura 2). Como resultado de ello, la válvula de asiento 164 es movida acercándola al asiento 166 de válvula, con lo que se reduce el tamaño de la abertura 170 y, en consecuencia, se restringe el flujo de gas de la entrada 152 a la salida 154. En general, las fuerzas en competencia de la resistencia del resorte 172 y la presión del gas tendrán como resultado una posición de equilibrio del diafragma y, en consecuencia, la entrega de una presión constante de gas en la salida 154.

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

30 Alternativamente, el alojamiento 202 puede proporcionarse como parte de la tubería de salida 158. Por ejemplo, una parte de la tubería de salida 158 puede estar ensanchada para dar acomodo al conjunto sensor 204. Alternativamente, puede situarse tan solo una parte del conjunto sensor 204 dentro de la tubería 158, de manera que el resto se sitúe por fuera o separado del mismo.

35 Adicionalmente, el alojamiento 202 puede constituir una parte integral del regulador 150. Por ejemplo, el conjunto sensor 204 puede estar situado enteramente dentro de la salida 154 del regulador 150. La persona experta se percibirá fácilmente de las variantes y alternativas que caen dentro del alcance de la presente invención.

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

45 El circuito de excitación 212 y el oscilador de cristal de cuarzo 210 se describirán en detalle más adelante con referencia a las Figuras 6 y 7. El sensor de temperatura 214 comprende un termistor. Puede utilizarse cualquier termistor adecuado. No es necesaria una alta precisión por parte del termistor. Por ejemplo, una precisión de 0,5°C es adecuada para esta realización. En consecuencia, es posible utilizar componentes baratos y pequeños.

Puede también proporcionarse un procesador 230 (que se muestra y describe más adelante con referencia a la Figura 8), ya sea por separado o formando parte del circuito de excitación 212.

50 En esta disposición, el oscilador de cristal de cuarzo 210 está constantemente bajo presión isostática dentro del alojamiento 202 del medidor de peso molecular 200 y, en consecuencia, no experimenta ningún gradiente de presiones. En otras palabras, cualquier esfuerzo mecánico que se origine por la diferencia de presiones entre la atmósfera exterior y los componentes internos del medidor de peso molecular 202, se expresa a través del alojamiento 202.

55 Esto no es, sin embargo, necesariamente así. Por ejemplo, es posible situar únicamente el oscilador de cristal de cuarzo 210 y el sensor de temperatura 214 dentro del alojamiento 202, de manera que el resto del conjunto sensor 204 se sitúe externamente al mismo.

60 Los inventores han encontrado que tan solo unos pocos componentes del conjunto sensor 204 son sensibles a la presión elevada. En particular, los componentes de mayor tamaño, como las baterías, pueden ser afectables por las altas presiones. Sin embargo, se ha encontrado que las baterías de litio se comportan particularmente bien bajo las altas presiones que se dan en el interior del cilindro de gas 100. En consecuencia, la batería 216 comprende celdas de litio. Sin embargo, se contemplarían evidentemente fuentes de suministro de energía adecuadas alternativas por parte de la persona experta.

65

5 La posición del conjunto sensor 204 totalmente dentro del alojamiento 202 proporciona una flexibilidad adicional a la hora de configurar los reguladores 150. En particular, el emplazamiento de componentes electrónicos relativamente frágiles por completo dentro de las fuertes paredes de metal o material compuesto del alojamiento 202 proporciona una considerable protección frente a daños medioambientales o accidentales. Esto es particularmente importante, por ejemplo, en zonas o depósitos de almacenamiento, en los que cilindros de gas 100 que comprenden reguladores 150 se sitúan adyacentes a cilindros de gas, maquinaria pesada o superficies rugosas.

10 Adicionalmente, la posición interna del conjunto sensor 204 protege estos componentes de condiciones ambientales tales como la presencia de sal, agua y otros contaminantes. Esta permitiría, por ejemplo, el uso de un circuito de alta impedancia que es altamente sensible a los daños por sal o por agua, como parte del conjunto sensor 204.

15 Los beneficios del emplazamiento interno del conjunto sensor 204 son exclusivos de los dispositivos sensores de estado sólidos tales como el oscilador de cristal de cuarzo 201. Por ejemplo, un sensor de presión convencional tal como una sonda de Bourdon no puede ser emplazado de esta manera. Si bien un sensor basado en cristal puede funcionar totalmente inmerso en gas a presión constante, un sensor de presión convencional es incapaz de medir presión isostática y requiere un gradiente de presiones para funcionar. En consecuencia, una sonda de presión convencional ha de situarse entre la alta presión que se ha de medir y la atmósfera. Esto aumenta el riesgo de daños en los componentes externos del medidor de peso molecular 200.

20 En la Figura 3 se muestra una segunda realización del medidor de peso molecular. A las características de la segunda realización mostrada en la Figura 3 que son comunes con la primera realización de la Figura 2 se les han asignado los mismos números de referencia, y estas no se describirán otra vez en esta memoria.

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

30 A este respecto, se ha proporcionado una maneta asible 252 para permitir a un usuario ajustar la fuerza de carga del resorte 172. Este mueve la posición de equilibrio del diafragma 168 y, como resultado de ello, ajusta la separación de equilibrio entre la válvula de asiento 164 y el asiento 166 de válvula. Esto hace posible el ajuste de las dimensiones de la abertura 170 a través de la cual puede pasar el flujo de gas a alta presión procedente de la salida 110.

35 La presión puede, por lo común, ser variada hasta aproximadamente 20 bar g. Sin embargo, la persona experta se apercebirá fácilmente de disposiciones y presiones alternativas que pueden suministrarse por parte del regulador 250. Por otra parte, el regulador puede comprender etapas secundarias para uso en situaciones tales como soldadura con oxiacetileno, en las que se requiere una regulación precisa de la presión.

40 La segunda realización comprende un medidor de peso molecular 300. A los componentes del medidor de peso molecular 300 que son comunes con el medidor de peso molecular 200 se les han asignado los mismos números de referencia por claridad.

45 El medidor de peso molecular 300 es sustancialmente similar al medidor de peso molecular 200 de la primera realización. Sin embargo, el medidor de peso molecular 300 comprende, de manera adicional, un sensor de presión 302 emplazado dentro del alojamiento 202. Puede utilizarse cualquier sensor de presión adecuado.

50 Por ejemplo, el sensor de presión 302 puede comprender un sensor de diafragma piezorresistivo. Tal sensor de presión comprende, por lo común, un diafragma de silicio mecanizado que tienen unas galgas extensométricas piezorresistivas formadas en su interior. El diafragma se ha adherido por fusión a una placa trasera de silicio o vidrio. Las galgas extensométricas son comúnmente conectadas para formar un puente de Wheatstone, cuya salida es directamente proporcional a la presión medida. La salida del sensor de presión 302 puede ser entonces suministrada como entrada al procesador 230.

55 La persona experta se apercebirá fácilmente de sensores de presión electrónicos alternativos que pueden ser utilizados con la presente invención. En otras palabras, el sensor de presión 302 puede comprender cualquier sensor capaz de medir la presión de un gas y proporcionar una salida electrónica de esa medición.

60 En esta disposición, el oscilador de cristal de cuarzo 210 y el sensor de presión 302 están constantemente bajo presión isostática dentro del alojamiento 202 del medidor de peso molecular 200 y, en consecuencia, no experimentan ningún gradiente de presiones. En otras palabras, cualquier esfuerzo mecánico que se origine por la diferencia de presiones entre la atmósfera exterior y los componentes internos del medidor de peso molecular 300, se expresa a través del alojamiento 202.

65 En la Figura 4 se muestra una tercera realización de la invención. A las características de la tercera realización mostradas en la Figura 4 que son comunes con la segunda realización de la Figura 3 se les han asignado los mismos números de referencia y no se describirán aquí de nuevo.

En la realización de la Figura 4, el regulador 250 se corresponde con el regulador 250 de la segunda realización y se ha dispuesto para proporcionar una presión de salida variable de gas desde la salida 154. Los componentes del regulador 250 ya han sido descritos y no se describirán adicionalmente aquí.

5 La tercera realización comprende un medidor de peso molecular 400. A los componentes del medidor de peso molecular 400 que están en común con los medidores de peso molecular 200, 300 se les han asignado los mismos números de referencia por claridad.

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

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

20 Un extremo distal 406 del conducto 402 desemboca en la atmósfera. El extremo distal 406 está situado al final de una sección del conducto 402 aguas abajo del alojamiento 202. Para aplicaciones típicas, un conducto 402 que sea adecuado tendrá un ánima, o diámetro interior, en la región de 2 mm y una longitud de en torno a 100 mm. Ello es para garantizar que no haya retrodifusión de gases atmosféricos al interior 206 del alojamiento 202, a fin de evitar posibles errores de medición.

25 Si bien el conducto 402 se ha mostrado como esencialmente rectilíneo en la Figura 4, el conducto 402 puede ser de cualquier forma adecuada. Por ejemplo, una disposición más compacta consistiría en disponer el conducto 402 con la forma de un laberinto o bobina al objeto de ajustar el conducto en un menor espacio.

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

35 Como resultado de ello, no se requiere ninguna sonda de presión, puesto que puede siempre suponerse que la presión tendrá el valor de la presión atmosférica. En el caso de que se requiera una corrección (por ejemplo, cuando se opera a altitudes elevadas en las que la presión atmosférica es más baja), esta puede introducirse manualmente al procesador 230.

40 Por lo tanto, bajo condiciones particulares, no es necesario ningún sensor de presión, ya que el valor de la presión puede ser establecido automáticamente o introducido manualmente por un usuario, y el valor de presión resultante puede ser utilizado por el microprocesador 230 para determinar el peso molecular del gas o gases que se están detectando.

45 En la Figura 5 se muestra una cuarta realización de un medidor de peso molecular. La cuarta realización se refiere a un medidor de peso molecular 500. El medidor de peso molecular 500 es sustancialmente similar a los medidores de peso molecular 200, 300, 400 de las primera y segunda realizaciones. Sin embargo, el medidor de peso molecular 500 es susceptible de hacerse funcionar con un regulador de presión variable 250 (u otra fuente de gas de presión variable), sin requerir el sensor de presión 302 de la segunda realización.

50 El medidor de peso molecular 500 es susceptible de hacerse funcionar en situaciones en las que se ventea gas a la atmósfera, por ejemplo un aparato de soldadura de gas inerte al metal (MIG –“Metal Inert Gas”–). El medidor de peso molecular 500 está lo suficientemente lejos, a lo largo del conducto 158, del regulador 150 y está lo suficientemente cerca de la salida atmosférica 160 para garantizar que las condiciones de presión en el alojamiento 202 son las atmosféricas.

55 Además de las disposiciones de medidores de peso molecular 200, 300, 400, se ha proporcionado un segundo conjunto sensor 504 que comprende un oscilador de cristal de cuarzo 510, conectado a un segundo circuito de excitación 512 y a una segunda batería 516. El segundo circuito de excitación 512 y la segunda batería 516 son sustancialmente similares al circuito de excitación 212 y a la batería 216, y no se describirán adicionalmente aquí.

60 El segundo oscilador de cristal de cuarzo 510 está expuesto a la atmósfera exterior a través de un alojamiento abierto 518. El alojamiento 518 es capaz de asumir la función de proteger el segundo oscilador de cristal de cuarzo

65

510 de los daños mecánicos, pero dejar que el segundo oscilador de cristal de cuarzo 510 quede expuesto a la atmósfera. El alojamiento 518 puede comprender un alojamiento cubierto y provisto de un orificio pasante practicado en el extremo distal del mismo.

5 El segundo conjunto sensor 504 (que incluye el oscilador de cristal de cuarzo 510) se proporciona para permitir una determinación precisa de la presión atmosférica. Si bien la realización de la Figura 4 puede resultar eficaz bajo ciertas condiciones, la variabilidad de la presión atmosférica puede conducir a errores en la determinación del peso molecular. Esto es de particular importancia si se están utilizando mezclas de gases (como se describe en realizaciones ulteriores) y en el caso de que los medidores de peso molecular de realizaciones anteriores puedan proporcionar una medición inexacta.

10 Como se describirá más adelante, el segundo oscilador de cristal de cuarzo 510 resuena a una frecuencia que es proporcional a la densidad del gas. Sin embargo, la composición de gases del aire es bien conocida y generalmente constante. Por lo tanto, utilizando la ecuación 7) como se establece más adelante, la presión puede ser determinada a partir de la densidad, conocida, y del peso molecular, conocido. Esta disposición proporciona una precisión mejorada, es de bajo coste de fabricación y tiene un tamaño pequeño.

15 Los restantes componentes del medidor de peso molecular 500 son similares a los de los medidores de peso molecular 200, 300, 400 de las primera a cuarta realizaciones, y no se describirán adicionalmente aquí.

20 Cualquiera de las primera a cuarta realizaciones puede comprender, de manera adicional, un dispositivo de presentación visual (no mostrado) destinado a mostrar a un usuario los resultados de las mediciones efectuadas en el gas detectado. Alternativamente, el dispositivo de presentación visual puede emplazarse en posición distante de los medidores de peso molecular 200, 300, 400 y los datos relevantes pueden ser comunicados a distancia.

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

30 La antena, en sí, puede configurarse y disponerse de manera que utilice cualquier protocolo de comunicación adecuado; por ejemplo, una lista no exhaustiva puede ser RFID [identificación por radiofrecuencia –“Radio Frequency Identification”–], Bluetooth, infrarrojos (IR), inalámbrico 802.11, transmisión de modulación en frecuencia (FM –“frequency modulation”–) o una red celular.

35 Alternativamente, puede implementarse la comunicación por cable único. La comunicación por un solo cable tan solo requiere un único conductor metálico para comunicarse: el camino «de retorno» del circuito viene proporcionado por el acoplamiento capacitivo a través del aire entre los dispositivos en comunicación. La persona experta se apercebirá fácilmente de alternativas para la antena (y el hardware de transmisión asociado) que pudieran utilizarse con las realizaciones que se exponen en esta memoria.

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

45 Se requiere también un receptor complementario, y este componente puede emplazarse en posición distante del medidor de peso molecular 200, 300, 400, 500 y puede comprender hardware tal como, por ejemplo, un receptor de tonos de bucle bloqueado en fase, integrado con un micrófono.

50 Se describirá, a continuación, con mayor detalle conjunto sensor 204 con referencia a las Figuras 6 y 7. El oscilador de cristal de cuarzo 210 comprende una sección plana de cuarzo cortado. El cuarzo exhibe un comportamiento piezoeléctrico; esto es, la aplicación de una tensión eléctrica o voltaje a través del cristal hace que el cristal cambie de forma, generando una fuerza mecánica, y a la inversa, una fuerza mecánica aplicada al cristal produce una carga eléctrica.

55 Dos superficies paralelas del oscilador de cristal de cuarzo 210 están metalizadas con el fin de proporcionar conexiones eléctricas a través del volumen del cristal. Cuando se aplica una tensión a través del cristal por medio de los contactos de metal, el cristal cambia de forma. Mediante la aplicación de una tensión alterna al cristal, puede hacerse que el cristal oscile.

60 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 210 es inversamente proporcional al espesor físico entre las dos superficies metalizadas. Los osciladores de cristal de cuarzo son bien conocidos en la técnica y, por consiguiente, no se describirá adicionalmente aquí la estructura del oscilador de cristal de cuarzo 210.

65

Adicionalmente, la frecuencia de vibración resonante de un cristal de cuarzo variará dependiendo del entorno en que esté situado el cristal. En un vacío, el cristal tendrá una frecuencia particular. Sin embargo, esta frecuencia cambiará en entornos diferentes. Por ejemplo, en el seno de un fluido, la vibración del cristal se verá amortiguada por las moléculas circundantes, y ello afectará a la frecuencia de resonancia y a la energía necesaria para hacer oscilar el cristal con una amplitud dada.

Por otra parte, la deposición de materiales circundantes sobre el cristal afectará a la masa del cristal vibrante, lo que alterará la frecuencia de resonancia. Tal adsorción o deposición de material constituye la base de los analizadores de gas selectivos que se utilizan habitualmente, en los cuales se forma una capa de absorción sobre el cristal, y este aumenta su masa a medida que se absorbe el gas.

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

Como se muestra en la Figura 6, el oscilador de cristal de cuarzo 210 de la presente realización tiene forma de horquilla sintonizable y comprende un par de ramas 210a de aproximadamente 5 mm de largo, dispuestas de manera que oscilan a una frecuencia de resonancia de 32,768 kHz. Las ramas 210a se han formado en la sección plana del cuarzo. Las ramas 210a de la horquilla oscilan normalmente en su modo fundamental, en el que se mueven sincrónicamente hacia y en alejamiento la una con respecto a la otra a la frecuencia de resonancia.

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

De manera adicional, es deseable utilizar cuarzo que esté cortado en AT o cortado en SC. En otras palabras, la sección plana del cuarzo se corta en ángulos concretos, de tal manera que el coeficiente térmico de la frecuencia de oscilación puede disponerse de modo que sea parabólico, con un ancho pico en torno a la temperatura de la sala. Por tanto, el oscilador de cristal puede disponerse de tal manera que la pendiente en la parte superior del pico sea precisamente cero.

Tales cristales de cuarzo se encuentran habitualmente disponibles a un coste relativamente bajo. En contraste con la mayoría de osciladores de cristal de cuarzo, que se utilizan en vacío, en la presente realización el oscilador de cristal de cuarzo 210 se expone al gas a presión dentro del alojamiento 202.

En la Figura 6 se muestra el circuito de excitación 212 destinado a excitar el oscilador de cristal de cuarzo 210. El circuito de excitación 212 ha de satisfacer un cierto número de criterios específicos. En primer lugar, el oscilador de cristal de cuarzo 210 de la presente invención puede ser expuesto a un cierto intervalo 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 de gas contiene un gas a presión tal como hidrógeno. De esta forma, es necesario que el oscilador de cristal de cuarzo 210 funcione (y se reinicie tras un periodo de no utilización) bajo un amplio intervalo de presiones.

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

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

El circuito de excitación 212 ha de ser capaz de excitar el oscilador de cristal de cuarzo 210 a pesar del factor Q cambiante. A medida que la presión en el cilindro de gas 100 aumenta, la oscilación del oscilador de cristal de cuarzo 210 se verá crecientemente amortiguada, y el factor Q caerá. La caída del factor Q requiere que se proporcione una ganancia más alta por parte del amplificador del circuito de excitación 212. Sin embargo, en el caso de que se proporcione una amplificación demasiado elevada al circuito de excitación 212, la respuesta del oscilador de cristal de cuarzo 210 puede hacerse difícil de distinguir. En este caso, el circuito de excitación 212 puede simplemente oscilar a una frecuencia no relacionada, o bien a una frecuencia de un modo no fundamental del oscilador de cristal de cuarzo 210.

Como limitación adicional, el circuito de excitación 212 ha de ser de baja potencia con el fin de operar con pequeñas baterías de baja potencia durante un largo tiempo, con o sin potencia suplementaria tal como la de células

fotovoltaicas.

5 Se describirá, a continuación, el circuito de excitación 212 con referencia a la Figura 6. A fin de excitar el oscilador de cristal de cuarzo 210, el circuito de excitación 212 toma esencialmente una señal de tensión procedente del oscilador de cristal de cuarzo 210, la amplifica y suministra esa señal de vuelta al oscilador de cristal de cuarzo 210. La frecuencia de resonancia fundamental del oscilador de cristal de cuarzo 210 es, en esencia, función de la velocidad de expansión y contracción del cuarzo. Esta viene determinada, en general, por el corte y por el tamaño del cristal.

10 Sin embargo, factores externos también afectan a la frecuencia de resonancia. Cuando la energía de las frecuencias de salida generadas coincide con las pérdidas en el circuito, puede ser sostenida una oscilación. El circuito de excitación 212 se ha dispuesto para detectar y mantener esta frecuencia de oscilación. La frecuencia puede ser entonces medida por el procesador 230 (Figura 9), utilizada para calcular la propiedad adecuada del gas requerido por el usuario y, si es necesario, suministrada como salida a unos medios de presentación visual adecuados (tal y como se describirá más adelante).

15 El circuito de excitación 212 es alimentado en energía por una batería de 6 V 216. La batería 216 consiste, en esta realización, en una batería de litio. Sin embargo, fuentes de energía alternativas resultarán fácilmente evidentes para la persona experta en la técnica; por ejemplo, otros tipos de baterías, tanto recargables como no recargables, así como una disposición de células solares.

20 El circuito de excitación 212 comprende, de manera adicional, un amplificador en emisor común de par de Darlington 218. Un par de Darlington comprende una estructura compuesta consistente en dos transistores bipolares NPN configurados de manera tal, que la corriente amplificada por uno primero de los transistores es amplificada adicionalmente por el segundo. Esta configuración permite obtener una ganancia de corriente más elevada, en comparación con cada transistor, tomado por separado. Pueden utilizarse transistores bipolares PNP alternativos.

25 El par de Darlington 218 se dispone en una configuración de retroalimentación desde un único amplificador en emisor común 220 de un único transistor (T_1). En la Figura 4 se muestra un transistor de unión bipolar NPN. Sin embargo, la persona experta se apercibirá de disposiciones de transistor alternativas que se pueden utilizar; por ejemplo, un transistor PNP de unión bipolar o transistores de efecto de campo de metal-óxido-semiconductor (MOSFETs –“Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors”–).

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

35 El control de ganancia automático permite la compensación de cambios del factor Q con la presión y de los cambios en la tensión de alimentación (por ejemplo, en condiciones de baja carga de la batería). El control de ganancia automático puede emplearse, en particular, en aplicaciones de baja presión.

40 El circuito de excitación 212 comprende un transistor NPN seguidor en emisor T_2 que actúa como un amplificador de registro intermedio 222. El amplificador de registro intermedio 222 se ha dispuesto para funcionar como un registro intermedio entre el circuito y el entorno exterior. Sin embargo, esta característica es opcional y puede no ser necesaria; por ejemplo, puede conectarse un FET directamente al circuito de excitación 212.

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

50 Se describirá a continuación un circuito de excitación 240 alternativo con referencia a la Figura 7. El circuito de excitación 240 puede ser utilizado en lugar del dispositivo de excitación 204 anteriormente descrito. En contraste con el circuito de excitación 204 descrito anteriormente, el circuito de excitación 240 incluye un amplificador de transistor de efecto de campo de metal-óxido-semiconductor (MOSFET) en drenaje común 242, en lugar del par de Darlington del circuito de la Figura 6. El MOSFET 242 funciona como una salida de alta impedancia que permite hacer coincidir la impedancia de entrada de la etapa amplificadora con 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 salida para reducir la carga eléctrica en el oscilador de cristal de cuarzo 202.

55 La salida del amplificador de MOSFET en drenaje común 242 es suministrada a dos amplificadores en emisor común de transistor único sucesivos (Q2, Q3) 244. Las resistencias R6 y R8 proporcionan tanto realimentación negativa como corriente de carga para los transistores. Los amplificadores en 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 apercibirá de disposiciones de

60

65

transistor alternativas que pueden utilizarse; por ejemplo, un transistor PNP de unión bipolar o MOSFETs.

Existe un condensador 246, conectado entre el oscilador de cristal de cuarzo 202 y la tierra. El condensador 246, en esta realización, es susceptible de hacerse funcionar para aumentar la excitación proporcionada al oscilador de cristal de cuarzo 202.

Existe una resistencia 248, conectada en serie con el oscilador de cristal de cuarzo 202. La resistencia 248 tiene, en esta realización, un valor de 56 k Ω y amortigua las oscilaciones del oscilador de cristal de cuarzo 202 con el fin de permitir al circuito oscilar en todo un amplio intervalo de presiones con tan solo cambios graduales en la forma de las ondas.

El circuito de excitación 240 es alimentado en energía por una batería de 3 V 249. La batería 249, en esta realización, comprende una batería de litio. Sin embargo, fuentes de suministro de energía alternativas resultarán fácilmente evidentes para la persona experta en la técnica; por ejemplo, otros tipos de baterías, tanto recargables como no recargables, y una disposición de células solares. Alternativamente, puede utilizarse una disposición de alimentación desde la red de suministro después de una rectificación a CC [corriente continua –“DC (direct current)”–] y una reducción de la tensión apropiada.

Se describirá a continuación un circuito de excitación alternativo adicional 260 con referencia a la Figura 8. El circuito de excitación mostrado en la Figura 8 se ha configurado similarmente a un oscilador de Pierce. Se conocen los osciladores de Pierce por los osciladores de reloj de CI [circuito integrado –“IC (integrated circuit)”–] digital. En esencia, el circuito de excitación 260 comprende un inversor de señal digital (en la forma de un transistor) T, tres resistencias R_1 , R_2 y R_3 , dos condensadores C_1 , C_2 y el oscilador de cristal de cuarzo 210.

En esta disposición, el oscilador de cristal de cuarzo 210 funciona como un elemento de filtro altamente selectivo. La resistencia R_1 actúa como una carga de resistencia para el transistor T. La resistencia R_2 actúa como resistencia de realimentación, de manera que caga el inversor T en su zona lineal de funcionamiento. Esto habilita de forma efectiva el inversor T para funcionar como un amplificador de inversión de alta ganancia. Se utiliza otra resistencia R_3 entre la salida del inversor T y el oscilador de cristal de cuarzo 210 para limitar la ganancia y amortiguar las oscilaciones indeseadas en el circuito.

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

Como se ha expuesto anteriormente, el conjunto sensor 204 puede incluir un procesador 230 que recibe entradas desde el oscilador de cristal de cuarzo 210 y el circuito de excitación 212. El procesador 230 puede comprender cualquier disposición apropiada, tal como un ASIC [circuito integrado específico de la aplicación –“Application Specific Integrated Circuit”–] o una FPGA [matriz de puerta programable por campo –“Field Programmable Gate Array”–].

El procesador 230 se ha programado para calcular y, si es necesario, presentar visualmente y comunicar una determinación del peso molecular del gas (o el peso molecular promedio de una mezcla homogénea de gases). En la Figura 9 se muestra un esquema de las entradas y salidas principales del procesador 230.

Cuando se utiliza con el oscilador de cristal de cuarzo 210, el procesador 230 puede estar configurado para medir la frecuencia f o el periodo de la señal procedente del conjunto sensor 204 que comprende el circuito de excitación 212. Esto puede conseguirse, por ejemplo, contando las oscilaciones a lo largo de un tiempo fijo y convirtiendo esa frecuencia en un valor de densidad utilizando un algoritmo o tabla de consulta. Este valor se hace pasar al procesador 230.

El procesador 230 también recibe la temperatura medida T desde el sensor de temperatura 214. Por otra parte, el procesador 230 recibe un valor de presión, ya sea desde un sensor de presión 302 (si está presente), ya sea a partir de un valor de presión fijo. Este valor puede establecerse automáticamente; por ejemplo, en situaciones en que el medidor de peso molecular 400, 500 ha de utilizarse únicamente a la presión atmosférica o se ha de utilizar a la salida de un regulador de presión fija, como es el caso para el medidor de peso molecular 200. En esta situación, el valor de presión fijo es suministrado como entrada al procesador 230. Alternativamente, el valor de presión fija puede ser suministrado como entrada manualmente por un usuario.

Como alternativa adicional, la frecuencia f o el periodo de la señal procedente del conjunto sensor 504 (incluyendo el circuito de excitación 512) puede ser recibido por el procesador 230. Esto puede conseguirse, por ejemplo, contando las oscilaciones a lo largo de un tiempo fijo y convirtiendo esa frecuencia en un valor de presión utilizando un algoritmo o tabla de consulta (ya que la frecuencia es proporcional a la densidad y la densidad es proporcional a la

presión cuando se conoce la composición de gases del aire). Este valor se hace pasar al procesador 230.

5 El procesador 230 se ha dispuesto para llevar a cabo, basándose en las entradas suministradas, un cálculo para determinar el peso molecular del gas en cuyo seno se sumerge el oscilador de cristal de cuarzo 210. El procesador 230 puede comprender una parte de uno cualquiera de los medidores de peso molecular 200, 300, 400, 500.

Una vez determinado el peso molecular, estos datos pueden ser almacenados en una memoria local, pueden ser visualmente presentados en una pantalla de presentación visual o pueden ser transmitidos a una estación distante.

10 El procesador 230 puede, opcionalmente, haberse diseñado para una producción a gran escala en la que sea idéntico en todos los medidores de peso molecular 200, con diferentes características en el software y en el hardware habilitadas para diferentes gases.

15 De manera adicional, el procesador 230 puede también haberse configurado para minimizar el consumo de potencia a través de la implementación de modos de parada en espera o «durmientes» que pueden cubrir el procesador 230 y componentes adicionales tales como el circuito de excitación 212 y el oscilador de cristal de cuarzo 210.

20 Es posible implementar diversos esquemas; por ejemplo, el procesador 230 puede estar en parada en espera durante 10 de cada 11 segundos. Por otra parte, el procesador 230 puede controlar el oscilador de cristal de cuarzo 210 y el circuito de excitación 212 de tal manera que estos componentes se sitúan en parada en espera durante la mayoría del tiempo, y solo encienden los componentes que más energía consumen durante 1/2 segundo de cada 30 segundos.

25 Se describirán, a continuación, la teoría y el funcionamiento del conjunto sensor 204 con referencia a las Figuras 10 a 14.

30 El oscilador de cristal de cuarzo 210 tiene una frecuencia de resonancia que depende de la densidad del fluido en el que está situado. La exposición de un oscilador de cristal plano del tipo de horquilla oscilatoria sintonizable a un gas conduce a un corrimiento y a una amortiguación de la frecuencia de resonancia del cristal (en comparación con la frecuencia de resonancia del cristal en el vacío). Existen diversas razones para esto. Si bien existe un efecto de amortiguación del gas sobre las oscilaciones del cristal, el gas adyacente a las ramas vibrantes 210a del oscilador de cristal de horquilla sintonizable 210 aumenta la masa efectiva del oscilador. Esto conduce a una reducción en la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo de acuerdo con el movimiento de una viga elástica fijada por uno de sus lados:

35

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

40 Donde f es la frecuencia de oscilación, f₀ es la frecuencia de oscilación en el vacío, ρ es la densidad del gas y M₀ es una constante.

La densidad ρ será, en casi todos los casos, pequeña comparada con M₀, de tal manera que la fórmula puede ser aproximada por la ecuación lineal:

45

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

que puede ser nuevamente expresada en términos de la desviación de frecuencia Δf con respecto a f₀, tal como se establece en la ecuación 3):

50

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

55 En consecuencia, para una buena aproximación, el cambio de la frecuencia es proporcional al cambio de la densidad del gas al que se expone el oscilador de cristal de cuarzo. La Figura 10 muestra, para un cierto número de gases / mezclas de gas diferentes, que la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo 210 varía linealmente en función de la densidad.

En general, la sensibilidad del oscilador de cristal de cuarzo 210 es tal, que se observa un 5% de cambio en la frecuencia con, por ejemplo, gas oxígeno (que tiene un número de masa atómica 32) a 250 bar, en comparación con la presión atmosférica. Tales presiones y densidades de gas son típicas de los cilindros de almacenamiento que se

utilizan para gases permanentes, los cuales se encuentran normalmente a entre 137 bar g y 450 bar g para la mayoría de los gases, y a hasta 700 bar g o 900 bar g para el helio y el hidrógeno.

5 El oscilador de cristal de cuarzo 210 es particularmente adecuado para uso como sensor de densidad que forma parte de un medidor de peso molecular para gases suministrados comercialmente. A fin de detectar correctamente la densidad de un gas, es necesario que el gas esté libre de polvo y de gotitas de líquidos, lo que se garantiza con gases suministrados comercialmente, pero no con aire o en la generalidad de situaciones en que se hace un seguimiento de la presión.

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

$$4) \quad PV = nRT$$

15 donde P es la presión del gas, V es el volumen del gas, n es el número de moles del gas, R es la constante de los gases y T es la temperatura. Continuando para eliminar V:

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

20 Y

$$6) \quad MW = \frac{M}{N}$$

25 donde MW es el peso molecular del gas y M es la masa del gas. Por tanto, sustituyendo V en la ecuación 5), se tiene:

$$7) \quad MW = \alpha \frac{\rho}{P}$$

30 donde α es una constante igual a RT , siendo R la constante de los gases y T es la temperatura absoluta en Kelvin. En consecuencia, para una presión, densidad y temperatura conocidas de un gas, es posible determinar el peso molecular del gas (o el peso molecular promedio en el caso de una mezcla de gases). Las anteriores deducciones suponen que el gas es próximo a un gas ideal.

35 Basándose en la anterior ecuación 7), si la presión es conocida (por ejemplo, en el caso de que la presión sea la atmosférica o la de la salida de un regulador de presión fija), entonces únicamente se necesitan la temperatura y la densidad del gas para proporcionar una determinación adecuada del peso molecular. De forma concomitante, si la presión y la temperatura se conocen en un grado razonable, el peso molecular del gas es efectivamente proporcional a la densidad o, en otras palabras, a la frecuencia de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo, multiplicada por un factor predeterminado.

40 En consecuencia, el peso molecular del gas (o el promedio de una mezcla) puede determinarse a partir del gradiente de presiones como función de la densidad, de manera que, reordenando la ecuación 7), se tiene:

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

45 Las Figuras 11 y 12 ilustran datos experimentales de la medición del peso molecular. Ambos gráficos muestran la densidad (en kg/m^3) en el eje Y, en función de la presión (en bar g), en el eje X, para los mismos cuatro gases. Los dos gráficos son idénticos, con la excepción de que la Figura 10 muestra presiones de hasta 300 bar g, en tanto que la Figura 11 únicamente muestra presiones de hasta 100 bar g.

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

55 Por otra parte, la elevada precisión del oscilador de cristal de cuarzo 210 permite una medición a una precisión muy alta, con una resolución de partes por millón. Combinada con la respuesta lineal del sensor de densidad de cuarzo 202 a altas densidades y presiones, la elevada precisión hace posible medir con precisión el peso molecular de

gases muy ligeros como el H₂ y el He.

Además de ello, en el caso de la realización de la Figura 5, el medidor de peso molecular 500 comprende un oscilador de cristal de cuarzo adicional 510, susceptible de hacerse funcionar para determinar la presión atmosférica. En este caso, la ecuación 8) puede ser sencillamente reordenada para obtener la ecuación 9):

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

Como se ha expuesto anteriormente, la composición del aire (esto es, ~78% de nitrógeno, ~21% de oxígeno, ~1% de otros gases) es, por lo general, relativamente constante y, de este modo, puede utilizarse la ecuación 9) para determinar la presión a partir de la medición de la densidad por parte del oscilador de cristal de cuarzo 510.

Una aplicación útil de esta tecnología es la detección de purgas. Las Figuras 13 y 14 ilustran datos experimentales de la detección de la purga de gas. Tal información es vital en situaciones como la soldadura orbital automática de conducciones de tuberías.

La Figura 13 muestra un gráfico de la frecuencia (Hz) en el eje Y, en función del tiempo (en segundos), en el eje X, para un flujo de argón de 5 litros / minuto al seno de un entorno de nitrógeno, seguido de un rellenado con nitrógeno. Claramente, el cambio en escalón en la frecuencia es fácilmente medible con una precisión elevada.

La Figura 14 muestra los mismos datos con la excepción de que, en este caso, el eje Y se ha calibrado para obtener una lectura del peso molecular (en unidades de masa).

Estas figuras ilustran claramente que, para la mayoría de usos normales, el peso molecular del gas puede ser fácilmente determinado utilizando un oscilador de cristal de cuarzo. Por otra parte, el cambio de peso molecular que se produce cuando uno de los gases es purgado con otro es claramente definido e identificable. En consecuencia, el cambio de peso molecular durante una purga de gas puede ser calculado con suficiente precisión y resolución temporal utilizando el cristal de oscilador de cuarzo 210 y el circuito de accionamiento 204.

Se describirá a continuación, con referencia a la Figura 15, un método de funcionamiento de una realización. El método que se describe más adelante es aplicable a cada una de las primera a cuarta realizaciones anteriormente descritas.

Etapa 550: inicializar medición

En la etapa 550, se inicializa la medición del peso molecular del gas situado dentro del alojamiento 202. Esta puede ser activada, por ejemplo, al apretar un usuario un botón situado en el exterior del alojamiento 202. Alternativamente, la medición puede ser iniciada por medio de una conexión a distancia, por ejemplo, una señal transmitida a través de una red inalámbrica y recibida por el medidor de peso molecular 200, 300, 400, 500 a través de una antena.

Como alternativa adicional o además de esto, el medidor de peso molecular 200, 300, 400, 500 puede haberse configurado para inicializarse a distancia o por medio de un temporizador. El método prosigue por la etapa 552.

Etapa 552: excitar el oscilador de cristal de cuarzo

Una vez inicializado, el circuito de excitación 212 se utiliza para excitar el oscilador de cristal de cuarzo 210. Durante la inicialización, el circuito de excitación 212 aplica una tensión de CA [corriente alterna –“AC (alternating current)”–] de ruido aleatoria a través del cristal 210. Al menos una parte de esa tensión aleatoria se encuentra a una frecuencia adecuada para hacer que el cristal 210 oscile. El cristal 210 comenzará entonces a oscilar en sincronismo con esa señal.

Como se apreciará, el oscilador de cristal de cuarzo 210 es, en esencia, un detector y un dispositivo excitador autónomo puesto que se está midiendo la frecuencia de resonancia del cristal en sí.

Por medio del efecto piezoeléctrico, el movimiento del oscilador de cristal de cuarzo 210 generará entonces una tensión en la banda de frecuencias de resonancia del oscilador de cristal de cuarzo 210. El circuito de excitación 212 amplifica entonces la señal generada por el oscilador de cristal de cuarzo 210, de tal manera que las señales generadas en la banda de frecuencias del oscilador de cristal de cuarzo 202 dominan la salida del circuito de excitación 212. La estrecha banda de resonancia del cristal de cuarzo elimina por filtrado todas las frecuencias indeseadas, y el circuito de excitación 212 excita entonces el oscilador de cristal de cuarzo 210 a la frecuencia de resonancia fundamental f . Una vez que el oscilador de cristal de cuarzo 210 se ha estabilizado a una frecuencia de resonancia concreta, el método prosigue por la etapa 554.

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

La frecuencia de resonancia f depende de las condiciones del entorno dentro del alojamiento 202. En la presente realización, el cambio en la frecuencia de resonancia, Δf , es, en una buena aproximación, proporcional en su

magnitud al cambio en la densidad del gas del interior 206 del alojamiento 202, y se reducirá con el aumento de la densidad.

5 A fin de realizar una medición, la frecuencia del oscilador de cristal de cuarzo 210 es medida durante un tiempo de aproximadamente 1 s. Esto es para permitir que la lectura se estabilice y para contar las suficientes oscilaciones con el fin de determinar una medición precisa. La medición de la frecuencia se lleva a cabo en el procesador 230. El procesador 230 puede también registrar el tiempo, T_1 , en que se inició la medición.

10 Una vez medida la frecuencia, el método prosigue por la etapa 556.

Etapa 556: medición de la temperatura del gas

En la etapa 556, el sensor de temperatura 214 mide la temperatura del gas del interior del alojamiento 202. Esta medición se lleva a cabo al objeto de mejorar la precisión del cálculo del peso molecular a partir del cambio de frecuencia medido en la etapa 554.

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

20 Como alternativa, esta etapa puede simplemente implicar el suministro como entrada de un valor de temperatura fijo al procesador 230. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en situaciones en que se utiliza un entorno de temperatura conocido. En este caso, no es necesario el sensor de temperatura 214.

25 *Etapa 558: determinar la presión del gas*

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

30 Esto puede hacerse con un valor suministrado como entrada desde el sensor de presión 302 (en caso de que se haya proporcionado), el cual proporciona una señal eléctrica proporcional a la presión medida en el alojamiento 202. Esto se aplica a las segunda y cuarta realizaciones.

35 Alternativamente, puede suministrarse como entrada el valor de presión al procesador 230 manual o automáticamente si la presión es conocida en un grado razonable. Esto puede corresponder a la salida de un regulador de presión fija (como en la primera realización), o bien puede corresponder a la presión atmosférica (como en la tercera realización).

40 *Etapa 560: determinar el peso molecular del gas*

Esto se hace utilizando la ecuación 8) anterior, en el caso de que se conozcan la densidad ρ , la presión P y la temperatura T del gas. Por lo tanto, conociendo la frecuencia de resonancia según se ha medido en la etapa 554, la temperatura conocida T del gas contenido en el alojamiento 202, medida en la etapa 556, y la presión conocida del gas, según se ha determinado en la etapa 558, puede efectuarse una medición precisa del peso molecular (o del peso molecular promedio para una mezcla homogénea de gases). El método prosigue entonces por la etapa 562.

45 *Etapa 562: comunicar y almacenar los resultados*

El peso molecular del gas puede ser presentado visualmente de una variedad de maneras. Por ejemplo, una pantalla (no mostrada) asegurada al alojamiento 202 o regulador 150, 250 puede presentar visualmente el peso molecular (o peso molecular promedio) del gas. En la alternativa, la medición de la presión puede ser comunicada a distancia a una estación de base o a un medidor situado en una instalación adyacente, tal como se describirá más adelante.

50 Seguidamente, los resultados del medidor de peso molecular 200, 300, 400, 500 se almacenan para su ulterior recuperación. Como aún otra alternativa adicional, la presión del gas en el instante T_1 puede ser almacenada en una memoria local con respecto a dicho procesador 230 para generar un registro temporal.

El método prosigue entonces por la etapa 564.

60 *Etapa 564: apagar el conjunto sensor*

No es necesario mantener el medidor de peso molecular 200, 300, 400, 500 operativo en todo momento. Antes bien, resulta beneficioso reducir el consumo de energía conmutando el medidor de peso molecular 200, 300, 400, 500 cuando no se está utilizando. Esto prolonga la vida de la batería 216.

65 La configuración del circuito de excitación 212 hace posible que el oscilador de cristal de cuarzo 210 sea reiniciado independientemente de la presión dentro del alojamiento 202. Por lo tanto, el medidor de peso molecular 200, 300,

400, 500 puede ser desconectado como y cuando se requiera para ahorrar energía de la batería.

Una aplicación importante del medidor de peso molecular de acuerdo con la presente invención es en un mezclador de gases del tipo de realimentación. En tal disposición, se requiere la mezcla de dos gases diferentes en concentraciones y proporciones precisas. Esto puede ser necesario en situaciones tales como, por ejemplo, aplicaciones de soldadura de MIG en las que se requiere una mezcla de argón y dióxido de carbono, estando el porcentaje de dióxido de carbono bien definido. Alternativamente, para muchas aplicaciones sanitarias o médicas, se requieren mezclas de gases precisas en las que puede ser necesario conocer el porcentaje relativo de un tipo particular de gas con un alto grado de precisión.

En la Figura 16 se muestra una realización de mezclador de gases de acuerdo con la presente invención. La Figura 16 muestra un mezclador de gases 600 destinado a ser utilizado con el medidor de peso molecular 500 de la realización anterior.

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

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

Las primera y segunda fuentes de aporte de gas 602, 604 se conectan a unas primera y segunda conducciones de suministro 606, 608, respectivamente. Existen válvulas antirretorno 610, 612, situadas en las primera y segunda conducciones de suministro, respectivamente aguas abajo de las primera y segunda fuentes de aporte de gas, 602, 604, respectivas, a fin de evitar el flujo de retorno de los gases hacia las fuentes de aporte de gas 602, 604.

Por otra parte, existe una válvula principal 614, situada en la primera conducción de suministro 606, aguas abajo con respecto a la válvula antirretorno 610. La válvula antirretorno 614 es accionable manualmente y puede adoptar cualquier forma adecuada. Por ejemplo, la válvula principal 614 puede adoptar la forma de una simple válvula de conexión / desconexión, o bien puede comprender una válvula de flujo ajustable, una VIPR o un regulador. Alternativamente, la válvula principal 614 puede ser controlada electrónicamente por un usuario distante del mezclador de gases 600. El caudal de flujo total de la mezcla de gases (que se describe más adelante) se ajusta por medio de la válvula principal 614.

Existe una válvula de solenoide 616, situada en la segunda conducción de suministro 608, aguas abajo con respecto a la válvula antirretorno 612. La válvula de solenoide 616 comprende una armadura (no mostrada) que es movable en respuesta al paso de una corriente eléctrica a través de un conjunto de espiras (no mostrado) situado dentro del cuerpo de la válvula de solenoide 616. La armadura es movable para abrir o para cerrar la válvula de solenoide 616 con el fin de permitir el flujo de gas más allá de la válvula de solenoide 616, hasta componentes situados aguas abajo de la misma.

La válvula de solenoide 616 puede estar normalmente en el estado abierto. En otras palabras, en ausencia de una corriente eléctrica a través de la válvula de solenoide 616, la armadura se encuentra en una posición retraída tal, que la válvula de solenoide 616 está abierta, es decir, el gas procedente de la segunda fuente de aporte de gas 604 es capaz de fluir a su través hasta los componentes situados aguas abajo de la válvula de solenoide 616. Si se aplica una corriente a la válvula de solenoide 616, la armadura se retraerá y la válvula de solenoide 616 se cerrará, lo que evitará que el gas fluya a su través. En esta realización, la válvula de solenoide 616 es variable de forma continua en una dirección rectilínea.

La persona experta se percibirá fácilmente de los diferentes tipos de válvula de solenoide que pueden ser utilizados con la presente invención. Por ejemplo, la armadura puede actuar directamente como una restricción de flujo accionable selectivamente. Alternativamente, la armadura puede actuar directamente sobre un diafragma. Como alternativa adicional, la armadura puede controlar el flujo a través de un estrecho conducto en comunicación con la conducción de suministro 608, aguas abajo de la válvula de solenoide 616, a fin de regular el movimiento de un diafragma. Tal disposición se conoce como válvula piloto de diafragma. La válvula de solenoide 616 es controlada por el medidor de peso molecular 500, como se describirá más adelante.

Las primera y segunda conducciones de suministro, 606, 608, están, ambas, conectadas a una unidad mezcladora 618. La unidad mezcladora 618 es susceptible de hacerse funcionar para combinar los dos flujos procedentes de las primera y segunda conducciones de suministro, 606, 608, y hacer pasar el flujo combinado a una tercera conducción de suministro 620. La unidad mezcladora 618 actúa meramente combinando los dos flujos y no altera la proporción de gas ni la presión en cada flujo.

5 El mezclador de gas 600 comprende el medidor de peso molecular 500 de la cuarta realización. En esta disposición, el medidor de peso molecular 500 comprende un primer oscilador de cristal de cuarzo 210, situado dentro de la tercera conducción de suministro 620, en un extremo distal de la misma adyacente a la salida 622 de esta. La salida 622 es a la atmósfera. Por lo tanto, la presión experimentada por el primer oscilador de cristal de cuarzo 210 corresponde, en una buena aproximación, a la presión atmosférica.

10 El medidor de peso molecular 500 también comprende un segundo oscilador de cristal de cuarzo 510, expuesto a la presión atmosférica del exterior del mezclador 600, similarmente a la realización de la Figura 5. En este caso, el segundo oscilador de cristal de cuarzo 510 está situado en las proximidades (pero no en) la salida, a fin de garantizar una lectura de presión precisa al tiempo que permanece inafectado por el flujo de gas procedente de la salida 622.

15 Además, el medidor de peso molecular 500 comprende un dispositivo de accionamiento de solenoide electrónico 652 conectado a la válvula de solenoide 616 y al conjunto sensor 204 del medidor de peso molecular 500.

20 El dispositivo de accionamiento de solenoide 652 se ha dispuesto para recibir una señal procedente del conjunto sensor 204 y para controlar la válvula de solenoide 616 en respuesta a esta señal. En consecuencia, el medidor de peso molecular 500 es susceptible de hacerse funcionar para controlar el flujo de gas a través de la válvula de solenoide 616. En otras palabras, el medidor de peso molecular 500 y la válvula de solenoide 616 forman un lazo de realimentación que permite una regulación de presión precisa y a distancia del flujo de gas a lo largo de la segunda conducción de suministro 608, hasta el mezclador 618. Por lo tanto, la proporción de los gases mezclados en la unidad mezcladora 618 puede ser controlada con precisión, tal y como se describirá más adelante.

25 El dispositivo de accionamiento de solenoide 652 puede comprender cualquier circuito de excitación adecuado para controlar la válvula de solenoide 616. Un circuito adecuado puede ser una disposición de amplificador operacional que tiene una entrada procedente del conjunto sensor 204, al terminal negativo del amplificador operacional. En consecuencia, puede fijarse una resistencia variable al terminal positivo. La resistencia variable puede disponerse para proporcionar una magnitud de referencia constante y actúa como comparador. La magnitud de referencia puede hacerse variar automática o manualmente.

30 Una entrada desde el conjunto sensor 204 al dispositivo de accionamiento de solenoide 652 provocará el funcionamiento de la válvula de solenoide 616. Por ejemplo, si la señal de entrada procedente del conjunto sensor 204 (o, alternativamente, del procesador 230) supera una magnitud de umbral particular, entonces el dispositivo de accionamiento de solenoide 652 puede aportar energía a la válvula de solenoide 616. La válvula de solenoide 616 puede ser controlada de una manera digital (es decir, en encendido y apagado), de manera que una tensión de CC se hace variar entre un valor máximo y uno mínimo. Alternativamente, la tensión de CC procedente de la válvula de solenoide 652 puede ser variable de forma continua para ajustar con precisión la magnitud de restricción de flujo a través de la válvula de solenoide 616.

40 De manera adicional o alternativa, el dispositivo de accionamiento de solenoide 652 puede controlar la válvula de solenoide 616 por medio de una salida de CC que comprende un componente de CA. Puesto que la extensión de la armadura desde la válvula de solenoide 616 es aproximadamente proporcional a la corriente aplicada, esto provoca que la armadura de la válvula de solenoide 616 oscile. Tales oscilaciones mitigan la fricción estática de la armadura, esto es, ayudan a impedir que la armadura quede atascada o atorada.

45 Alternativamente, pueden utilizarse otras disposiciones de control, tales como los FETs, procesadores o ASICs, como apropiadas para controlar el funcionamiento de la válvula de solenoide 616. Por otra parte, la válvula de solenoide 616 puede funcionar bien en un modo digital (esto es, en encendido / apagado) o bien en un modo analógico (esto es, variable de forma continua), a fin de permitir un movimiento preciso de la armadura o elemento similar.

50 En la Figura 16, los componentes principales del medidor de peso molecular 500 se han mostrado por separado con respecto a la válvula de solenoide 616. En tal situación, la válvula de solenoide 616 puede ser controlada a distancia por medio de una comunicación inalámbrica entre el conjunto sensor 204 y el dispositivo de accionamiento de solenoide 652.

55 Se describirá, a continuación, el funcionamiento del mezclador de gas 600. Como se ha expuesto anteriormente, el medidor de peso molecular 500 es capaz de determinar el peso molecular de un gas, o el peso molecular promedio de un gas. Cuando se mezclan dos gases en diferentes proporciones, el peso molecular promedio de la mezcla de gases variará de acuerdo con la proporción relativa de cada gas. Por lo tanto, realizando una medición del peso molecular promedio de la mezcla, y con el conocimiento de los pesos moleculares de cada gas individual y de la presión (a partir del segundo oscilador de cristal de cuarzo 510) y la temperatura (a partir del sensor de temperatura 214), puede determinarse la proporción de cada gas en la mezcla.

65 El caudal de flujo principal del gas procedente de la primera fuente de aporte de gas 602 es ajustado por la válvula

principal 604, la cual, como se ha descrito en lo anterior, es accionable por el usuario. Una vez que este se ha ajustado, el medidor de peso molecular 500 es capaz de controlar la válvula de solenoide 616 para dispensar la correcta cantidad de gas desde la segunda fuente de aporte de gas 604, a fin de conseguir una mezcla proporcionan deseada de gases. Esto se realiza a través del dispositivo de accionamiento de solenoide 652.

Por lo tanto, si la proporción del gas procedente de la segunda fuente de aporte de gas 604 es demasiado elevada, el medidor de peso molecular 500 cerrará, o cerrará parcialmente, por medio del dispositivo de accionamiento de solenoide 652, la válvula de solenoide 616 a fin de restringir el flujo de gas procedente de la segunda fuente de aporte de gas 604. De forma concomitante, si la proporción del gas procedente de la segunda fuente de aporte de gas 604 es demasiado baja, el medidor de peso molecular 500 abrirá, o abrirá parcialmente, la válvula de solenoide 616 con el fin de aumentar el flujo de gas procedente de la segunda fuente de aporte de gas 604.

La anterior realización proporciona un método barato, fiable y robusto para proporcionar una mezcla de gases, en el que la proporción de cada gas en la mezcla puede ser determinada y mantenida de forma fiable y precisa.

En la Figura 17 se muestra una realización alternativa de un mezclador de gases 700. Mientras que el mezclador de gases 600 de la realización anterior es susceptible de hacerse funcionar para suministrar una mezcla en la proporción deseada de dos gases diferentes a una presión determinada por un usuario, el mezclador de gases 700 es susceptible de hacerse funcionar para controlar electrónicamente tanto la presión de gas como la proporción de los dos gases.

El mezclador de gases 700 comprende una primera fuente de aporte de gas 702 para dispensar un gas A, y una segunda fuente de aporte de gas 704 para dispensar un gas B. En esta realización, las fuentes de aporte de gas 702, 704 comprenden cilindros de gas que se han dispuesto para almacenar gases permanentes a una presión elevada. Cada cilindro comprende una válvula (no mostrada) que puede ser similar a la válvula 104 mostrada en la primera realización. Los gases A, B contenidos dentro de cada cilindro de gas son diferentes y se han seleccionado dependiendo del uso requerido, tal como con respecto a la realización de la Figura 16.

Las primera y segunda fuentes de aporte de gas 702, 704 se conectan a unas primera y segunda conducciones de suministro 706, 708, respectivamente. Unas válvulas antirretorno 710, 712 se encuentran situadas en las primera y segunda conducciones de suministro, respectivamente, aguas abajo con respecto a las primera y segunda fuentes de aporte de gas respectivas, 702, 704, a fin de impedir el flujo de retorno de los gases hacia las fuentes de aporte de gas 702, 704.

Una primera válvula de solenoide 714 está situada en la primera conducción de suministro 706, aguas abajo de la válvula antirretorno 710. La primera válvula de solenoide 714 comprende una armadura (no mostrada) que es movable en respuesta al paso de una corriente eléctrica a través de un conjunto de espiras (no mostrado) situado en el cuerpo de la primera válvula de solenoide 714. La armadura es movable para abrir o para cerrar la primera válvula de solenoide 714 al objeto de permitir que el gas fluya más allá de la primera válvula de solenoide 714, hasta los componentes situados aguas abajo de la misma. El caudal de flujo total de la mezcla de gases (que se describe más adelante) es ajustado por la válvula de solenoide 714, como se describirá más adelante.

Una segunda válvula de solenoide 716 está situada en la segunda conducción de suministro 708, aguas abajo de la válvula antirretorno 712. La válvula de solenoide 716 es sustancialmente similar a la primera válvula de solenoide 714 y es susceptible de hacerse funcionar para abrirse o para cerrarse con el fin de permitir que el gas fluya más allá de la segunda válvula de solenoide 716, hasta los componentes situados aguas abajo de la misma.

Las primera y/o segunda válvulas de solenoide, 714, 716 pueden estar normalmente en el estado abierto. En otras palabras, en ausencia de una corriente eléctrica a través de las primera y/o segunda válvulas de solenoide 714, 716, la armadura se encuentra en una posición retraída tal, que las válvulas de solenoide 714, 716 están abiertas, esto es, el gas procedente de la primera y/o la segunda fuentes de aporte de gas, 702, 704, es capaz de fluir a su través hasta los componentes situados aguas abajo de las válvulas de solenoide 714, 716. Si se aplica una corriente a las válvulas de solenoide 714, 716, la armadura se traerá y las válvulas de solenoide 714, 716 se cerrarán, evitando que el gas fluya a su través. En esta realización, las válvulas de solenoide 714, 716 son variables de forma continua en una dirección rectilínea.

La persona experta se apercebirá fácilmente de los diferentes tipos de válvula de solenoide que pueden ser utilizados con la presente invención. Por ejemplo, la armadura puede actuar directamente como una restricción de flujo accionable selectivamente. Alternativamente, la armadura puede actuar directamente sobre un diafragma. Como alternativa adicional, la armadura puede controlar el flujo a través de un estrecho conducto en comunicación con las conducciones de suministro 706, 708, aguas abajo de las segundas válvulas de solenoide 714, 716, a fin de regular el movimiento de un diafragma. Tal disposición se conoce como válvula piloto de diafragma. Las válvulas de solenoide 714, 716 son controladas por el medidor de peso molecular 750, tal y como se describirá más adelante.

Las primera y segunda conducciones de suministro 706, 708 están, ambas, conectadas a una unidad mezcladora

718. La unidad mezcladora 718 es susceptible de hacerse funcionar para combinar los dos flujos (esto es, el gas A y el gas B) desde las primera y segunda conducciones de suministro 706, 708 y hacer pasar el flujo combinado (una mezcla de A y B) a una tercera conducción de suministro 720. La unidad mezcladora 718 actúa simplemente combinando los dos flujos y no altera la proporción de gas ni la presión en cada flujo.

5 El mezclador de gases 700 comprende un medidor de peso molecular 750. En esta disposición, el medidor de peso molecular 750 comprende un primer conjunto sensor 752 y un segundo conjunto sensor 754, conectados a un procesador 230 similar al procesador 230 que se ha descrito previamente.

10 El primer conjunto sensor 752 comprende un primer oscilador de cristal de cuarzo 756, situado dentro de la primera conducción de suministro 706, aguas abajo con respecto a la primera válvula de solenoide 714 e inmerso en el gas de su interior. El primer conjunto sensor 752 también comprende un circuito de excitación y una fuente de suministro de energía (no mostrados) sustancialmente similares al circuito de excitación 212 y a la batería 216 de realizaciones anteriores.

15 El segundo conjunto sensor 756 comprende un segundo oscilador de cristal de cuarzo 758 y un sensor de temperatura 260 situados dentro de la conducción de suministro 720, aguas abajo de la unidad mezcladora 728 e inmersos en el gas de su interior. El segundo conjunto sensor 756 también comprende un circuito de excitación y una fuente de aporte de energía (no mostrados) sustancialmente similares al circuito de excitación 212 y a la batería 216 de realizaciones anteriores.

20 Además, el medidor de peso molecular 750 comprende un primer dispositivo de accionamiento de solenoide electrónico 762, conectado a la válvula de solenoide 714 y al procesador 230, y un segundo dispositivo de accionamiento de solenoide electrónico 764, conectado a la válvula de solenoide 716 y al procesador 230.

25 El dispositivo de accionamiento de solenoide 762 está dispuesto para recibir una señal del procesador 230 y para controlar la válvula de solenoide 714 en respuesta a esa señal. En consecuencia, el medidor de peso molecular 750 es susceptible de hacerse funcionar para controlar la magnitud total de flujo de gas al exterior de la salida 722 o, alternativamente, la presión suministrada como salida desde la salida 722. En otras palabras, el medidor de peso molecular 750 y la válvula de solenoide 714 constituyen un lazo de realimentación que permite una regulación en presión precisa y a distancia de la magnitud de flujo de gas a lo largo de la primera conducción de suministro 706, hasta el mezclador 718.

30 El dispositivo de accionamiento de solenoide 764 se ha dispuesto también para recibir una señal desde el procesador 230 y para controlar la válvula de solenoide 716 en respuesta a esta señal. En consecuencia, el medidor de peso molecular 750 es susceptible de hacerse funcionar para controlar la proporción del flujo de gas procedente de la fuente de aporte de gas 704, en relación con el flujo de gas procedente de la fuente de aporte de gas 702. En otras palabras, el medidor de peso molecular 750 y la válvula de accionamiento de solenoide 716 forman un lazo de realimentación que permite una regulación precisa y a distancia de la magnitud del total de gas a lo largo de la segunda conducción de suministro 708, hasta el mezclador 718, con respecto a la proporción del gas que fluye a lo largo de la primera conducción de suministro 706. De esta forma, se mezcla en la unidad mezcladora 718 la proporción requerida del gas procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704.

35 Los dispositivos de accionamiento de solenoide 762, 764 pueden comprender cualesquiera circuitos de excitación adecuados para controlar las respectivas válvulas de solenoide 714, 716. Un circuito adecuado puede ser una disposición de amplificador operacional que tenga una entrada procedente de los conjuntos sensores 752, 756 y del procesador 230, al terminal negativo del amplificador operacional. En consecuencia, puede fijarse una resistencia variable al terminal positivo. La resistencia variable puede haberse dispuesto para proporcionar una magnitud de referencia constante y actuar como comparador. La magnitud de referencia puede hacerse variar automática o manualmente.

40 Una entrada a los circuitos de accionamiento de solenoide 762, 764, procedente del procesador 230, provocará el funcionamiento de las válvulas de solenoide 714, 716. Por ejemplo, si la señal de entrada procedente del procesador 230 supera una magnitud de umbral particular, el dispositivo de accionamiento de solenoide 762 o el dispositivo de accionamiento de solenoide 764 puede alimentar energéticamente la respectiva válvula de solenoide 714, 716. Las válvulas de solenoide 714, 716 pueden ser controladas de una manera digital (esto es, en encendido / apagado) en la que se varía una tensión de CC entre un valor máximo y uno mínimo. Alternativamente, la tensión de CC procedente de los dispositivos de accionamiento de solenoide 762, 764 puede ser variable de forma continua para ajustar con precisión la magnitud de la restricción del flujo a través de las válvulas de solenoide respectivas 714, 716.

45 Adicional o alternativamente, el dispositivo de accionamiento de solenoide 652 puede controlar la válvula de solenoide 616 por medio de una salida de CC que comprende una componente de CA según se ha descrito con relación con la realización anterior.

65

Alternativamente, pueden utilizarse otras disposiciones de control tales como FETs, procesadores o ASICs según sea apropiado para controlar el funcionamiento de las válvulas de solenoide 714, 716. De manera adicional, las válvulas de solenoide 714, 716 pueden funcionar en los modos digital (es decir, en encendido / apagado) o analógico (esto es, variable de forma continua) para hacer posible un movimiento preciso de la armadura o elemento similar.

En la Figura 17, los componentes principales del medidor de peso molecular 750 se muestran por separado de la válvula de solenoide 714, 716. En semejante situación, la válvula de solenoide 714, 716 puede ser controlada a distancia por medio de una comunicación inalámbrica entre el procesador 230 y las válvulas de solenoide 714, 716.

Se describirá a continuación el funcionamiento del mezclador de gases 700. Como se ha expuesto anteriormente, el medidor de peso molecular 750 es capaz de determinar el peso molecular promedio de una mezcla de gases A y B. Además de ello, el medidor de peso molecular 750 es susceptible de hacerse funcionar para determinar la presión del gas. Cuando se mezclan dos gases en diferentes proporciones, el peso molecular promedio de la mezcla de gases variará de acuerdo con la proporción relativa de cada gas. Por lo tanto, realizando una medición del peso molecular promedio de la mezcla, y conociendo los pesos moleculares de cada gas individual así como la presión y la temperatura, es posible determinar la proporción de cada gas en la mezcla, junto con la salida de presión deseada.

El caudal de flujo principal del gas A procedente de la primera fuente de aporte de gas 702 es ajustado por un usuario o bien puede ser ajustado automáticamente. Esto determina un punto de ajuste en el procesador 230. Se supone que el gas A procedente de la primera fuente de aporte de gas 702 es el gas mayoritario, y que el gas B procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704 es el gas minoritario.

El conjunto sensor 752 se utiliza para calcular la presión P aguas abajo de la válvula de solenoide 714. Puesto que el peso molecular de la primera fuente de aporte de gas, MW_A , es conocido (debido a que el primer gas A procedente de la fuente de aporte de gas 702 es un gas envasado), la presión inmediatamente aguas abajo con respecto a la válvula de solenoide 714 puede, entonces, ser determinada de la ecuación 10):

$$10) \quad P = \frac{RT}{MW_A} \rho_A$$

Donde P es la presión, R es la constante de los gases, T es la temperatura absoluta (según se mide por el sensor de temperatura 760), MW_A es el peso molecular del gas A procedente de la primera fuente de aporte de gas 702, y ρ_A es la densidad medida inmediatamente aguas abajo de la válvula de solenoide 714 de la primera conducción de suministro 706.

Se hace la suposición de que la presión, según se mide en la primera conducción de suministro 706, es aproximadamente la misma que en la unidad mezcladora 718 y que en la conducción de suministro de salida 720. Esta suposición se aplica si la proporción del gas procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704 está en minoría, en comparación con el gas mayoritario procedente de la primera fuente de aporte de gas 702.

El valor medido de P, según se mide por el conjunto sensor 752, es entonces suministrado como entrada al procesador 230, el cual es susceptible de hacerse funcionar para controlar la válvula de solenoide 714 dependiendo de este, a fin de conseguir una presión de salida deseada. Esto puede llevarse a cabo según un criterio de proporcionalidad, de manera que la presión del punto de ajuste almacenado por el procesador 230 es restada del valor de presión medido y la diferencia entre ellos es utilizada para controlar la válvula de solenoide.

A continuación, el peso molecular promedio del gas mezclado de la tercera conducción de suministro 720 se determina por parte del conjunto sensor 754. En esta realización, el segundo oscilador de cristal de cuarzo 758 es susceptible de hacerse funcionar para determinar la densidad ρ_{mix} de la mezcla de gases de la tercera conducción de suministro 720. El peso molecular promedio MW_{mix} de la mezcla de gases puede ser, entonces, determinado por la ecuación 11):

$$11) \quad MW_{mix} = \frac{RT \rho_{mix}}{P}$$

Donde P es la presión, según se mide por el primer conjunto sensor 752. Una vez que se ha calculado el peso molecular promedio (MW_{mix}) de la mezcla de gases, puede determinarse el porcentaje en volumen (%B) del gas minoritario B procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704, de acuerdo con la ecuación 12):

$$12) \quad MW_{mix} = (1 - \%B)MW_A + \%BMW_B$$

Que da, entonces, la ecuación 13):

$$13) \quad \%B = \frac{(MW_{mix} - MW_A)}{(MW_B - MW_A)}$$

5 El valor del porcentaje en volumen del gas B (%B) puede ser entonces comparado por el procesador 230 con un valor de punto de ajuste deseado, y puede, con ello, controlarse la válvula de solenoide 716 con arreglo a esto. Por lo tanto, el medidor de peso molecular 750 es capaz de controlar la válvula de solenoide 716 al objeto de dispensar la cantidad correcta del gas B procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704, con el fin de conseguir una mezcla en las proporciones deseadas de los gases A y B. Esto se hace por medio de la válvula de solenoide 764.

10 Por lo tanto, si la proporción del gas B procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704 es demasiado elevada, el medidor de peso molecular 750, cerrará, o cerrará parcialmente, por medio del dispositivo de accionamiento de solenoide 764, la válvula de solenoide 716 para restringir el flujo del gas B procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704. De forma concomitante, si la proporción del gas procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704 es demasiado baja, el medidor de peso molecular 750 abrirá, o abrirá parcialmente, por medio del dispositivo de accionamiento de solenoide 754, la válvula de solenoide 716 con el fin de aumentar el flujo de gas procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704.

15 La realización anterior proporciona un método de bajo coste, fiable y robusto para proporcionar una mezcla precisa de gases a una temperatura dada, esto es, en la que se da una presión constante de un gas de tal modo que la proporción de cada gas en la mezcla puede ser mantenida de manera fiable y precisa.

20 En la Figura 18 se muestra una realización alternativa de un mezclador de gases 800. El mezclador de gases 800 es susceptible de hacerse funcionar para controlar electrónicamente tanto la presión de gas como la proporción de los dos gases, en común con el mezclador de gases 700 de la realización previa. A las características del mezclador de gases 800 en común con el mezclador de gases 700 se les han asignado los mismos números de referencia y no se describirán aquí adicionalmente.

25 El mezclador de gases 800 comprende un medidor de peso molecular 850. En esta disposición, el medidor de peso molecular 850 comprende el primer conjunto sensor 752, el segundo conjunto sensor 754 y un tercer conjunto sensor 852. Cada conjunto sensor 752, 754, 852 está conectado al procesador 230. Los primer y segundo conjuntos sensores 752, 754 son idénticos a los del mezclador de gases 700 y no se describirán adicionalmente aquí.

30 El tercer conjunto sensor 852 comprende un tercer oscilador de cristal de cuarzo 856, situado dentro de la segunda conducción de suministro 708, aguas abajo de la segunda válvula de solenoide 716 e inmerso en el gas de su interior. El tercer conjunto sensor 852 también comprende un circuito de excitación y una fuente de suministro de energía (no mostrados), sustancialmente similares al circuito de excitación 212 y a la batería 216 de las realizaciones anteriores.

35 Se describirá, a continuación, el funcionamiento del mezclador de gases 800. Como se ha expuesto en lo anterior, el medidor de peso molecular 850 es capaz de determinar el peso molecular promedio de una mezcla de gases A y B. Además de ello, el medidor de peso molecular 850 es susceptible de hacerse funcionar para determinar la presión de gas. Cuando se mezclan dos gases en proporciones diferentes, el peso molecular promedio de la mezcla de gases variará de acuerdo con la proporción relativa de cada gas. Por lo tanto, si se realiza una medición del peso molecular promedio de la mezcla, y conociendo los pesos moleculares de cada gas individual y la presión y temperatura, puede determinarse la proporción de cada gas en la mezcla, junto con la salida de presión deseada.

40 El caudal de flujo principal del gas A procedente de la primera fuente de aporte de gas 702 es ajustado por un usuario o puede ser ajustado automáticamente. Esto determina un punto de ajuste en el procesador 230. Se supone que el gas A procedente de la primera fuente de aporte de gas 702 es el gas mayoritario, y que el gas B procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704 es el gas minoritario.

45 El conjunto sensor 852 se utiliza para calcular la presión P aguas abajo de la válvula de solenoide 716, en la segunda conducción de suministro 708. Puesto que el peso molecular del gas B, MW_B , es conocido (debido a que el gas B procedente de la fuente de aporte de gas 704 es un gas envasado), la presión inmediatamente aguas abajo de la válvula de solenoide 716 puede ser, entonces, determinada por la ecuación 14):

$$14) \quad P = \frac{RT}{MW_B} \rho_B$$

60 Donde P es la presión, R es la constante de los gases, T es la temperatura absoluta (según se mide por el sensor de temperatura 760), MW_B es el peso molecular del gas B procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704, y ρ_B

es la densidad medida inmediatamente aguas abajo de la válvula de solenoide 716, en la segunda conducción de suministro 708.

- 5 Este valor puede ser utilizado en lugar del cálculo que se realiza en la ecuación 9) utilizando el conjunto sensor 752. Alternativamente, puede medirse ambas presiones y puede tomarse un valor promedio para obtener una mejor estimación de la presión aguas abajo de la unidad mezcladora 718, tal y como se expone en la ecuación 15):

$$15) \quad P = \frac{RT}{2} \left(\frac{\rho_A}{MW_A} + \frac{\rho_B}{MW_B} \right)$$

- 10 El valor medido de P, tal como se mide por el conjunto sensor 752 y el conjunto sensor 852, es entonces suministrado como salida al procesador 230, el cual es susceptible de hacerse funcionar para controlar la válvula de solenoide 714 dependiendo de este, a fin de conseguir la presión de salida deseada. Esto puede hacerse siguiendo un criterio de proporcionalidad, con la inclusión opcional de una integral y/o un diferencial con respecto al tiempo de la diferencia entre la presión medida P y la presión de punto de ajuste almacenada por el procesador 230.

- 15 A continuación, el peso molecular promedio de la mezcla de gases de la tercera conducción de suministro 720 es determinado por el conjunto sensor 754 utilizando el valor de P obtenido anteriormente. En esta realización, el segundo oscilador de cristal de cuarzo 758 es susceptible de hacerse funcionar para determinar la densidad ρ_{mix} de la mezcla de gases en la tercera conducción de suministro 720. El peso molecular promedio MW_{mix} de la mezcla de gases puede ser entonces determinado por la ecuación 10) anterior, y es posible determinar el porcentaje en volumen (%B) del gas minoritario B procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704 de acuerdo con las ecuaciones 12) y 13) anteriores.

- 25 Alternativamente, el valor del porcentaje en volumen del gas B (%B) puede ser calculado utilizando las densidades medidas, de acuerdo con la ecuación 16):

$$16) \quad \%B = \left(\frac{\rho_{mix} - \rho_A}{\rho_B - \rho_A} \right)$$

Además, la presión aguas abajo del mezclador puede ser calculada, si es necesario, por la ecuación 17):

$$30) \quad 17) \quad P = RT \frac{\rho_{mix}}{MW_{mix}}$$

donde MW_{mix} se determina por la ecuación 12) anterior.

- 35 La anterior realización proporciona un método de bajo coste, fiable y robusto para proporcionar una mezcla precisa de gases a una presión dada, esto es, en la que se da una presión constante de un gas de tal manera que la proporción de cada gas en la mezcla puede ser mantenida de forma fiable y precisa.

- 40 En la Figura 19 se muestra una realización alternativa de un mezclador de gases 900. El mezclador de gases es susceptible de hacerse funcionar para controlar electrónicamente la proporción de los dos gases, en común con el mezclador de gases 600, 700, 800 de la realización anterior. Sin embargo, en contraste con el mezclador de gases 700, 800 de las realizaciones anteriores, el mezclador de gases 900 es susceptible de hacerse funcionar para controlar electrónicamente el caudal de flujo másico del gas procedente de la salida 722. A las características del mezclador de gases 900 en común con los mezcladores de gases 700, 800 se les han asignado los mismos números de referencia, y estas no se describirán adicionalmente aquí.

- 45 El mezclador de gases 900 comprende un medidor de peso molecular 950. En esta disposición, el medidor de peso molecular 950 comprende el primer conjunto sensor 752 y un conjunto de flujo másico 952. Cada conjunto 752, 952 está conectado al procesador 230. El primer conjunto sensor 752 es idéntico a los de los mezcladores de gas 700, 800 y no se describirá adicionalmente aquí.

- 50 En la Figura 20 se muestra una realización de un conjunto de flujo másico 952. Una realización adicional de un conjunto de flujo másico 952 se muestra en la Figura 21.

- 55 Haciendo referencia, en primer lugar, al conjunto de flujo másico 952 de la Figura 20, el conjunto de flujo másico 952 comprende un cuerpo 954 y un conjunto sensor 956. El conjunto sensor 956 es sustancialmente similar a los conjuntos sensores de realizaciones anteriores y se han utilizado para él los mismos números de referencia.

- 60 El cuerpo 954 puede comprender cualquier material adecuado; por ejemplo, acero, aluminio o materiales compuestos. El cuerpo 954 comprende un conducto 958 y un alojamiento 960. El conducto 958 está en comunicación con el interior de la tubería de suministro 720 (Figura 19) y se ha dispuesto para conectarse a la

misma. El conducto 958 proporciona un camino de comunicación entre la salida 722 y la tubería de suministro 720.

5 Una placa agujereada 962 está situada en el interior del conducto 958. La placa agujereada 962 comprende una pared que delimita un orificio de restricción 964. La placa agujereada 962 constituye una restricción del flujo por el interior del conducto 958. El orificio 964 tiene un área de sección transversal A que es pequeña en relación con el área de sección transversal del conducto 958, de tal manera que la velocidad de flujo a través del orificio 964 se encuentra en un estado estrangulado, como se describirá más adelante.

10 Si bien la placa agujereada 962 se ha mostrado como una placa de pared delgada en la Figura 20, esta no tiene por qué ser así necesariamente. La placa agujereada 962 puede adoptar cualquier forma de pared adecuada y puede tener un perfil gradualmente estrechado, o puede tener un espesor mayor que el mostrado. Alternativamente, puede utilizarse cualquier restricción de flujo adecuada en lugar de la placa agujereada 962. Por ejemplo, la restricción de flujo puede comprender una porción de un tubo de diámetro más estrecho que el del resto del mismo. La persona experta se apercibirá fácilmente de restricciones de flujo alternativas que pueden utilizarse para proporcionar un orificio de restricción de flujo 964 a través del cual, durante el uso, se produzca el estrangulamiento del flujo.

15 En la presente realización, el conducto 958 tiene una longitud del orden de unos pocos centímetros. La placa agujereada 962 delimita un orificio 964 que tiene un diámetro comprendido en el intervalo entre 0,1 mm y 4 mm. Este es suficiente para proporcionar un estado de estrangulamiento de flujo y para suministrar un caudal de flujo de gas a través del orificio 964 de entre 1 y 40 litros / minuto para gases tales como el nitrógeno o el argón. Para una mezcla de gases que tengan un peso molecular menor, el diámetro del orificio 964 puede reducirse en escala para conseguir un caudal de flujo similar. Alternativamente, para caudales de flujo más grandes, el orificio 964 puede aumentarse en escala en concordancia, siempre y cuando la presión de aguas arriba sea suficientemente más elevada que la presión de aguas abajo para crear condiciones de estrangulamiento de flujo a través del orificio 964.

20 La placa agujereada 962 divide el interior del conducto 958 en una sección de aguas arriba 966, situada aguas arriba con respecto a la placa agujereada 962, y una sección de aguas abajo 968, situada aguas abajo con respecto a la placa agujereada 962. Durante el uso, cuando el gas está fluyendo desde la tubería de suministro 720 al interior de la parte de aguas arriba 966 del conducto 958, la placa agujereada 962 actuará como una restricción de flujo, con el resultado de un diferencial de presiones entre las porciones de aguas arriba 966 y de aguas abajo 968 del conducto 958. En consecuencia, la porción de aguas arriba 966 del conducto 958 se encuentra en unas primeras presión P_1 y densidad ρ_1 , y la porción de aguas abajo 968 del conducto se encuentra en unas segundas (y, durante el uso, más bajas) presión P_2 y densidad ρ_2 . Esto se describirá en detalle más adelante.

25 El alojamiento 960 está situado adyacente a la porción de aguas arriba 966 del conducto 958 y se ha dispuesto para contener al menos una parte del conjunto sensor 956. El interior del alojamiento 960 puede estar a la presión atmosférica o bien puede estar en comunicación con el interior del conducto 958, y, en consecuencia, a la misma presión que el interior de la conducción de suministro 720. Esto eliminará la necesidad de una alimentación pasante de presión entre el alojamiento 960 y el interior del conducto 958.

30 Alternativamente, el alojamiento 960 puede haberse proporcionado como parte del conducto 958. Por ejemplo, una parte del conducto 958 puede haberse ensanchado para dar acomodo al conjunto sensor 956.

35 El conjunto de flujo másico 954 se ha dispuesto para medir el caudal de flujo másico del gas que pasa a través del orificio 964. Este gas es medido por el conjunto sensor 956. El conjunto sensor 956 comprende un oscilador de cristal de cuarzo 210 conectado a un circuito de excitación 212, un sensor de temperatura 214 y una batería 216, tal y como se ha descrito en realizaciones anteriores.

40 En esta realización, el oscilador de cristal de cuarzo 210 y el sensor de temperatura 222 están situados en comunicación con el interior de la porción de aguas arriba 966 del conducto 958, en tanto que los restantes componentes del conjunto sensor 956 están situados dentro del alojamiento 960. En otras palabras, el oscilador de cristal de cuarzo 210 está inmerso en el gas, aguas arriba de la placa agujereada 962.

45 Una vez que se ha obtenido el valor de densidad por el oscilador de cristal de cuarzo 210, el caudal de flujo másico del gas a través del orificio 964 puede ser determinado por el procesador 230. El caudal de flujo másico, Q, a través de un orificio se define como:

$$18) \quad Q = kv\rho_1A$$

50 Donde k es una constante, v es la velocidad del gas, ρ_1 es la densidad de aguas arriba del gas y A es el área de sección transversal del orificio A. Sin embargo, de la ecuación de Bernoulli 19):

$$19) \quad P_1 + \frac{1}{2}\rho_1v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_2v_2^2$$

A medida que el área de sección transversal de un orificio disminuye, la velocidad del gas aumentará y la presión del gas se reducirá.

5 La determinación del caudal de flujo másico a través del orificio 964 depende un estado conocido como flujo «estrangulado» o «crítico». Tal situación aparece cuando la velocidad del gas alcanza condiciones sónicas, esto es, cuando la restricción de flujo causada por la placa agujereada 962 es tal, que la velocidad del gas que fluye a través del orificio 964 alcanza la velocidad del sonido. Esto ocurre cuando la relación entre presiones a través del orificio 964 (esto es P_1/P_2) es aproximadamente 2 o más. Como medida alternativa, esta condición es generalmente aplicable cuando la presión absoluta de aguas arriba P_1 es al menos entre 0,5 y 1 bar más elevada que la presión absoluta de aguas abajo P_2 .

10 Una vez que se cumple esta condición, se produce un incremento adicional muy pequeño en la velocidad del aire a través del orificio 964. Por lo tanto, en el estado de flujo estrangulado en el que $v = c$ (la velocidad del sonido en el gas en cuestión), la ecuación 18) se convierte en:

$$20) \quad Q = kc\rho_1 A$$

20 En consecuencia, para un orificio que tiene un área de sección transversal fija A , el flujo másico a través del orificio 964 depende únicamente de la densidad aguas arriba. Este es el parámetro para cuya medición se ha dispuesto el oscilador de cristal de cuarzo 210.

25 La Figura 12 ilustra datos experimentales de medición del caudal de flujo másico. La Figura 22 es un gráfico de frecuencia resonante (en kHz) en el eje Y, en función del caudal de flujo de gas (en litros / minuto), en el eje X, para gas nitrógeno. Como se muestra, el gráfico es altamente lineal y muestra que el caudal de flujo másico puede ser medido con precisión utilizando el oscilador de cristal de cuarzo 210.

30 Por otra parte, la alta precisión del oscilador de cristal de cuarzo 210 hace posible la medición hasta una precisión muy elevada, con una resolución de partes por millón. Asociada con la respuesta lineal del sensor de densidad de cuarzo 210 a altas densidades y presiones, la elevada precisión permite medir de forma precisa el caudal de flujo másico de gases muy ligeros tales como el H_2 y el He.

35 Sin embargo, como se ha descrito en lo anterior, la medición del flujo másico utilizando el oscilador de cristal de cuarzo 210 únicamente será precisa en condiciones de flujo estrangulado, es decir, cuando la velocidad del flujo a través del orificio 964 sea cercana o igual a la velocidad del sonido en el gas. Esto precisará, en la práctica, que el usuario mantenga un flujo de gas mínimo particular a través de la conducción de suministro 720, al objeto de proporcionar una medición precisa.

40 Como resultado de ello, un único oscilador de cristal de cuarzo de aguas arriba 210 que funciona solo es incapaz de proporcionar una indicación sobre si está presente un estado de flujo estrangulado a través del orificio 964. La realización de la Figura 21 es susceptible de hacerse funcionar para tratar este aspecto.

45 En el conjunto de flujo másico 952 de la Figura 21, se proporciona un conjunto sensor adicional 970 que comprende un oscilador de cristal de cuarzo adicional 972. El uso de sensores piezoeléctricos tanto aguas arriba como aguas abajo del orificio 964 permite conseguir una medición del flujo precisa.

50 Como se ha expuesto anteriormente en relación con la ecuación 19), el caudal de flujo másico Q es proporcional a la densidad de aguas arriba ρ_1 si la velocidad del flujo de fluido a través del orificio 964 es sónica o cercana a la sónica. Como se ha expuesto en lo anterior, este estado es generalmente satisfecho si la relación entre la presión de aguas arriba y la presión de aguas abajo (esto es, P_1/P_2) es aproximadamente 2 o más.

55 Sin embargo, en la práctica, la relación de presiones puede ser insuficiente. La aplicación de la ecuación de Bernoulli y la teoría establecida del flujo estrangulado y la velocidad del sonido, conduce a la ecuación 21):

$$21) \quad Q = k'Ac \sqrt{(\rho_1^2 - \rho_1\rho_2)}$$

60 donde k' es una constante adimensional, A es el área del orificio, ρ_1 es la densidad de aguas arriba y ρ_2 es la densidad de aguas abajo.

Claramente, si $\rho_1/\rho_2 \geq 2$, entonces la ecuación 21) puede ser aproximada por la ecuación 20) anterior, debido a que se considera que está presente un estado de flujo estrangulado a través del orificio 964. Por lo tanto, en este caso, la medición por parte únicamente del primer conjunto sensor 956 puede ser utilizada para proporcionar una indicación precisa del caudal de flujo másico en situaciones en las que $\rho_1/\rho_2 \geq 2$.

5 Sin embargo, si la relación es menor que este valor, entonces puede utilizarse la ecuación 18) para calcular el caudal de flujo másico, utilizando ambos conjuntos sensores 954, 970 para medir la densidad de aguas arriba ρ_1 y la densidad de aguas abajo ρ_2 , respectivamente, y para determinar el caudal de flujo másico para caudales de flujo a través del orificio 964 por debajo de las condiciones de flujo estrangulado.

Haciendo referencia, de nuevo, a la Figura 19, puede utilizarse ya sea el conjunto de flujo másico 952 de la Figura 20, ya sea el conjunto de flujo másico 952 de la Figura 21, con el mezclador de gases 900.

10 Se describirá, a continuación, el funcionamiento del mezclador de gases 900. Como se ha explicado anteriormente, el medidor de peso molecular 950 es capaz de determinar el peso molecular promedio de una mezcla de gases A y B. Además, el medidor de peso molecular 950 es susceptible de hacerse funcionar para determinar y establecer electrónicamente el caudal de flujo másico desde la salida 722.

15 Cuando dos gases se mezclan en diferentes proporciones, el peso molecular promedio de la mezcla de gases variará de acuerdo con la proporción relativa de cada gas. Por lo tanto, realizando una medición del peso molecular promedio de la mezcla, y conociendo los pesos moleculares de cada gas individual así como la presión y la temperatura, es posible determinar la proporción de cada gas en la mezcla, junto con la salida de flujo másico deseada.

20 El caudal de flujo másico deseado de la mezcla de gases se ajusta por un usuario o puede ser ajustado automáticamente. Esto determina un punto de ajuste en el procesador 230. Se supone que el gas A procedente de la primera fuente de aporte de gas 702 es el gas mayoritario y que el gas B procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704 es el gas minoritario.

25 En común con realizaciones anteriores, se utiliza el conjunto sensor 752 para calcular la presión P aguas abajo de la válvula de solenoide 714. Puesto que el peso molecular de la primera fuente de aporte de gas, MW_A , es conocido (debido a que el primer gas A procedente de la fuente de aporte de gas 702 es un gas envasado), la presión inmediatamente aguas abajo de la válvula de solenoide 714 puede ser determinada a partir de la ecuación 10) anterior.

30 El valor medido de P, según se mide por el conjunto sensor 752, es entonces utilizado por el procesador 230. El peso molecular promedio de la mezcla de gases de la tercera conducción de suministro 720 es determinado por el conjunto sensor 965 que forma parte del conjunto de flujo másico 952. En esta realización, el oscilador de cristal de cuarzo 210 es susceptible de hacerse funcionar, en común con el oscilador 758 de realizaciones anteriores, para determinar la densidad ρ_{mix} de la mezcla de gases de la tercera conducción de suministro 720 o de la porción de aguas arriba 966 del conducto 954. El peso molecular promedio MW_{mix} de la mezcla de gases puede ser entonces determinado por el procesador 230 a partir de la ecuación 10) anterior.

40 A fin de calcular el caudal de flujo másico de acuerdo con la ecuación 20) (de manera que ρ_1 , en la ecuación 20), corresponde a ρ_{mix}), se hace entonces necesario calcular la velocidad del sonido en la mezcla de gases por medio de la ecuación 22):

$$22) \quad c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{MW_{mix}}}$$

45 donde γ es la relación entre los calores específicos a presión constante y a volumen constante (entre 1,3 y 1,667, dependiendo del gas –esta puede ser preestablecida por el usuario, por ejemplo, para el gas mayoritario–), R es la constante de los gases y T es la temperatura absoluta de la mezcla antes del orificio 964.

50 El caudal de flujo puede ser entonces calculado de acuerdo con la ecuación 23):

$$23) \quad Q = kc\rho_{mix}A$$

55 El valor del caudal de flujo Q puede ser entonces comparado con el valor de punto de ajuste predeterminado, y la diferencia (proporcional, opcionalmente incluyendo una integral y/o un diferencial con respecto al tiempo), aportada como realimentación a la válvula 714 para ajustar el caudal de flujo másico en correspondencia.

60 El porcentaje en volumen (%B) del gas minoritario B procedente de la segunda fuente de aporte de gas 704 puede ser determinado de acuerdo con las ecuaciones 11) y 12) anteriores, y ajustado según sea apropiado por el medidor de peso molecular 950.

La realización anterior proporciona un método de bajo coste, fiable y robusto para proporcionar una mezcla precisa

de gases a un caudal de flujo másico dado, esto es, en el cual se requiere un flujo másico constante de un gas, y de tal manera que la proporción de cada gas en la mezcla puede ser mantenida de forma fiable y precisa.

5 En la Figura 23 se muestra una realización alternativa de un mezclador de gases 1000. El mezclador de gases 1000 es susceptible de hacerse funcionar para controlar electrónicamente la proporción de los dos gases, en común con el mezclador de gases 600, 700, 800, 9000 de la realización anterior.

10 En común con el mezclador de gases 800 de la Figura 18, el mezclador de gases 100 es susceptible de hacerse funcionar para controlar electrónicamente el caudal de flujo másico de gas desde la salida 722. A las características del mezclador de gases 1000 que son comunes con los mezcladores de gases 700, 800, 900 se les han asignado los mismos números de referencia, de manera que no se describirán adicionalmente aquí.

15 El mezclador de gases 100 comprende un medidor de peso molecular 1050. En esta disposición, el medidor de peso molecular 1050 comprende el primer conjunto sensor 752 y el segundo conjunto sensor 754 del mezclador de gases 800 de la Figura 18. Además de ello, el medidor de peso molecular 1050 comprende un conjunto de flujo másico 1052. El conjunto de flujo másico 1052 está situado en la primera conducción de suministro 706, aguas abajo de la segunda válvula de solenoide 714 y aguas arriba del conjunto sensor 756.

20 Cada conjunto 752, 756, 1052 está conectado al procesador 230. El primer conjunto sensor 752 y el segundo conjunto sensor 756 son idénticos a los de los mezcladores de gases 700, 800 y no se describirán adicionalmente aquí. El conjunto de flujo másico 1052 es sustancialmente similar a los conjuntos de flujo másico 952 mostrados en la Figura 20 o en la Figura 21. Cualquiera de ellos puede utilizarse en esta disposición. Para los propósitos de su descripción estructural, la diferencia de esta realización es que el conjunto de flujo másico 1052 está situado en la primera conducción de suministro 706, aguas arriba de la unidad mezcladora 718, en lugar de aguas abajo con respecto a la misma, como en la realización precedente.

25 Se describirá, a continuación, el funcionamiento del medidor de peso molecular 1050. En esta realización, el conjunto de flujo másico 1052 es esencialmente independiente de la determinación del peso molecular, en contraste con la realización previa, en la que el sensor de densidad de cuarzo 210 se utilizaba para ambas funciones.

30 En esta realización, el conjunto de flujo másico 1052 se utiliza primeramente para medir la densidad del gas A (ρ_A) aguas arriba del orificio 964, utilizando el oscilador de cristal de cuarzo 210 (Figura 20/21). Se mide también la temperatura absoluta aguas arriba del orificio 964 utilizando el sensor de temperatura 214. Puede determinarse entonces el caudal de flujo másico del gas A procedente de la primera fuente de aporte de gas 702, por las ecuaciones 22) y 23):

Puede calcularse entonces el caudal de flujo de acuerdo con la ecuación 24):

40 24)
$$Q = kc\rho_A A$$

donde

25)
$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{MW_A}}$$

45 donde γ es la relación entre los calores específicos a presión constante y a volumen constante (entre 1,3 y 1,667, dependiendo del gas –este valor puede ser preestablecido por el usuario, por ejemplo, para el gas mayoritario), R es la constante de los gases y T es la temperatura absoluta del gas A antes del orificio 964.

50 Puede entonces utilizarse un valor de punto de ajuste introducido en el procesador 230 para controlar la válvula de solenoide 714, a fin de mantener un flujo constante del gas A a través del orificio 964. El uso de esta solución tiene el beneficio de que no es necesaria una corrección de la velocidad del sonido en una mezcla de gases, debido a que se está produciendo el estado de flujo estrangulado en un único gas, el gas A.

55 La presión P aguas abajo del conjunto de flujo másico 1052 puede ser determinada por el conjunto sensor 752 de acuerdo con la ecuación 26):

26)
$$P = \frac{RT}{MW_A} \rho'_A$$

60 Donde ρ'_A es la densidad del gas A aguas abajo del orificio 964, según se mide por el oscilador de cristal de cuarzo 756 del conjunto sensor 752.

- Además de ello, el oscilador de cristal de cuarzo 756 puede ser también utilizado para comprobar el funcionamiento del conjunto de flujo másico 1052 y, en caso necesario, proporcionar una corrección con arreglo al funcionamiento de la realización representada en la Figura 21.
- Una vez que se ha determinado la presión P, pueden determinarse los valores del peso molecular promedio de la mezcla y del %B utilizando el segundo conjunto sensor 754 y las ecuaciones 11) a 13) anteriores referidos y descritos con referencia a realizaciones anteriores.
- Además de ello, puede situarse un conjunto sensor adicional en la segunda conducción de suministro 708, a la manera de la realización de la Figura 18, si así se desea.
- Variaciones de las anteriores realizaciones resultarán evidentes para la persona experta. La configuración precisa de los componentes de hardware y de software puede diferir y seguir cayendo dentro del alcance de la presente invención. La persona experta se apercebirá fácilmente de configuraciones alternativas que podrían utilizarse.
- Por ejemplo, las realizaciones antes descritas se han servido de un oscilador de cristal de cuarzo que tiene una frecuencia fundamental de 37,768 kHz. Es posible utilizar, sin embargo, cristales que funcionen a frecuencias alternativas. Por ejemplo, pueden utilizarse osciladores de cristal de cuarzo que funcionen a 60 kHz y a 100 kHz con las realizaciones antes descritas. En la Figura 24 se muestra un gráfico que presenta el cambio de frecuencia con la densidad para diferentes cristales. Como ejemplo adicional, puede utilizarse un oscilador de cristal que funcione a una frecuencia de 1,8 MHz.
- El funcionamiento a mayores frecuencias permite que la presión sea supervisada más frecuentemente, debido a que se requiere un intervalo de tiempo más corto para muestrear un número dado de ciclos. Adicionalmente, cristales de frecuencia más elevada permiten utilizar un ciclo de trabajo más pequeño en un modo «durmiente» de un cristal. A modo de explicación, en la mayoría de los casos, el cristal y el circuito de excitación pasarán la mayor parte del tiempo apagados, y solo se encenderán durante un segundo más o menos, cuando sea necesaria una medición. Esto puede ocurrir, por ejemplo, una vez cada minuto. Cuando se utiliza un cristal de frecuencia más elevada, la presión puede medirse más rápido. Por lo tanto, puede reducirse el tiempo en que el cristal está operativo. Esto puede reducir el consumo de energía y, de forma concomitante, aumentar la vida útil de la batería.
- Adicionalmente, las realizaciones anteriores se han descrito por la medición de la frecuencia absoluta de un oscilador de cristal de cuarzo. Sin embargo, en la electrónica autónoma que se incorpora en un regulador asociado a un cilindro de gas, puede resultar ventajoso medir el corrimiento en frecuencia del sensor por comparación de esa frecuencia con un cristal de referencia de idéntico tipo pero encerrado en un vacío o en un envase a presión. El envase a presión puede contener gas con la densidad seleccionada, gas en condiciones atmosféricas, o bien puede estar abierto a la atmósfera exterior al cilindro de gas.
- En la Figura 25 se ha mostrado un conjunto sensor adecuado 1100. El conjunto sensor 1100 comprende un primer oscilador de cristal de cuarzo 1102 y un segundo oscilador de cristal de cuarzo 1104. El primer oscilador de cristal de cuarzo 1102 es un cristal de referencia que está situado dentro de un recipiente 1106 herméticamente cerrado al vacío. El primer oscilador de cristal de cuarzo 1102 es excitado por un circuito de excitación 1108.
- El segundo oscilador de cristal de cuarzo 1104 es un cristal similar al cristal 210 que se ha descrito en las realizaciones anteriores. El segundo oscilador de cristal de cuarzo 1104 está expuesto al entorno de gas contenido en el alojamiento 1106. El segundo oscilador de cristal de cuarzo 1104 es excitado por un circuito de excitación 1110.
- Esta comparación puede llevarse a cabo utilizando un circuito mezclador electrónico 1114 que combina las dos señales de frecuencia y produce una salida a una frecuencia igual a la diferencia entre los dos cristales. Esta disposición permite prescindir de pequeños cambios debidos, por ejemplo, a la temperatura.
- Por otra parte, los circuitos utilizados en el conjunto sensor 956 pueden ser simplificados gracias a que tan solo se requiere medir la frecuencia diferencia. Por otra parte, esta solución resulta particularmente adecuada para uso con un oscilador de cristal de alta frecuencia (MHz), para el que puede ser difícil medir la frecuencia del cristal directamente.
- De manera adicional, no es necesario que toda la electrónica requerida para medir y presentar visualmente la densidad, la masa o el flujo másico esté montada en el cilindro de gas o dentro de él. Por ejemplo, las funciones electrónicas pueden repartirse entre unidades montadas en el cilindro permanentemente y unidades ya sea montadas en una estación de uso del cliente, ya sea montadas temporalmente a la salida del cilindro, tal como en la posición normalmente utilizada para un medidor de flujo convencional.
- Un ejemplo de esta disposición se muestra con referencia a la Figura 26. La disposición comprende un conjunto de

cilindro de gas 1200 que comprende un cilindro de gas 1200, un regulador 1202 y un medidor de peso molecular 1204. El cilindro de gas 1200, el regulador 1202 y el medidor de peso molecular 1204 son sustancialmente similares al cilindro de gas 100, al regulador 150 y al medidor de peso molecular 200, 300, 400, 500, sustancialmente como se ha descrito en lo anterior con referencia a realizaciones anteriores.

5 En esta realización, el medidor de peso molecular 1204 comprende un oscilador de cristal de cuarzo y un circuito de excitación (no mostrado), similares al oscilador de cristal de cuarzo 210 y al circuito de excitación 212 de realizaciones anteriores. Se ha dispuesto una antena 1206 para comunicación por medio de cualquier protocolo de comunicación a distancia adecuado, por ejemplo, Bluetooth, infrarrojos (IR) o RFID. Alternativamente, es posible utilizar una comunicación por cable individual.

10 Como alternativa adicional, es posible emplear métodos de comunicación acústica. La ventaja de tales métodos es que puede llevarse a cabo una comunicación a distancia sin necesidad de una antena externa.

15 Una tubería de conexión 1208 está conectada a la salida del cilindro de gas 1200. La tubería de conexión se termina en una conexión de unión rápida 1210. La conexión de unión rápida 1210 permite que la instalación de tuberías de conexión o sus componentes se conecten y desconecten de manera fácil y rápida al cilindro de gas 1200 y desde este.

20 Se ha proporcionado una unidad de unión rápida 1250 para la conexión al cilindro de gas 1200. Se ha proporcionado un conector de unión rápida complementario 1212 para su conexión al conector 1208. Por otra parte, la unidad de unión rápida 1250 se ha provisto de una unidad de datos 1252. La unidad de datos 1252 comprende un dispositivo de presentación visual 1254 y una antena 1256 para comunicación con la antena 1204 del conjunto de cilindro de gas 120. El dispositivo de presentación visual 1254 puede comprender, por ejemplo, un LCD, un LED o un dispositivo de presentación visual legible con la luz del día, a fin de minimizar el consumo de energía y maximizar la visibilidad del dispositivo de presentación visual.

25 La unidad de datos 1252 puede registrar diversos parámetros según se miden por el conjunto sensor 1202 del conjunto de cilindro de gas 1200. Por ejemplo, la unidad de datos 1252 puede registrar el peso molecular en función del tiempo. Tal registro podría ser de utilidad, por ejemplo, para la soldadura de elementos de contracción, con la intención de comprobar que había flujo de gas presente y corregirlo durante largos procedimientos de soldadura con gas en componentes críticos, o para suministrar datos sobre una empresa en un uso por parte de un cliente particular.

30 Adicionalmente, la unidad de datos 1250 puede haberse dispuesto para proporcionar las siguientes funciones: proporcionar una alarma audible o visible si el tipo de gas cambia; contener y presentar visualmente datos acerca del tipo de gas; proporcionar un funcionamiento multimodal, por ejemplo, un modo de proveedor / relleno y un modo de cliente; permitir la introducción de datos; proporcionar datos tales como un número de cilindro, el tipo de gas, un certificado de análisis, un historial de clientes (quién tenía el cilindro en qué fechas), datos de seguridad y detalles operativos que pueden ser portados de forma compendiada sobre el cilindro.

35 Como alternativa, todos los ejemplos anteriores pueden, opcionalmente, ser tratados por, almacenados en, u obtenidos de un sistema situado enteramente en (o en el interior de) el cilindro de gas 100 o el alojamiento 202 según se ha explicado en términos del medidor de peso molecular 200, 300, 400, 500.

40 Los ejemplos anteriores ilustran disposiciones de mezclador susceptibles de hacerse funcionar para mezclar dos gases en cualquier proporción deseada y con un caudal de flujo másico o presión predeterminados. Es posible, sin embargo, disponer en cascada estas disposiciones con el fin de permitir la mezcla de tres o más gases. Por ejemplo, puede añadirse un conjunto sensor adicional a la salida 722, así como un conjunto sensor adicional a una fuente de gas adicional C. En general, para obtener una mezcla con N componentes, es necesario tener $(2N - 1)$ conjuntos sensores.

45 Si bien las anteriores realizaciones se han descrito con referencia al uso de un oscilador de cristal de cuarzo, la persona experta se apercibirá fácilmente de materiales piezoeléctricos alternativos que también podrían utilizarse. Por ejemplo, una lista no exhaustiva puede incluir osciladores de cristal que comprenden: tantalato de litio, niobato de litio, borato de litio, berlinita, arseniuro de galio, tetraborato de litio, fosfato de aluminio, óxido de bismuto y germanio, cerámica de titanato de zirconio policristalino, cerámica con alto contenido de aluminio, material compuesto de óxido de silicio-zinc, o tartrato de dipotasio.

50

60

REIVINDICACIONES

1. Una disposición mezcladora de gases (700; 800; 900; 1000) que comprende:
- 5 una primera fuente de aporte de gas (702), destinada a suministrar un primer gas;
 una segunda fuente de aporte de gas (704), destinada a suministrar un segundo gas, diferente de dicho primer gas;
 unas primera y segunda válvulas electrónicas (714, 716), destinadas a regular los respectivos flujos de los primer y segundo gases desde las primera y segunda fuentes de aporte de gas;
- 10 un mezclador (718); y
 una salida (722), de tal manera que el mezclador está situado aguas abajo con respecto a las primera y segunda válvulas electrónicas y dispuesto, durante el uso, para mezclar los primer y segundo gases con el fin de proporcionar un gas mezclado a la salida, de tal modo que la disposición mezcladora de gases comprende, adicionalmente, un medidor (750; 850; 950; 1050), comprendiendo el medidor:
- 15 un primer conjunto sensor, susceptible de hacerse funcionar para determinar el peso molecular promedio del gas mezclado, y que incluye un oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia, en contacto con el gas mezclado;
 un segundo conjunto sensor, susceptible de hacerse funcionar para determinar la presión de los primer y segundo gases aguas abajo con respecto a la válvula respectiva de la primera o la segunda válvulas electrónicas, y aguas arriba del mezclador; y
- 20 un controlador, susceptible de hacerse funcionar, en respuesta al peso molecular promedio del gas mezclado y a dicha presión de gas, para controlar automáticamente dichas primera y segunda válvulas electrónicas, al objeto de controlar la proporción relativa de los primer y segundo gases en dicho gas mezclado, y la presión o el caudal de flujo másico del gas mezclado, desde la salida.
- 25 2. Una disposición mezcladora de gases de acuerdo con la reivindicación 1, en la cual el segundo conjunto sensor comprende un segundo oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia, en contacto con el primer o con el segundo gas, aguas arriba del mezclador.
- 30 3. Una disposición mezcladora de gases de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que comprende adicionalmente un tercer conjunto sensor, susceptible de hacerse funcionar para determinar la presión del gas aguas abajo de la otra de la primera o segunda válvulas electrónicas.
- 35 4. Una disposición mezcladora de gases de acuerdo con la reivindicación 3, en la cual el tercer conjunto sensor comprende un tercer oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia, en contacto con el otro del primer o segundo gas, aguas arriba del mezclador.
- 40 5. Una disposición mezcladora de gases de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el primer conjunto sensor comprende adicionalmente un conducto a través del cual fluye el gas mezclado durante el uso, de tal manera que el conducto tiene un orificio de restricción de flujo aguas arriba de dicha salida, a través del cual se produce un estrangulamiento de flujo durante el uso, de tal manera que el orificio de restricción de flujo divide el conducto en una porción de aguas arriba, situada aguas arriba de dicho orificio, y una porción de aguas abajo, en comunicación con la salida, y en la cual dicho oscilador de cristal piezoeléctrico está situado en dicha porción de aguas arriba, siendo el primer conjunto sensor, adicionalmente, susceptible de hacerse funcionar para medir el caudal de flujo másico del gas mezclado a través de dicho orificio.
- 45 6. Un método para proporcionar una mezcla de gases en una proporción relativa, utilizando una disposición mezcladora de gases (700; 800; 900, 1000), de tal manera que la disposición de mezcla de gases comprende una primera fuente de aporte de gas (702) para suministrar un primer gas, una segunda fuente de aporte de gas (704) para suministrar un segundo gas, diferente de dicho primer gas, unas primera y segunda válvulas electrónicas (714, 716) para regular el flujo respectivo de los primer y segundo gases procedentes de las primera y segunda fuentes de aporte de gas, un mezclador (718), situado aguas abajo con respecto a las primera y segunda válvulas electrónicas, una salida (722) y unos primer y segundo conjuntos sensores, de tal manera que el primer conjunto sensor comprende un oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia, en contacto con el gas mezclado, comprendiendo el método:
- 50 a) recibir el primer gas procedente de la primera fuente de aporte de gas;
 b) recibir el segundo gas procedente de la segunda fuente de aporte de gas;
 c) mezclar los primer y segundo gases para formar un gas mezclado;
- 60 d) medir una frecuencia de resonancia del oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia en contacto con el gas mezclado;
 e) determinar, utilizando el segundo conjunto sensor, la presión del primer o del segundo gas aguas abajo de la respectiva válvula de la primera o la segunda válvulas electrónicas y aguas arriba del mezclador;
- 65 f) determinar el peso molecular promedio del gas mezclado a partir de dicha frecuencia de resonancia y de dicha medición de presión; y

g) controlar automáticamente, en respuesta a dicho peso molecular promedio determinado y a dicha medición de presión, dichas primera y segunda válvulas electrónicas para controlar la proporción relativa de los primer y segundo gases en dicho gas mezclado y la presión o el caudal de flujo másico del gas mezclado, desde la salida.

5 7. Un método de acuerdo con la reivindicación 6, en el cual el segundo conjunto sensor comprende un segundo oscilador piezoeléctrico plano de alta frecuencia y la etapa e) comprende medir una frecuencia de resonancia del segundo oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia en contacto con el primer o el segundo gas, aguas arriba del mezclador.

10 8. Un método de acuerdo con la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el cual la disposición mezcladora de gases comprende adicionalmente un tercer conjunto sensor, y el método comprende, adicionalmente, de forma subsiguientemente a la etapa e):

15 h) determinar la presión del gas aguas abajo de la otra de la primera o la segunda válvulas electrónicas.

9. Un método de acuerdo con la reivindicación 8, en el cual el tercer conjunto sensor comprende un tercer oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia, en contacto con el otro del primer o segundo gas, aguas arriba del mezclador, y la etapa h) comprende medir una frecuencia de resonancia del tercer oscilador de cristal piezoeléctrico plano de alta frecuencia en contacto con el primer o segundo gas, aguas arriba del mezclador.

20 10. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en el cual el primer conjunto sensor comprende, adicionalmente, un conducto a través del cual fluye el gas mezclado durante el uso, de tal manera que el conducto tiene un orificio de restricción de flujo aguas arriba de dicha salida, a través del cual se produce un estrangulamiento de flujo durante el uso, de tal manera que el orificio de restricción de flujo divide el conducto en una porción de aguas arriba, situada aguas arriba de dicho orificio, y una porción de aguas abajo, en comunicación con la salida, de manera que el método comprende, adicionalmente:

25 i) determinar, a partir de la frecuencia de resonancia, el caudal de flujo másico del gas a través de dicho orificio.

30 11. Un producto de programa informático ejecutable por un aparato de procesamiento programable, que comprende una o más porciones de software para llevar a cabo las etapas de una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10.

35 12. Un medio de almacenamiento utilizable por una computadora, que tiene un producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 11 almacenado en él.

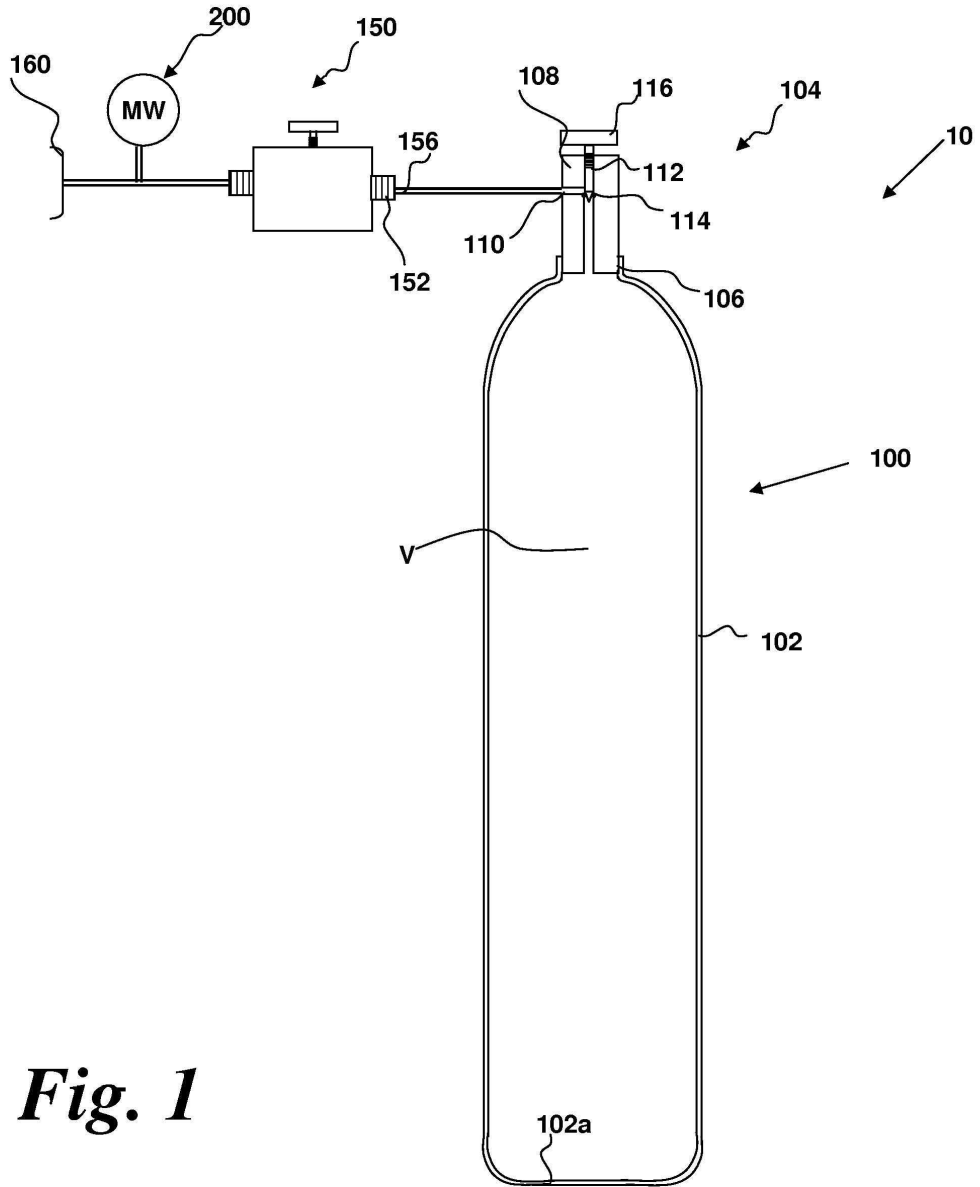


Fig. 1

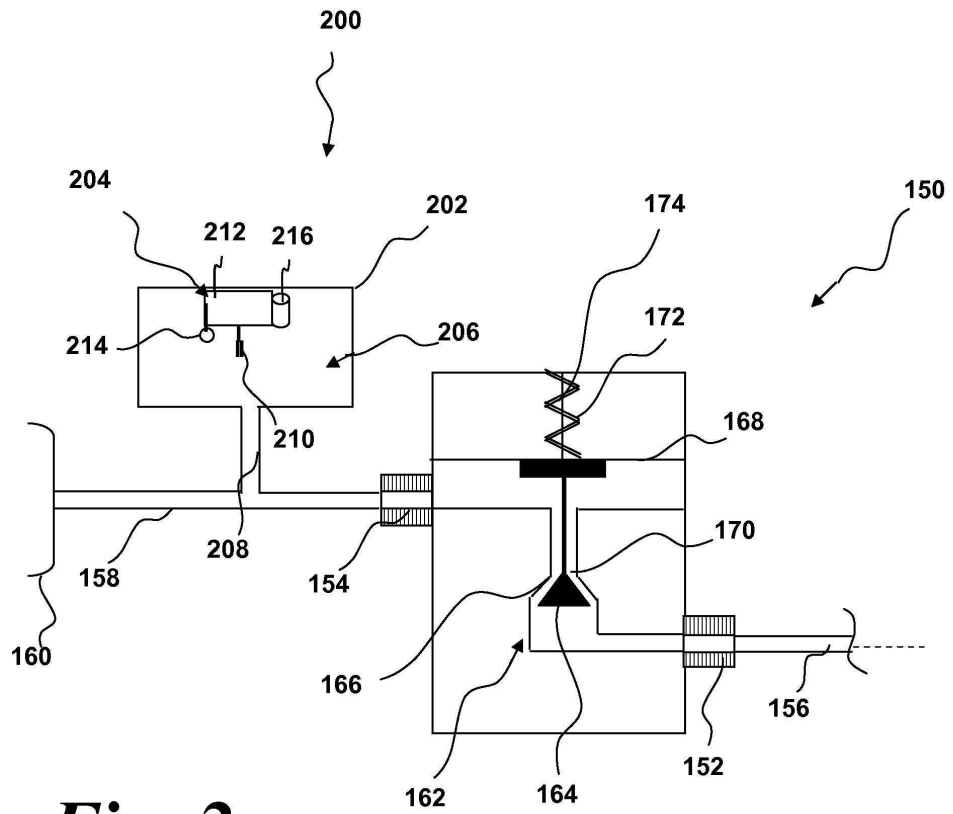


Fig. 2

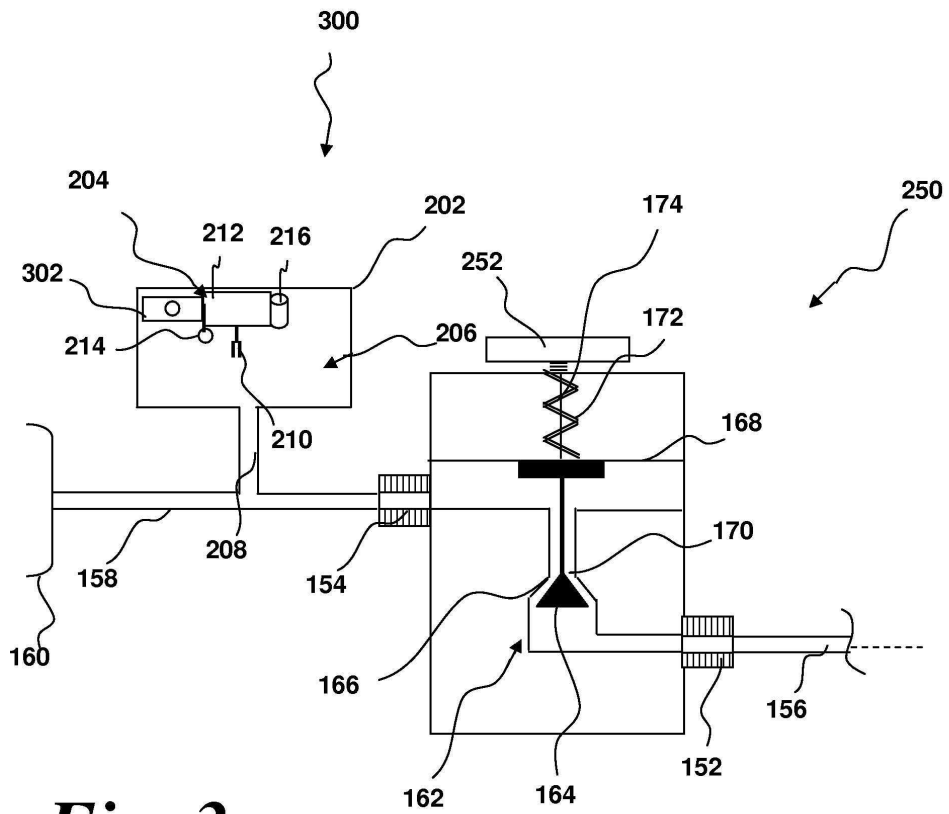


Fig. 3

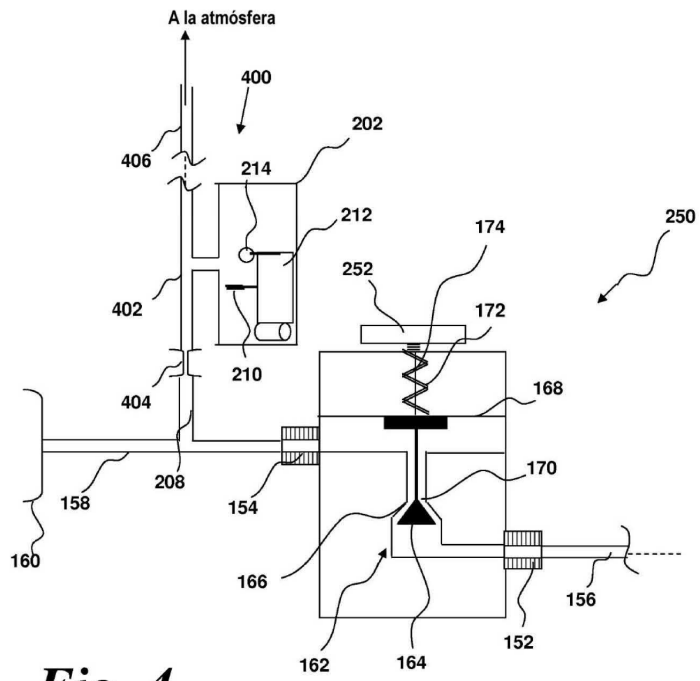


Fig. 4

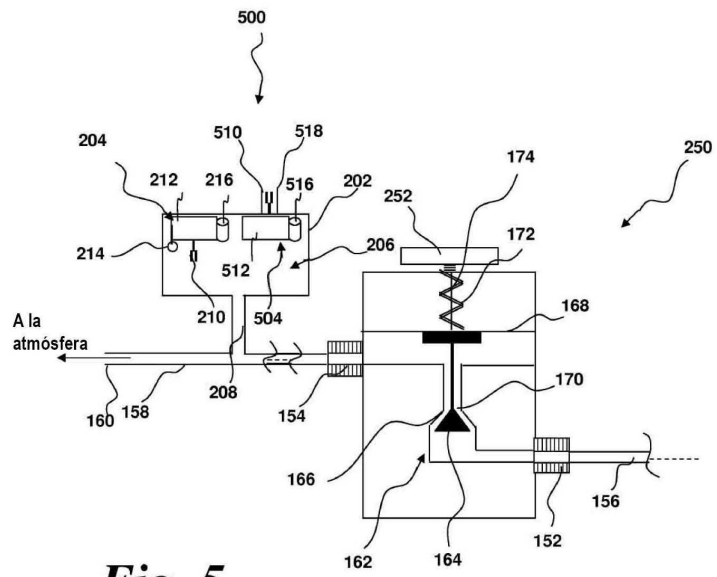


Fig. 5

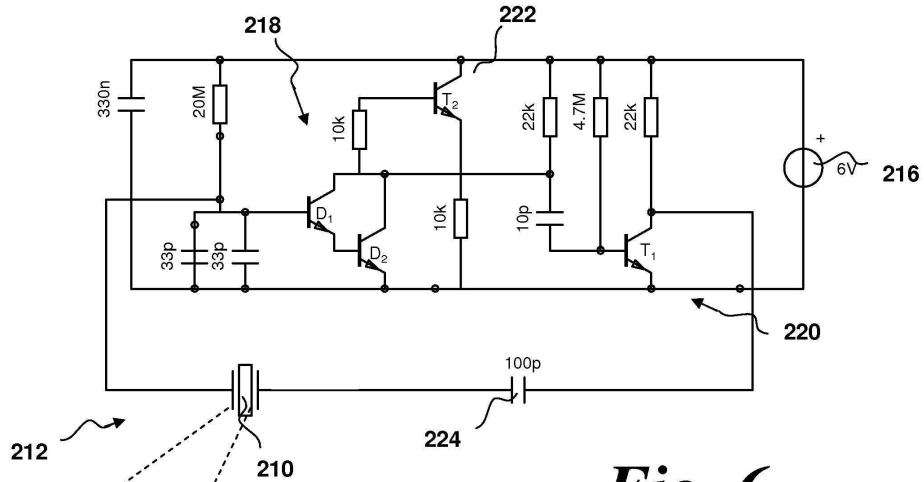


Fig. 6

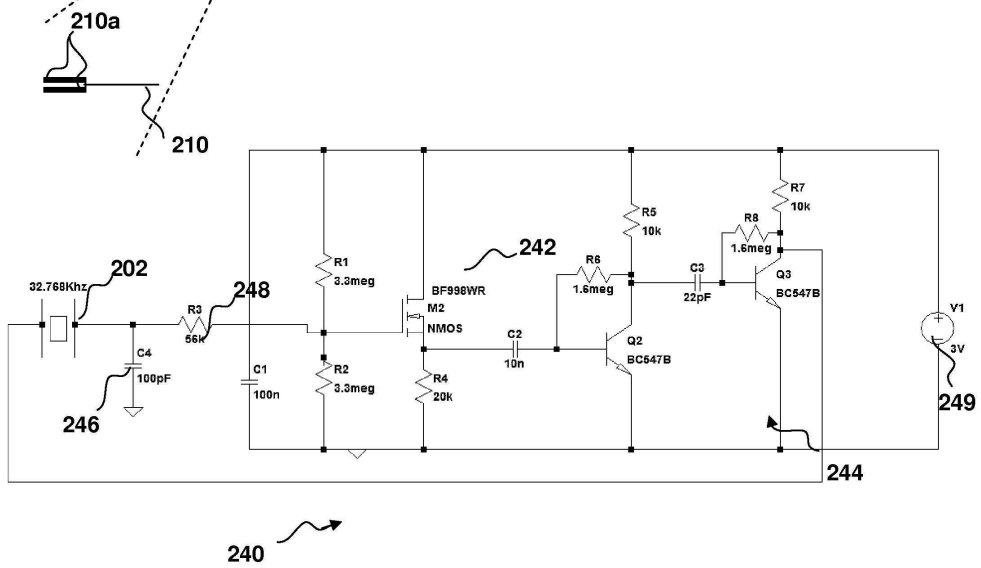


Fig. 7

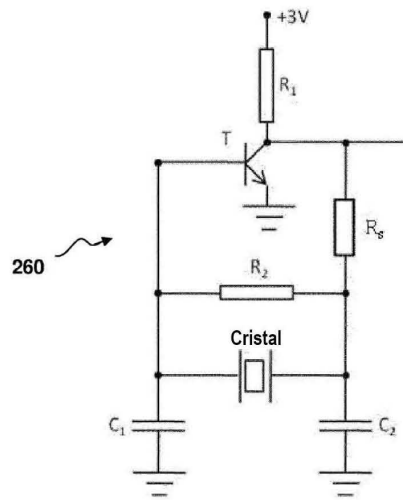


Fig. 8

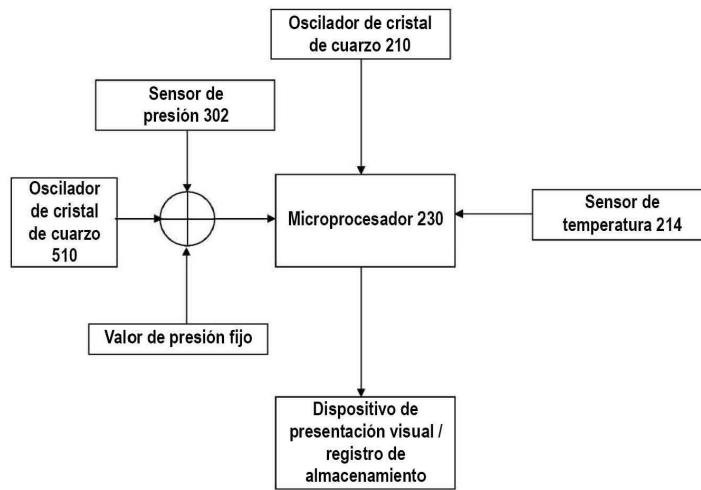


Fig. 9

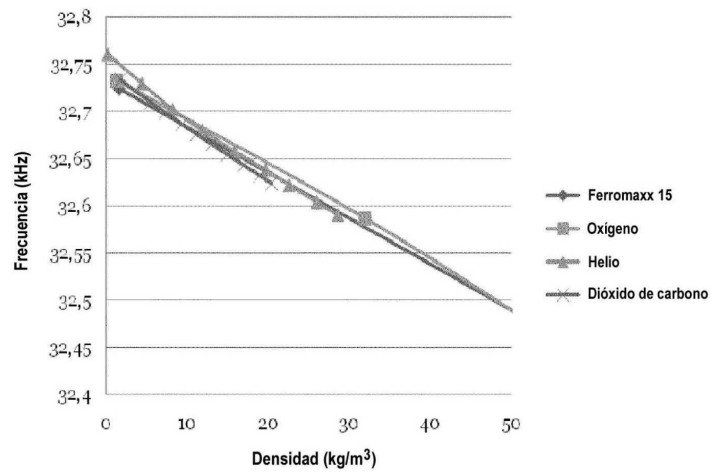


Fig. 10

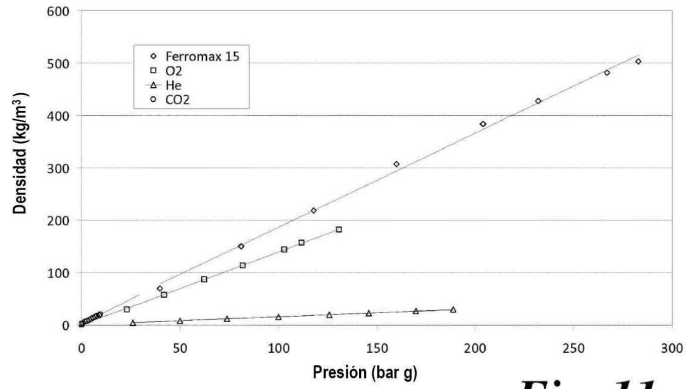


Fig. 11

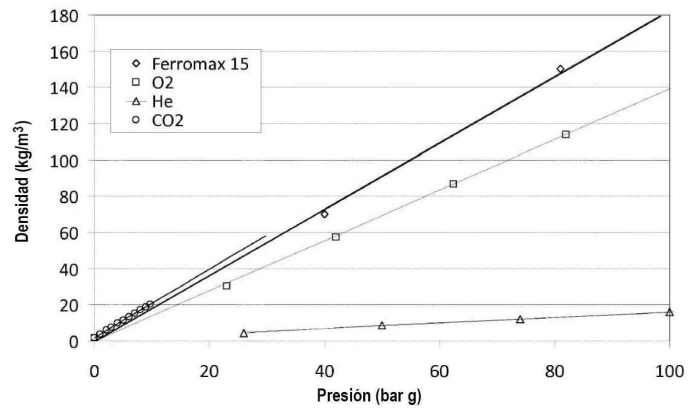


Fig. 12

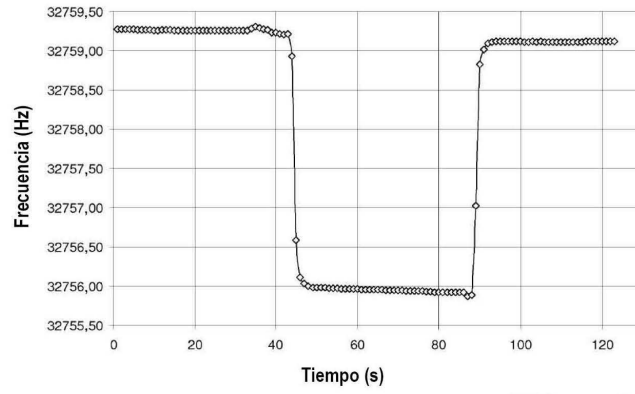


Fig. 13

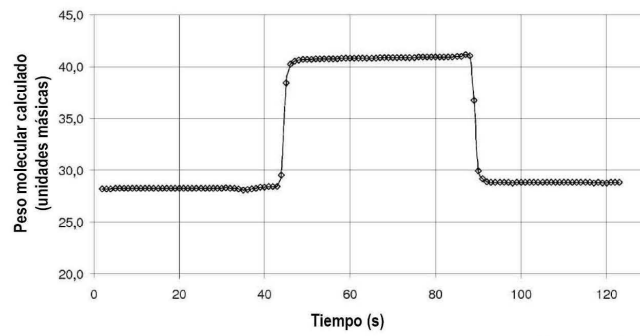


Fig. 14

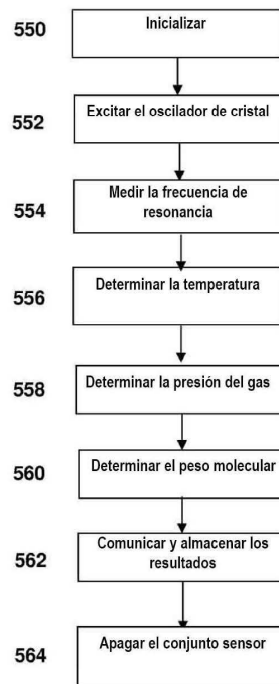


Fig. 15

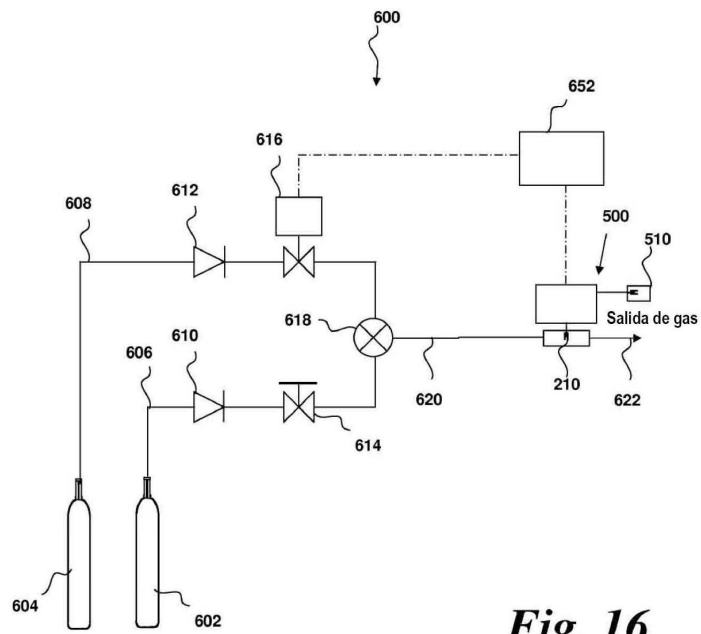


Fig. 16

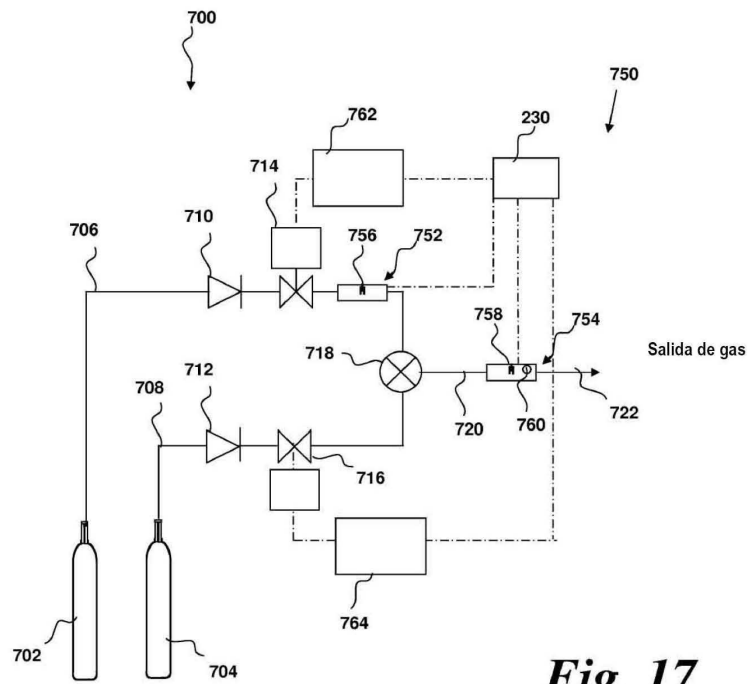


Fig. 17

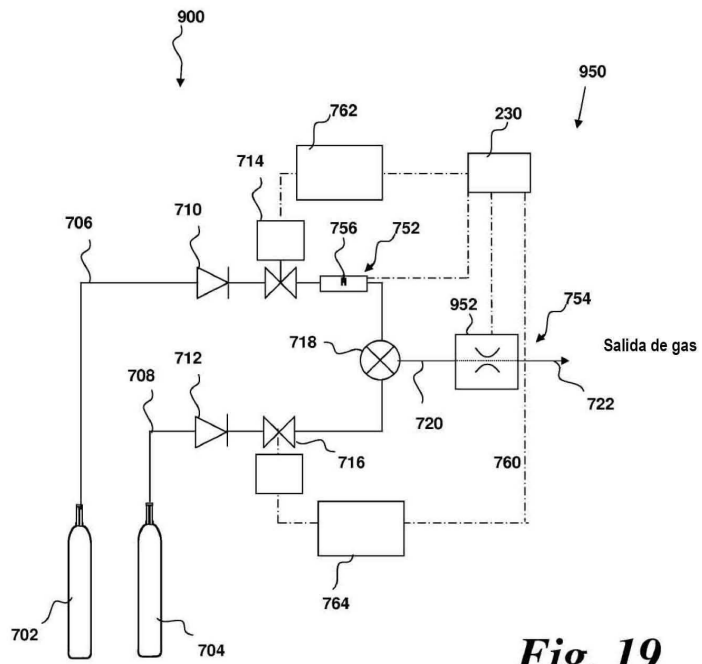
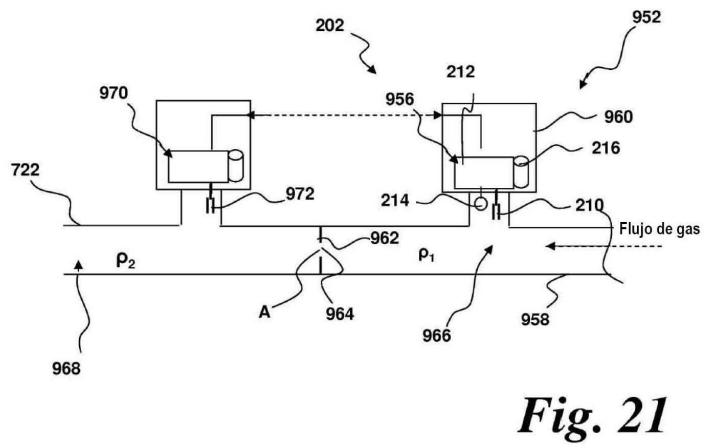
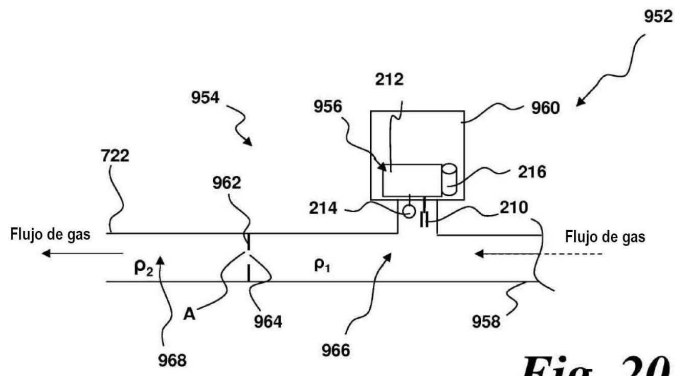


Fig. 19



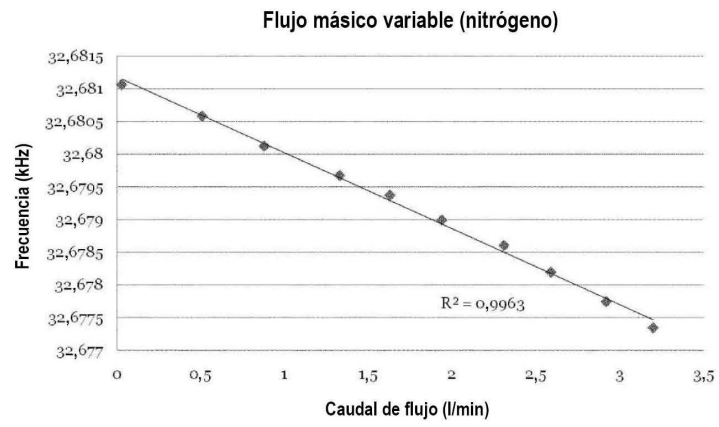


Fig. 22

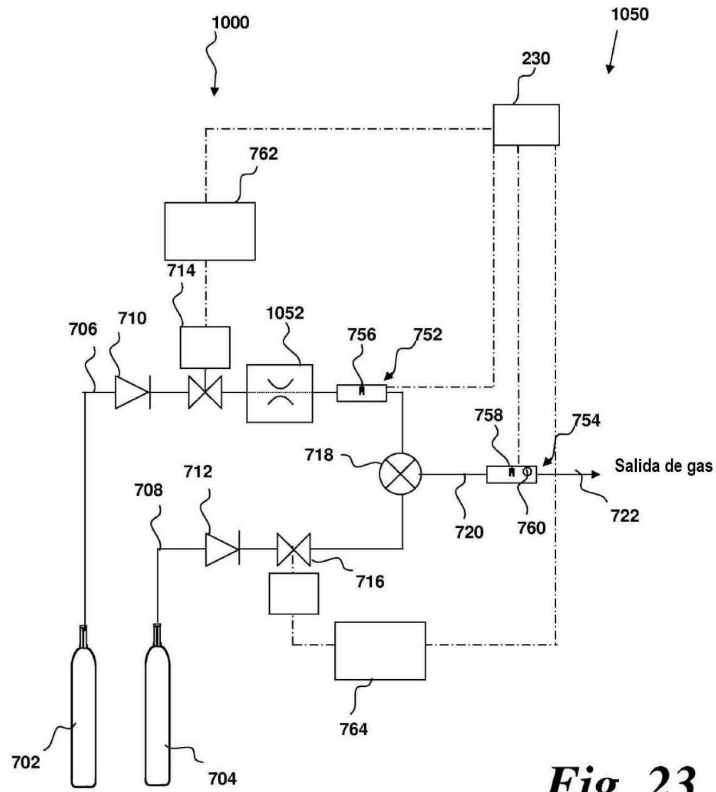


Fig. 23

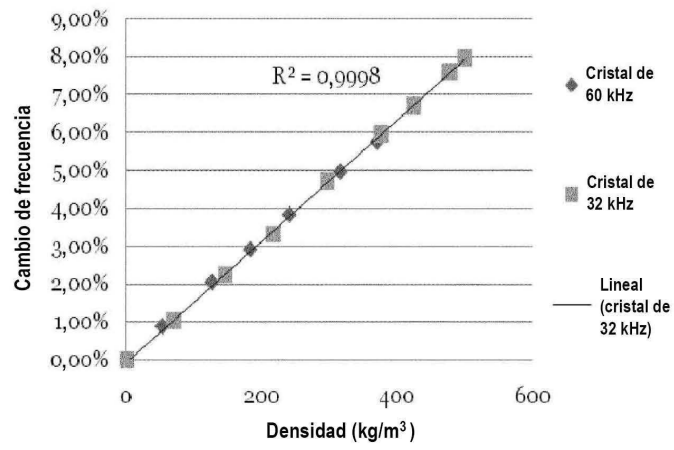


Fig. 24

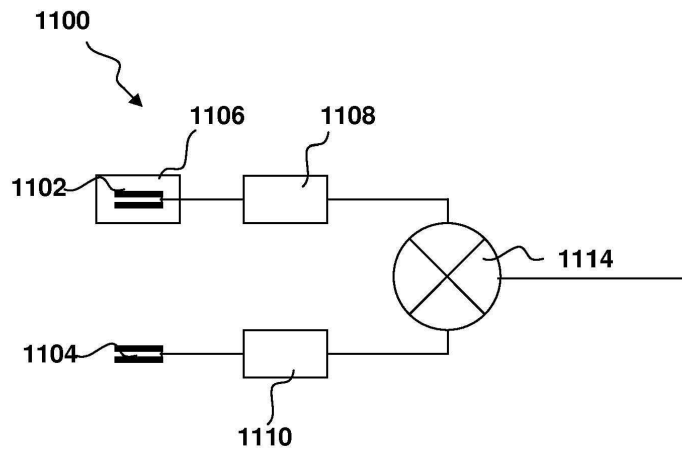


Fig. 25

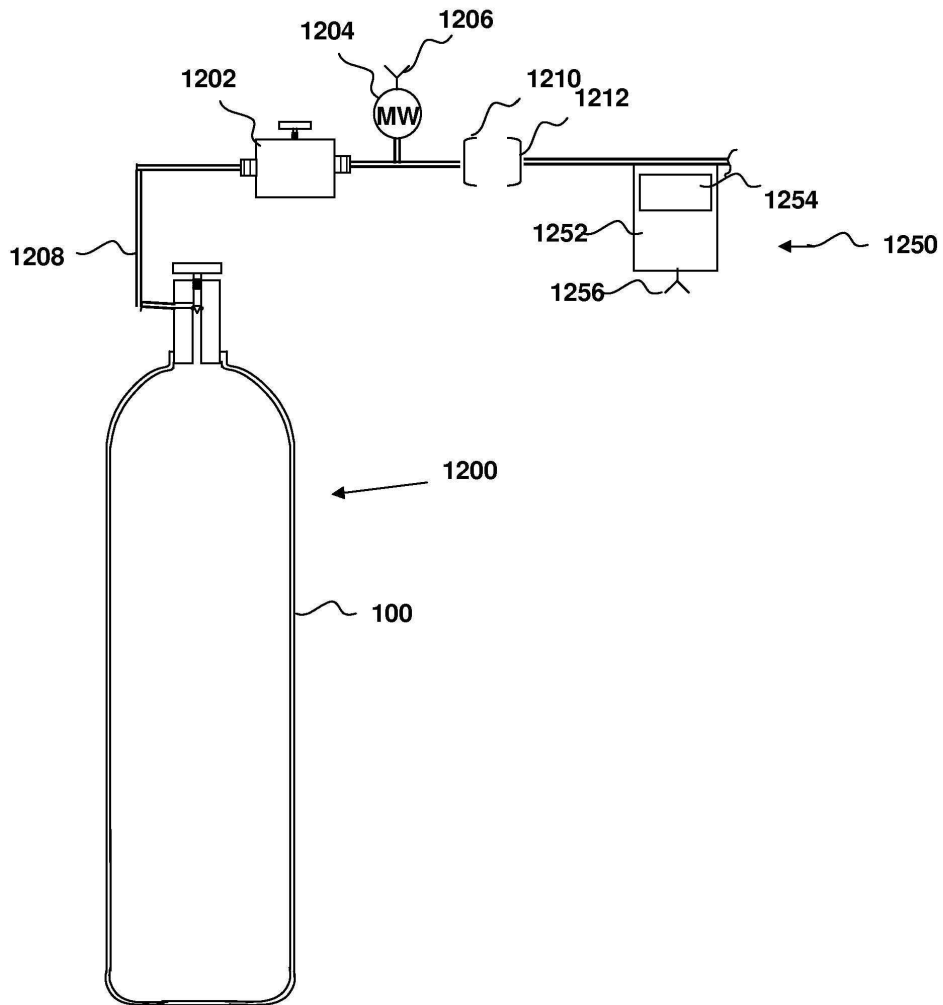


Fig. 26