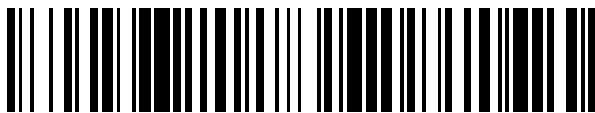


OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 811 679**

⑫ Número de solicitud: 201930795

⑮ Int. Cl.:

G01N 9/28 (2006.01)
G01F 23/16 (2006.01)
C12C 11/00 (2006.01)



PATENTE DE INVENCIÓN CON EXAMEN

B2

⑬ Fecha de presentación:

12.09.2019

⑭ Fecha de publicación de la solicitud:

12.03.2021

Fecha de concesión:

21.03.2022

⑮ Fecha de publicación de la concesión:

28.03.2022

⑬ Titular/es:

KOMSENZO SOLUCIONES SLU (100.0%)
C/ Altasangre, 5
49630 Villalpando (Zamora) ES

⑬ Inventor/es:

PÉREZ MARTÍN, Alberto

⑬ Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

⑬ Título: **SISTEMA PARA LA MEDICIÓN PRECISA DE LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA Y OTRAS VARIABLES DE UN LÍQUIDO CONTENIDO EN EL INTERIOR DE UN DEPÓSITO**

⑬ Resumen:

Sistema para la medición precisa de la presión hidrostática y otras variables de un líquido contenido en el interior de un depósito. El sistema comprende dos unidades de presión de cámara seca (1), ubicadas a diferentes alturas (H_1 , H_2) en el interior de un depósito (13) que contiene un líquido (2) con gases disueltos, que incorporan una cámara (3) rellena de gas (4), un conducto (6) conectado a la cámara (3) y en contacto con el líquido (2) en su extremo libre, y un sensor barométrico microelectromecánico (5) en el interior de la cámara (3) para la obtención de medidas de presión hidrostática del líquido (2). Unos medios de procesamiento de datos reciben y procesan dichas medidas de presión, calculando a partir de ellas con gran precisión la densidad del líquido, el nivel del líquido y/o el grado de fermentación del líquido en el interior del depósito, entre otras variables.

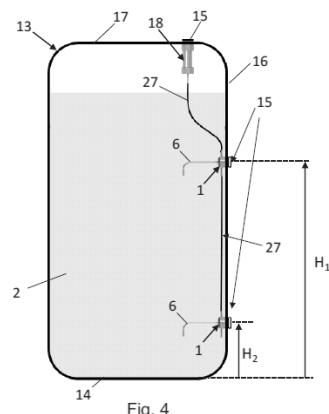


Fig. 4

DESCRIPCIÓN**SISTEMA PARA LA MEDICIÓN PRECISA DE LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA Y OTRAS VARIABLES DE UN LÍQUIDO CONTENIDO EN EL INTERIOR DE UN DEPÓSITO**

5

Campo de la invención

La presente invención se engloba en el campo de los dispositivos de medición de presiones hidrostáticas de líquidos que sufren algún proceso de fermentación en el interior de un depósito, y de los dispositivos de medición de la densidad, nivel del líquido en el depósito, grado de fermentación y otras variables relativas a dichos líquidos.

Antecedentes de la invención

El sector de la electrónica ha desarrollado sensores microelectromecánicos (MEMS) capaces de medir la presión atmosférica con una elevada precisión, de hasta 6 cifras significativas. Estos sensores se utilizan en dispositivos electrónicos para determinar la altura geográfica.

Los sensores de presión utilizados en la industria tienen mucha menor precisión, solo tiene tres o a lo sumo 4 cifras significativas. El empleo de MEMS barométricos ultraprecisos en la industria tiene importantes limitaciones, ya que los sensores barométricos están diseñados para medir gases, mientras que el mayor interés de la industria es la presión de líquidos para poder determinar niveles, caudales o densidades, entre otras parámetros.

Actualmente existen varios dispositivos, como los diagramas de sello, que permiten transferir la presión de líquidos a sensores de gases. No obstante, debido a las fricciones e histéresis de las membranas y dispositivos mecánicos, estos mecanismos introducen un error en la medida, con una pérdida considerable en la precisión.

Para evitar los problemas de fricción de membranas y diafragmas, se puede utilizar un dispositivo de cámara seca, en el que el sensor se sitúa en una cámara llena de un gas atrapado, que está directamente en contacto con el líquido.

El sensor de presión se coloca en una cámara en la que se encuentra atrapado un gas y que tiene una abertura por donde puede entrar y salir el líquido. Al introducir el sensor en el

líquido, este se introduce en la cámara hasta que la presión del gas iguala a la presión hidrostática.

El problema de este sistema es que al introducirse el líquido en la cámara, aumenta la altura

5 de la interfase líquido-gas, introduciendo una perturbación o error en la medida y perdiéndose la precisión del sensor de presión.

La solución convencional de la industria consiste en mantener el nivel de la interfase líquido-gas de la cámara seca, bombeando gas hasta hacerlo burbujeante por la apertura.

10 Nuevamente este sistema tiene problemas de precisión, debido al ruido introducido por el compresor de aire.

La presente invención permite integrar los sensores MEMS de presión de gases para medir de manera sencilla y enormemente precisa la presión de líquidos que tengan gases

15 disueltos. También permite obtener de forma precisa variables asociadas al líquido, como su densidad, nivel del líquido contenido en el depósito, grado de fermentación, etc. No se conoce ningún sensor capaz de medir la densidad del líquido, el nivel del líquido en el depósito o la cinética de fermentación del líquido con el grado de precisión que aporta la presente invención.

20

Descripción de la invención

La presente invención se refiere a un sistema para la medición de la presión hidrostática de un líquido contenido en el interior de un depósito, y otras variables asociadas al líquido, como su densidad o el nivel del líquido contenido en un depósito.

25

La presente invención integra sensores MEMS de presión de gases para medir la presión de líquidos que tengan gases disueltos sin pérdida de precisión. Para mantener la precisión en la medida es necesario mantener constante el nivel del líquido, lo cual se logra utilizando la desorción de los gases disueltos en el líquido. Los gases disueltos en el líquido son 30 generados debido a que el líquido (e.g., vino, cerveza) sufre un proceso de fermentación en el interior del depósito.

El sistema de la presente invención comprende al menos dos unidades de presión de cámara seca ubicadas a diferentes alturas en el interior de un depósito que contiene un

35 líquido con gases disueltos, estando dichas unidades de presión de cámara seca en

contacto con el líquido. El sistema también dispone de unos medios de procesamiento de datos (e.g. una unidad de control basada en procesador) configurados para recibir y procesar las medidas de presión hidrostática del líquido obtenidas por las unidades de presión de cámara seca.

5

Cada unidad de presión de cámara seca a su vez comprende:

- Una cámara rellena de gas, disponiendo la cámara de un orificio de entrada.
- Un conducto conectado al orificio de entrada de la cámara en un primer extremo, estando el conducto en contacto con el líquido en un segundo extremo.
- 10 - Un sensor barométrico microelectromecánico ubicado en el interior de la cámara para la obtención de medidas de presión hidrostática del líquido.

En una realización, los medios de procesamiento de datos están configurados para calcular la densidad del líquido contenido en el depósito a partir de medidas de presión hidrostática 15 obtenidas para al menos dos alturas diferentes del depósito. El sistema puede comprender un sensor de temperatura ubicado en el interior del depósito para medir la temperatura del líquido, estando los medios de procesamiento de datos configurados para obtener la densidad del líquido corregida a una determinada temperatura empleando unos factores de corrección dependientes de la densidad del líquido y la temperatura del líquido medida por el 20 sensor de temperatura. En el caso de que el líquido sufra un proceso de fermentación en el interior del depósito por el cual se generan gases, los medios de procesamiento de datos están preferentemente configurados para obtener una medida de la cinética de fermentación del líquido a partir de los valores de densidad calculados en dos instantes de tiempo diferentes.

25

Los medios de procesamiento de datos pueden estar configurados para:

- Obtener, a partir de las medidas de presión hidrostática obtenidas por al menos una unidad de presión de cámara seca, el periodo del burbujeo y la caída total de la presión durante el desprendimiento de una burbuja producido en la 30 correspondiente unidad de presión de cámara seca.
- Obtener el volumen de la burbuja desprendida en dicha unidad de presión de cámara seca a partir de la densidad del líquido y la caída total de la presión durante el desprendimiento de la burbuja.
- Obtener el flujo de gas emitido en la correspondiente unidad de presión de 35 cámara seca a partir del periodo del burbujeo y del volumen de la burbuja.

El sistema puede comprender un sensor barométrico configurado para medir la presión del gas en el interior del depósito (que coincidirá con la presión atmosférica, en los casos en que el depósito esté ventilado), de forma que los medios de procesamiento de datos están 5 configurados para obtener el nivel de líquido contenido en el depósito a partir de la medida de presión del gas en el interior del depósito y de las medidas de presión hidrostática obtenidas para dos alturas diferentes del depósito. Si el líquido contenido en el depósito es un líquido que sufre un proceso de fermentación en el interior del depósito por el cual se generan gases, los medios de procesamiento de datos pueden estar configurados para 10 obtener el porcentaje volumétrico de gas contenido en el líquido a partir de nivel del líquido en un instante dado y el nivel inicial del líquido obtenido antes de comenzar la fermentación del líquido.

El sistema puede comprender un dispositivo de medición autónomo inalámbrico, situado en 15 la parte superior del depósito sin contactar con el líquido. Dicho dispositivo comprende a su vez una unidad de control configurada para recibir medidas de presión hidrostática obtenidas por cada unidad de presión de cámara seca, un emisor inalámbrico para la transmisión de datos recibidos y/o procesados por la unidad de control, y al menos una batería. El sistema puede también comprender un dispositivo receptor con una unidad de 20 control, un receptor inalámbrico, un transmisor y al menos una batería, estando el dispositivo receptor ubicado en el exterior del depósito y configurado para recibir, procesar y transmitir (e.g. inalámbricamente) la información enviada por el dispositivo de medición autónomo inalámbrico. Dicha información es preferentemente enviada a los medios de procesamiento de datos para que puedan proceder al cálculo de las distintas variables. El dispositivo de 25 medición autónomo inalámbrico y/o el dispositivo receptor pueden estar fijadas a las paredes o a la superficie superior del depósito mediante imanes, utilizando un imán solidario al dispositivo y un imán exterior al depósito de forma que la atracción ejercida entre los imanes es suficiente para que queden fijos en la pared del depósito . Igualmente, las unidades de presión de cámara seca pueden emplear imanes para su fijación a las paredes 30 del depósito. De esta forma se evita perforar el depósito para el paso de cableado que transmita las señales de los sensores de presión.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a 35 comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de

dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

Las Figuras 1A, 1B y 1C representan de manera esquemática una unidad de presión de cámara seca utilizada para la medida precisa de la presión hidrostática de un líquido.

- 5
- Las Figuras 2A y 2B muestran dos formas alternativas y opcionales para maximizar el efecto de la desorción y aumentar el flujo de gas hacia la cámara de la unidad de presión de cámara seca.

- 10 La Figura 3 ilustra la evolución de la presión hidrostática del líquido durante el burbujeo.

La Figura 4 representa una posible realización de la presente invención, en la que se emplea un dispositivo de medición autónomo inalámbrico que recoge las medidas de presión y las transmite al exterior del depósito de manera inalámbrica.

- 15
- Las Figuras 5A a 5D representan diferentes vistas de una unidad de presión de cámara seca de la Figura 4.

- 20 Las Figuras 6A a 6D representan distintas vistas del dispositivo de medición autónomo inalámbrico de la Figura 4.

Las Figuras 7A a 7C ilustran un ejemplo de comunicación de las medidas de presión hidrostática hacia un servidor central remoto en el cual se realizan los cálculos de las variables, y el acceso remoto a dichas variables calculadas por parte de un usuario.

- 25
- La Figura 8 ilustra la gráfica de la evolución de la presión en el tiempo, a partir de la cual se pueden obtener diferentes parámetros como la presión media, el período de burbujeo y la caída de presión total producida en el desprendimiento de la burbuja.

- 30 La Figura 9 muestra de manera esquemática diferentes parámetros empleados para el cálculo de las variables.

La Figura 10 representa un diagrama de obtención de diferentes variables relacionadas con el proceso de fermentación del líquido.

- 35

Descripción detallada de la invención

- En la **Figura 1A** se representa, de manera esquemática, una unidad de presión de cámara seca 1 utilizada para la medida de la presión hidrostática de un líquido 2. En el interior de una cámara 3 rellena de un gas 4 se ubica un sensor de presión, en concreto un sensor 5 barométrico microelectromecánico (MEMS) 5 de alta precisión. Un tubo o conducto 6 está conectado a la cámara 3 a través de una abertura u orificio 7 practicada en las paredes que conforman la cámara 3. La cámara 3 y el conducto 6 están inicialmente llenos de gas 4, normalmente aire.
- 10 Cuando la unidad de presión de cámara seca 1 se introduce en un líquido 2 que contiene gases disueltos, el líquido 2 entra en el conducto 6, tal y como se representa en la Figura 1A, desplazando al gas 4 contenido en el conducto hacia el interior de la cámara 3 y aumentando así la presión del gas 4 hasta que se iguala con la presión hidrostática del líquido 2. En el momento del equilibrio de presiones el gas 4 está directamente en contacto 15 con el líquido cuya presión hidrostática se desea medir.

La **Figura 1B** representa el momento inicial de equilibrio de presiones a través de la interfase líquido-gas 8. Los gases disueltos en el líquido 2 se desorben a través de la interfase líquido-gas 8, produciéndose un flujo de gas 9 desde el líquido hacia el interior de 20 la cámara 3.

El gas 4 inicialmente contenido en la cámara es normalmente un gas diferente a los gases disueltos en el líquido, los cuales se van paulatinamente introduciendo en la cámara a través del flujo de gas 9 por efecto de la desorción del líquido. El gas 4 inicialmente contenido en la 25 cámara 3 es normalmente aire, mientras que los gases disueltos en el líquido se desprenden debido a reacciones químicas producidas en un proceso de fermentación (aeróbica o anaeróbica) del líquido. A lo largo de la fermentación del líquido el gas contenido en la cámara, inicialmente aire, va variando su composición, por ejemplo en el caso de la fermentación de vino va aumentando la concentración de CO₂ y disminuyendo la de O₂ y N₂ 30 hasta que prácticamente todo el gas contenido en la cámara es finalmente CO₂. Durante la fermentación, el gas en el interior de la cámara es por tanto una mezcla de aire con el gas disuelto en el líquido. El gas queda atrapado en el interior de la cámara por acción de la presión del líquido. Para facilitar que el gas quede atrapado se puede emplear como conducto 6 un tubo invertido orientado verticalmente o con una cierta angulación con 35 respecto a la horizontal (e.g., 45°) hacia la superficie inferior del depósito.

Por ejemplo, el líquido puede ser cualquiera que realice un proceso de fermentación alcohólica (e.g., vino, cerveza, etc.), por el cual se genera dióxido de carbono CO₂, que queda disuelto en el líquido. El líquido puede ser también aguas residuales, de forma que en 5 el proceso de tratamiento de aguas residuales, concretamente en la biometanización, se genera biogás por descomposición anaeróbica de dichas aguas residuales.

Debido al flujo de gas 9 producido en la interfase líquido-gas 8, el volumen del gas 4 en el interior de la cámara 3 aumenta y la interfase líquido-gas 8 va descendiendo hasta que 10 alcanza el borde del conducto 6 y comienza un proceso de burbujeo (**Figura 1C**). Las burbujas 10 producidas en el burbujeo se generan por la desorción de los gases disueltos en el líquido 2, de una manera espontánea, sin necesidad de utilizar un compresor externo.

Opcionalmente, para maximizar el efecto de la desorción y aumentar el flujo de gas 9 hacia 15 la cámara 3, se pueden utilizar conductos 6 de sección variable, como se representa en el ejemplo de la **Figura 2A**. Cuanto mayor sea la diferencia entre la interfase líquido-gas 8 y el extremo del conducto 6, mayor será el área de la interfase, y por lo tanto el flujo de gas 9 hacia la cámara 3. Alternativamente, también se puede ampliar la superficie de la interfase líquido-gas 8 empleando una malla o membrana 11 permeable en una pared de la cámara 3 20 que permita el contacto del gas con el líquido al tiempo que impida la salida de los gases, como se ilustra en el ejemplo de la **Figura 2B**. Al introducir la unidad de presión de cámara seca 1 en el líquido, los gases disueltos en el líquido se desorben a través de la interfase líquido-gas que se forma en la membrana 11, induciendo un flujo de gas 9 hacia el interior 25 de la cámara 3. Este flujo de gas sale de la cámara por el orificio 7, creando burbujas 10 en el líquido 2.

De la medición en continuo de la presión del gas contenido en la cámara con el sensor de presión se obtiene una evolución de la presión hidrostática del líquido durante el burbujeo, como se aprecia en el ejemplo representado en la **Figura 3**. El análisis de la curva de 30 presión hidrostática 12 permite inferir diversas magnitudes, tales como:

- Presión hidrostática media: La presión fluctúa durante el burbujeo debido a la oscilación de la altura de la interfase, pero se puede determinar con precisión un valor medio.

- Periodo de burbujeo: Es el tiempo que transcurre entre el desprendimiento de dos burbujas. El periodo es inversamente proporcional a la formación de gases en el seno del líquido.
- Tamaño de burbuja: A partir de la amplitud de la oscilación de la presión, se puede inferir el tamaño de la burbuja.
- Tensión superficial del líquido: Se determina a partir del tamaño de la burbuja formada.
- Flujo de gas: A partir del tamaño de la burbuja y el periodo de burbujeo se calcula el flujo de gas que circula por el sensor. Este flujo de gas depende de la velocidad de formación de gas en el seno del líquido, por lo que es una medida de la cinética de la reacción química, biológica o el proceso físico que tiene lugar.

La presente invención se refiere a un sistema para la medición de presiones hidrostáticas de un líquido contenido en el interior de un depósito. En la **Figura 4** se muestra una realización aplicada a un depósito 13 que contiene vino (como se ha indicado anteriormente, podría contener otro líquido que siga un proceso de fermentación en el interior del depósito). Dos unidades de presión de cámara seca 1 están fijadas a una pared lateral 16 del depósito 13 (ambas unidades de presión de cámara seca 1 pueden estar fijadas en paredes laterales opuestas) a través de unos medios de fijación, por ejemplo unos imanes situados en el interior de cada unidad. En la Figura 4 se representan unos imanes exteriores 15 que se pueden utilizar para desplazar desde el exterior a las unidades de presión de cámara seca 1, debido a la atracción magnética con los imanes interiores de cada unidad de presión de cámara seca 1.

Las unidades de presión de cámara seca 1 se ubican a diferentes alturas (H_1, H_2) con respecto a la base del depósito 14. Las alturas (H_1, H_2) son seleccionadas de forma que las unidades de presión de cámara seca 1 estén en contacto con el líquido 2 y lo suficientemente separadas para garantizar una mayor precisión en los cálculos posteriores (por ejemplo, que la distancia entre ambas unidades sea superior a la mitad de la altura total del depósito). Preferentemente, una unidad de presión de cámara seca 1 se ubica en la mitad superior del depósito 13 y la otra unidad de presión de cámara seca 1 se coloca en la mitad inferior del depósito 13. Aunque en la Figura 4 solo se representan dos unidades de presión de cámara seca 1, se podría utilizar un número mayor de unidades de presión de cámara seca 1.

cámara seca 1, a distintas alturas unas de otras, para poder obtener un mayor número de mediciones de la presión hidrostática del líquido a distintas alturas.

Las **Figuras 5A a 5D** representan unas vistas ampliadas de una unidad de presión de cámara seca 1 instalada a distintas alturas en el depósito 13 de la Figura 4. Las Figuras 5A, 5B, 5C y 5D muestran, respectivamente, una vista en perspectiva, un despiece, una vista en planta y una vista en sección, de acuerdo a un plano de corte vertical medio A-A, de la unidad de presión de cámara seca. Las figuras son ilustrativas, ya que se podrían emplear unidades de presión de cámara seca 1 con diferentes formas y tamaños.

Como característica común y necesaria de cada posible realización, cada unidad de presión de cámara seca 1 dispone de una cámara 3 rellena de un gas, preferentemente aire. La cámara 3 tiene practicado un orificio de entrada 7, el cual permite conectar herméticamente la cámara 3 con un primer extremo 19 de un conducto 6. A través de un segundo extremo 20 del conducto 6, un extremo libre en contacto con el líquido, se introduce inicialmente el líquido en el interior del conducto 6 en el llenado del depósito 13, hasta alcanzar el equilibrio de presiones entre el gas contenido en la cámara y el líquido. En situaciones normales el líquido se introduce en el conducto 6 solo unos pocos milímetros, debido al reducido volumen de la cámara 3 y la pequeña sección del conducto 6. A partir de esta situación inicial, y una vez se produce la fermentación del líquido y la generación de gases disueltos en su interior, comienza la desorción de los gases disueltos en el líquido, por la cual se introducen gases en el conducto, aumentando la presión interior y reduciendo el nivel de líquido en el conducto hasta que la interfase líquido-gas 8 alcanza el extremo libre del conducto y comienza el burbujeo.

A partir de que se produce el burbujeo las mediciones de presión hidrostática adquiridas por un sensor barométrico microelectromecánico 5 ubicado en el interior de la cámara 3 de cada unidad de presión de cámara seca 1 son relevantes, si bien se pueden considerar también las mediciones realizadas con anterioridad (por ejemplo, la situación inicial justo después del llenado del depósito, una vez se ha alcanzado el equilibrio de presiones entre el gas contenido en la cámara y el líquido, para calcular el nivel o altura inicial H^0 del líquido en el depósito 13). Dichas mediciones se realizan con gran precisión, de hasta 6 cifras significativas, debido al tipo de sensores de presión empleados. Como se ha indicado, para facilitar las medidas de presión hidrostática y que se alcance rápidamente el burbujeo por la desorción del líquido, la cámara 3 tiene preferentemente un volumen reducido. Así mismo, la

sección interior del conducto 6 es preferentemente muy pequeña, pudiendo disponer en su segundo extremo 20 de un ensanchamiento 21 que facilite la desorción en la interfase líquido-gas 8.

- 5 En la realización mostrada en la Figura 5 se representan también otras posibles características de la unidad de presión de cámara seca 1, como un cuerpo o carcasa 22 que aloja la cámara 3 en su interior, una placa de circuito impreso 23 a la que se conecta el sensor barométrico microelectromecánico 5 (y opcionalmente otros componentes electrónicos), un imán 24 para la fijación de la unidad de presión de cámara seca 1 a una
10 pared lateral 16 del depósito 13 (utilizando un imán exterior) y una tapa de cierre 25. Se podría utilizar otro tipo cualquiera de sistema de fijación de la unidad de presión de cámara seca 1 al depósito.

Debido a la gran atenuación producida por el líquido en la transmisión de ondas de radiofrecuencia, la señal obtenida por el sensor barométrico microelectromecánico 5 de cada unidad de presión de cámara seca 1 es transmitida preferentemente por cable 27, como se aprecia en la Figura 4. Para ello las unidades de presión de cámara seca 1 pueden disponer de uno o varios tubos de guiado de cable 26. En el ejemplo mostrado en las Figuras 4 y 5 las unidades de presión de cámara seca 1 disponen de dos tubos de guiado de cable 26 ubicados en lados opuestos de la carcasa 22. De esta forma se puede emplear un bus de comunicaciones, por ejemplo de tipo I²C, para comunicar por cable entre sí las unidades de presión de cámara seca 1 y con un dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 ubicado en la parte superior interna del depósito, sin contactar con el líquido. El dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 se encarga de recoger las medidas de presión hidrostática de ambas unidades de presión de cámara seca 1 y transmitirlas inalámbricamente a una unidad receptora inalámbrica situada en el exterior del depósito 13 (no mostrada en la Figura 4). La unidad receptora inalámbrica externa puede estar fijada al depósito en su parte externa o en algún lugar próximo de la instalación donde se ubica el depósito (e.g., en un ordenador). Alternativamente, el dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 puede procesar dichas medidas recibidas para calcular o estimar unas variables relevantes del líquido (relativas por ejemplo a su densidad, al nivel del líquido en el depósito o el grado de fermentación del líquido en el depósito), y transmitir dichas variables a una unidad receptora inalámbrica externa.

- 35 Preferentemente la alimentación de las unidades de presión de cámara seca 1 se realiza a

través del propio cable 27 del bus de comunicaciones utilizado para la transmisión de las señales capturadas por el sensor de presión, evitando de esta forma la inclusión de una batería en cada unidad de presión de cámara seca 1. La batería estaría en este caso incluida únicamente en el dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18.

5 En una realización alternativa, no mostrada en las figuras, las unidades de presión de cámara seca 1 podrían transmitir por cable al exterior la información capturada por sus respectivos sensores de presión mediante una o varias perforaciones practicadas en la pared lateral 16 del depósito, convenientemente aislada para que no salga líquido. En este
10 caso no sería necesario disponer del dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 en el interior del depósito 13.

15 Las **Figuras 6A a 6D** ilustran unas vistas ampliadas del dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 de la Figura 4. Las Figuras 6A, 6B, 6C y 6D muestran, respectivamente, una vista en perspectiva, una vista en planta, una vista lateral y una vista en sección, de acuerdo a un plano de corte vertical medio A-A, del dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18. En dichas figuras se aprecian los componentes del dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 de acuerdo a una posible realización:

- Carcasa hermética 32, en cuyo interior se alojan los distintos componentes.
- 20 - Tapa de cierre inferior 30 de la carcasa.
- Tapa de cierre superior 38 de la carcasa.
- Imán 31, situado en el interior de la carcasa 38, para su fijación a la tapa superior 17 del depósito 13 o a una pared lateral del depósito, a suficiente altura para no estar en contacto con el líquido.
- 25 - Batería 33, que permite operar al dispositivo de manera autónoma sin estar conectado con el exterior mediante ningún cable.
- Conector positivo de batería 34.
- Conector negativo de batería 35.
- 30 - Placa de circuito impreso 36. Un emisor inalámbrico y una unidad de control están integrados en la placa del circuito impreso 36.
- Tubo de guiado de cable 39, para recibir el cable 27 que transmite las señales de presión de las unidades de presión de cámara seca 1.

35 En la actualidad, la utilización de sensores en depósitos, reactores, tuberías, y otros equipos, requiere de una instalación en la que es necesario perforar la pared del depósito, y

la instalación de portasondas y otros sistemas. Esto, además de tener un coste económico, supone un potencial riesgo de fuga de producto o contaminación. El dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 facilita la instalación de los sensores en el proceso, ya que no requiere modificar ni perforar las paredes del depósito.

5 Unos medios de procesamiento de datos (e.g. un procesador, un microcontrolador) se encargan de recibir y procesar las medidas de presión hidrostática del líquido obtenidas por las unidades de presión de cámara seca. De las medidas ultraprecisas de la presión hidrostática obtenida a lo largo del tiempo los medios de procesamiento de datos pueden 10 calcular las siguientes variables (para el ejemplo de un depósito de vino):

- Nivel de depósito.
- Masa y volumen del líquido contenido en el depósito.
- Caudal de entrada o salida del depósito.
- Densidad del líquido.
- Densidad aparente (líquido-gas).
- Volumen de burbujas de CO₂.
- Tamaño de burbujas.
- Tensión superficial.
- Concentración de azúcar.
- Grado alcohólico.
- Cinética de la fermentación.

En una realización, los medios de procesamiento de datos se implementan en una unidad 25 de control (e.g. microcontrolador) alojada en el propio dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18, de forma que la información que transmite inalámbricamente este dispositivo incluye las variables calculadas, pudiendo también incluir las mediciones de presión hidrostática.

En otra realización, los medios de procesamiento de datos se ubican en una unidad de 30 control externa al depósito, ubicados por ejemplo en la propia instalación en la que se encuentra situada el depósito o en un servidor externo remoto. Las medidas de presión hidrostática necesarias para que los medios de procesamiento de datos puedan calcular dichas variables pueden transmitirse por cualquier combinación de medios de comunicación

alámbricos y/o inalámbricos ya conocidos (e.g., WiFi, Bluetooth, ZigBee, telefonía móvil, protocolo TCP/IP, etc.).

En el ejemplo representado en la **Figura 7A**, el dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 comunica las medidas de presión hidrostática a un dispositivo receptor 50 fijado mediante imán en la parte exterior del depósito 13, enfrentado al dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18. A su vez, el dispositivo receptor 50 envía las medidas de presión hidrostática 41 (y opcionalmente también las medidas de temperatura del líquido y de presión del gas P_0 en el interior del depósito) a una unidad de control 42 de la instalación, por ejemplo un ordenador. Dicha unidad de control 42 transmite a través de Internet 43 las medidas a un servidor central 44. El servidor central dispone de medios de procesamiento de datos encargados de realizar el cómputo de variables relevantes del líquido, como por ejemplo su densidad. Las variables calculadas 45 pueden ser transmitidas a un ordenador 46 de un usuario 47. El usuario puede acceder a dichas variables calculadas 45 por ejemplo a través de un acceso registrado (usuario y clave) a una página web o de una aplicación de escritorio específica.

En la **Figura 7B** se representa, de manera muy esquemática, el dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 y el dispositivo receptor 50 ampliados. La unidad de control 40 (e.g., un procesador o un microcontrolador) del dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 recibe las medidas de presión hidrostática del sensor barométrico microelectromecánico 5 y las transmite inalámbricamente utilizando un emisor inalámbrico 48. Las medidas de presión hidrostática son recibidas por un receptor inalámbrico 51 del dispositivo receptor 50. Una unidad de control 52 se encarga de recibir, procesar y transmitir la información enviada por el dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 del interior del depósito. La transmisión de la información recibida y/o procesada puede realizarse a por cable o de manera inalámbrica, por ejemplo, a través de un emisor inalámbrico (en ese caso el receptor inalámbrico 51 y el emisor inalámbrico pueden formar parte de un transceptor inalámbrico). Los elementos del dispositivo receptor 50 se encuentran alojados dentro de una carcasa 53, la cual está fijada a la pared lateral 16 del depósito 13 mediante un imán 54. El conjunto está alimentado por una batería 55. El imán 31 situado en el interior de la carcasa 32 del dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 ejerce una fuerza de atracción sobre el imán 54 del dispositivo receptor 50 situado en el exterior del depósito, lo que permite situar al dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 en la posición deseada, evitando hacer perforaciones o cualquier otro tipo de modificación sobre el

depósito. Desplazando el imán 54 exterior, se desplaza solidariamente el dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 en el interior del depósito. De esta manera se puede recolocar, retirar o remplazar el dispositivo de manera sencilla. El dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18 se podría utilizar tanto con las unidades de presión de cámara seca 1 descritas anteriormente como con otros tipos de sensores comerciales (entre otros: sondas de pH, conductividad, concentración de oxígeno, turbidez, potencial redox, temperatura, etc.) con la ventaja de evitar realizar perforaciones en el depósito.

La **Figura 7C** representa, también de manera muy esquemática, una unidad de presión de cámara seca 1 sujetada a la pared lateral 16 del depósito 13 mediante un imán 24. Al otro lado de la pared del depósito un imán exterior 15 permite desplazar la unidad de presión de cámara seca 1 desde el exterior, por ejemplo para situarla a una altura diferente.

La medida de la presión hidrostática con una precisión de 6 cifras significativas permite extraer una gran cantidad de información enológica relevante del proceso de fermentación del vino. Debido al sistema de cámara seca, la medida de la presión no es un valor constante, sino que oscila con el burbujeo producido en la unidad de presión de cámara seca 1, tal y como se ilustra en la gráfica de la **Figura 8**, que representa la evolución de la presión en el tiempo (curva de presión hidrostática 12 de la Figura 3). A medida que las burbujas crecen 60, aumenta la presión debido a que desciende la superficie de la interfase gas-líquido 8. Cuando se produce el desprendimiento de la burbuja 61, la presión desciende súbitamente (caída total de presión ΔP).

De la medida de la presión hidrostática se pueden extraer las siguientes tres variables:

P_{media} = Valor promedio de la presión a lo largo de un periodo de burbujeo (mbar)

ΔP =Caida total de la presion durante el desprendimiento(mbar)

T_B =Periodo de Burbujeo (min)

Se consideran los siguientes parámetros, de acuerdo a la **Figura 9**:

H_1 =Altura del sensor 1 respecto al fondo del deposito (m)

H_2 =Altura del sensor 2 respecto al fondo del deposito (m)

A =Area del deposito (m^2)

g =gravedad(m/s^2)

Se toman medidas de presión hidrostática en al menos dos alturas diferentes del depósito (P_1, P_2), se mide la presión del gas (P_0) contenido en el interior del depósito y la temperatura en estos puntos (T_1, T_2).

5 $P_i = \text{Presión hidrostática media en } i \text{ (mbar)}$

$$T_i = \text{Temperatura media en } i \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

Si el depósito está abierto o venteado (lo que ocurre en la mayoría de las fermentaciones), la presión del gas (P_0) en el interior del depósito es la misma que la presión atmosférica en 10 el exterior, por lo que la presión del gas (P_0) en el interior del depósito se puede medir directamente por comodidad en el exterior como la presión atmosférica. Es el caso del ejemplo mostrado en la Figura 9, al tratarse de un depósito de vino. En los pocos casos en los que el líquido se fermenta en depósito cerrado herméticamente resulta necesario tomar la medida de la presión de gas en el interior del depósito. Para ello se puede utilizar un 15 sensor barométrico incluido en el propio dispositivo de medición autónomo inalámbrico 18, ya que al estar ubicado en la parte superior del depósito 13 no está en contacto con el líquido. Preferiblemente, el sensor barométrico es de tipo MEMS, similar o idéntico al empleado en las unidades de presión de cámara seca 1, para mantener una precisión de hasta 6 cifras significativas.

20 Los sensores barométricos incluidos en las unidades de presión de cámara seca 1 pueden medir, además de la presión, también la temperatura para corregir desviaciones causadas por su variación. Entre las variables calculadas puede incluirse la densidad a 20°C , que es el valor de la densidad corregido el efecto de la temperatura. El valor de densidad a 20°C es 25 empleado en enología para calcular el grado alcohólico probable. Para estos cálculos se puede emplear cualquier medida de temperatura del líquido (T_{med}), no hace falta que se realice por sensores de temperatura en las unidades de presión de cámara seca 1, podría ser obtenido por cualquier sonda de temperatura situada en cualquier otro lugar del depósito ya que la temperatura del líquido es prácticamente constante en todo el depósito 13 ($T_1 \approx T_2$).

30 A partir de las variables medidas se puede calcular varias variables útiles para la monitorización de la fermentación, como se representa en el diagrama de la **Figura 10**:

1) Densidad del líquido: Es la principal variable empleada en enología. La densidad real se puede corregir para determinar la densidad a 20º empleando unos factores de corrección dependientes de la densidad y temperatura.

$$\rho = \text{Densidad real líquido} (Kg/m^3)$$

5 $\rho = g \cdot (P_2 - P_1) / (H_2 - H_1)$

$$\rho^{20^\circ} = \text{Densidad a 20}^\circ$$

$$\rho^{20^\circ} = \rho + F(\rho, T)$$

2) Nivel de líquido contenido en el depósito 13: Esta variable es importante en la
10 operación de la bodega.

$$H = \text{Nivel de líquido (m)}$$

$$H = (H_1(P_2 - P_0) - H_2(P_1 - P_0)) / (P_2 - P_1)$$

3) Volumen de gas (%): Indica la concentración de burbujas de gas contenidas en el
15 líquido durante la fermentación. Se calcula a partir de nivel del líquido H en un instante dado
y el nivel inicial H⁰ antes de comenzar la fermentación.

$$\%G = \text{porcentaje volumétrico Gas} (%)$$

$$\%G = 100 \cdot (H - H^0) / H^0$$

20 4) Volumen líquido: Conociendo la geometría del depósito y el nivel se calcula el
volumen del líquido contenido en el depósito 13. Se define el volumen aparente con el que
ocupa la mezcla líquido-gas, y volumen real como el volumen exclusivamente del líquido.

$$V_{\text{Aparente}} = \text{Volumen aparente} (m^3)$$

$$V = H \cdot A$$

25 $V_{\text{Real}} = \text{Volumen real} (m^3)$

$$V = H \cdot A \cdot (100 - \%G)$$

30 5) Cinética de la fermentación: Se calcula como la derivada de la densidad. Variación
de la densidad entre los instantes t₁ y t₂, dividido entre el intervalo de tiempo entre t₁ y t₂. Es
una variable importante en enología utilizada para realizar el seguimiento de la
fermentación, aunque poco usada en la práctica debido a la dificultad de medirla.

$$rCO_2 = \text{Ratio de } CO_2 \text{ (kg } CO_2/m^3 \cdot \text{dia)}$$

$$rCO_2 = (\rho_2 - \rho_1) / (t_2 - t_1)$$

6) Caudal de CO₂: Resulta útil para determinar la necesidad de ventilación de la
5 bodega y evitar acumulaciones de CO₂.

$$QCO_2 = \text{Caudal de } CO_2 (m^3/h)$$

$$QCO_2 = 21.2 \cdot rCO_2 \cdot V_{real}$$

7) Tensión superficial: Se calcula a partir de la caída de presión durante el
10 desprendimiento de las burbujas.

$$\gamma = \text{Tension Superficial (N/m)}$$

$$\gamma = \Delta P \cdot R / 2$$

donde R es el radio interior del conducto 16 (tubo hueco) de la unidad de presión de cámara seca 1 donde se realiza el burbujeo.

15 8) Volumen de burbuja: El volumen de las burbujas desprendidas en la unidad depresión de cámara seca 1. $V_{Burbuja} = \text{Volumen Burbuja (m}^3\text{)}$

$$V_{Burbuja} = \pi \cdot \Delta P^3 / (6 \cdot \rho^3 \cdot g^3)$$

20 9) Flujo de CO₂: A partir del periodo del burbujeo (T_B) y del volumen de la burbuja ($V_{Burbuja}$), se determina el flujo de CO₂ (fCO_2) emitido en la unidad de presión de cámara seca 1. Es una medida de la cinética de la fermentación complementaria al rCO₂ calculado como la derivada de la densidad frente al tiempo.

$$fCO_2 = \text{Flujo de } CO_2 (m}^3/\text{min})$$

$$fCO_2 = V_{Burbuja} / T_B$$

Las medidas de presión hidrostática que son recibidas por los medios de procesamiento de datos (en algunos casos también junto con la evolución temporal de la temperatura del líquido) para realizar el cálculo de las diferentes variables son normalmente obtenidas a lo 30 largo del tiempo mediante un muestreo realizado por los sensores barométricos microelectromecánicos o por una unidad de control que procese su señal de salida (o por los propios medios de procesamiento de datos, en el caso de que estén directamente

conectados a los sensores), según un período de muestreo determinado ($T_{muestreo}$ en la Figura 8). Para el cálculo de algunas de las variables, los medios de procesamiento de datos deben conocer previamente algunos datos de configuración del sistema, como el área del depósito o las alturas (H_1, H_2) a las que se ubican los sensores.

5 Con respecto a las necesidades de precisión y tiempo de muestreo para el cálculo de las variables, no todas las variables calculadas requieren el mismo grado de precisión en la medida de presión. El nivel requiere 4 cifras significativas, la densidad requiere 5 cifras significativas, mientras que el ratio de CO_2 requiere 6 cifras significativas. El cálculo de la 10 cinética mediante el burbujeo no requiere tanta precisión en la medida, pero en cambio requiere mayores tiempos de muestreo. Mientras que las variables basadas en la presión media únicamente requieren periodos de muestreo de minutos, para determinar la amplitud y periodo de burbujeo se requieren periodos de muestro del orden de segundos.

15 El sistema de la presente invención permite determinar la cinética de la fermentación mediante tres formas independientes y complementarias, que están basadas en tres fenómenos diferentes:

20 1) Variación de la densidad ($r\text{CO}_2$): A medida que avanza la fermentación se consume el azúcar y se forma etanol, lo que reduce la densidad del líquido, calculada a partir de la presión hidrostática en dos puntos.

25 2) Flujo de CO_2 ($f\text{CO}_2$): La reacción de fermentación produce CO_2 . Cuando el líquido se satura en CO_2 , se forman burbujas. A partir de las oscilaciones en la presión hidrostática, se determina el tamaño y velocidad de formación de estas burbujas, que depende directamente de la cinética de la reacción.

30 3) Calor de reacción de la fermentación: La fermentación es una reacción exotérmica que genera calor. Para mantener la temperatura constante, los depósitos de fermentación disponen de unas camisas refrigerantes. Las unidades de presión de cámara seca 1 situadas en las paredes de los depósitos además de medir la presión miden la temperatura, lo que permite determinar la necesidad de refrigeración necesaria para mantener la temperatura constante, y con ello deducir el calor generado en el depósito.

Estas tres medidas cinéticas no miden lo mismo, por lo que aportan información complementaria sobre el proceso. Por ejemplo, además de la fermentación alcohólica puede tener lugar la fermentación maloláctica. Esta fermentación emite CO₂ pero su efecto sobre la densidad es pequeño. Por lo que, si el valor de fCO₂ es mayor que el de rCO₂, es un indicio 5 de que está teniendo lugar la fermentación maloláctica.

A partir de la información de los sensores se puede determinar información útil para llevar la trazabilidad de los productos en la bodega:

10 1) Caudal de entrada o salida de un depósito: El caudal viene determinado por la variación en el tiempo del volumen contenido en el depósito.

$$Q_{Trasiego} = (V_1 - V_2) (t_1 - t_2)$$

15 Comparando los caudales de entrada y salida de los diferentes depósitos se puede determinar el origen y destino de los trasiegos. Y, con ello, se puede trazar el recorrido de los diferentes productos y lotes.

2) Registro de operaciones en bodega: Algunas operaciones como las adicciones, microxigenación o remontados, pueden ser detectadas a partir de las medidas de presión.

REIVINDICACIONES

1. Sistema para la medición precisa de la presión hidrostática y otras variables de un líquido contenido en el interior de un depósito, que comprende:

5 al menos dos unidades de presión de cámara seca (1) ubicadas a diferentes alturas (H_1, H_2) en el interior de un depósito (13) que contiene un líquido (2) con gases disueltos, estando dichas unidades de presión de cámara seca (1) en contacto con el líquido (2), donde cada unidad de presión de cámara seca (1) comprende:

10 una cámara (3) rellena de gas (4), disponiendo la cámara (3) de un orificio de entrada (7);

un conducto (6) conectado al orificio de entrada (7) de la cámara (3) en un primer extremo (19), estando el conducto (6) en contacto con el líquido (2) en un segundo extremo (20); y

15 un sensor barométrico microelectromecánico (5) ubicado en el interior de la cámara (3) para la obtención de medidas de presión hidrostática del líquido (2).

unos medios de procesamiento de datos configurados para recibir y procesar las medidas de presión hidrostática del líquido obtenidas por las unidades de presión de cámara seca (1).

20 2. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los medios de procesamiento de datos están configurados para calcular la densidad del líquido (ρ) contenido en el depósito (13) a partir de medidas de presión hidrostática (P_1, P_2) obtenidas para al menos dos alturas diferentes del depósito (H_1, H_2).

25 3. Sistema según la reivindicación 2, que comprende un sensor de temperatura ubicado en el interior del depósito (13) para medir la temperatura del líquido (T_{med}), estando los medios de procesamiento de datos configurados para obtener la densidad del líquido corregida (ρ^T) a una determinada temperatura (T) empleando unos factores de corrección dependientes de la densidad del líquido (ρ) y la temperatura del líquido (T_{med}) medida por el sensor de 30 temperatura.

4. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 3, donde el líquido (2) contenido en el depósito (13) es un líquido que sufre un proceso de fermentación en el interior del depósito por el cual se generan gases,

35 y donde los medios de procesamiento de datos están configurados para obtener una medida

de la cinética (rCO_2) de fermentación del líquido a partir de los valores de densidad (ρ_2 , ρ_1) calculados en dos instantes de tiempo (t_1 , t_2) diferentes.

5. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los medios de procesamiento de datos están configurados para:

obtener, a partir de las medidas de presión hidrostática obtenidas por una unidad de presión de cámara seca (1), el periodo del burbujeo (T_B) y la caída total de la presión (ΔP) durante el desprendimiento de una burbuja (61) producido en dicha unidad de presión de cámara seca (1);

10 obtener el volumen de la burbuja ($V_{Burbuja}$) desprendida en dicha unidad de presión de cámara seca (1) a partir de la densidad del líquido (ρ) y la caída total de la presión (ΔP) durante el desprendimiento de la burbuja (61);

obtener el flujo de gas emitido en dicha unidad de presión de cámara seca (1) a partir del periodo del burbujeo (T_B) y del volumen de la burbuja ($V_{Burbuja}$).

15 6. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un sensor barométrico configurado para medir la presión del gas (P_0) en el interior del depósito; y donde los medios de procesamiento de datos están configurados para obtener el nivel de líquido (H) contenido en el depósito (13) a partir de la medida de presión del gas (P_0) en el 20 interior del depósito y de las medidas de presión hidrostática (P_1 , P_2) obtenidas para dos alturas diferentes del depósito (H_1 , H_2).

25 7. Sistema según la reivindicación 6, donde el líquido (2) contenido en el depósito (13) es un líquido que sufre un proceso de fermentación en el interior del depósito por el cual se generan gases, y donde los medios de procesamiento de datos están configurados para obtener el porcentaje volumétrico de gas contenido en el líquido a partir de nivel del líquido (H) en un instante dado y el nivel inicial del líquido (H^0) obtenido antes de comenzar la fermentación del líquido.

30 8. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un dispositivo de medición autónomo inalámbrico (18), situado en la parte superior del depósito sin contactar con el líquido, y que comprende:

una unidad de control (40) configurada para recibir medidas de presión hidrostática obtenidas por cada unidad de presión de cámara seca (1);

35 un emisor inalámbrico (48) para la transmisión de datos recibidos y/o procesados por

la unidad de control (40);

al menos una batería (33).

9. Sistema según la reivindicación 8, que comprende un dispositivo receptor (50) con una unidad de control (52), un receptor inalámbrico (51), un transmisor y al menos una batería (55), donde el dispositivo receptor (50) está ubicado en el exterior del depósito (3) y está configurado para recibir, procesar y transmitir la información enviada por el dispositivo de medición autónomo inalámbrico (18).
10. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las unidades de presión de cámara seca (1) están fijados a una pared lateral (16) del depósito mediante imanes (24).
11. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los medios de procesamiento de datos están incluidos en un servidor central (44).

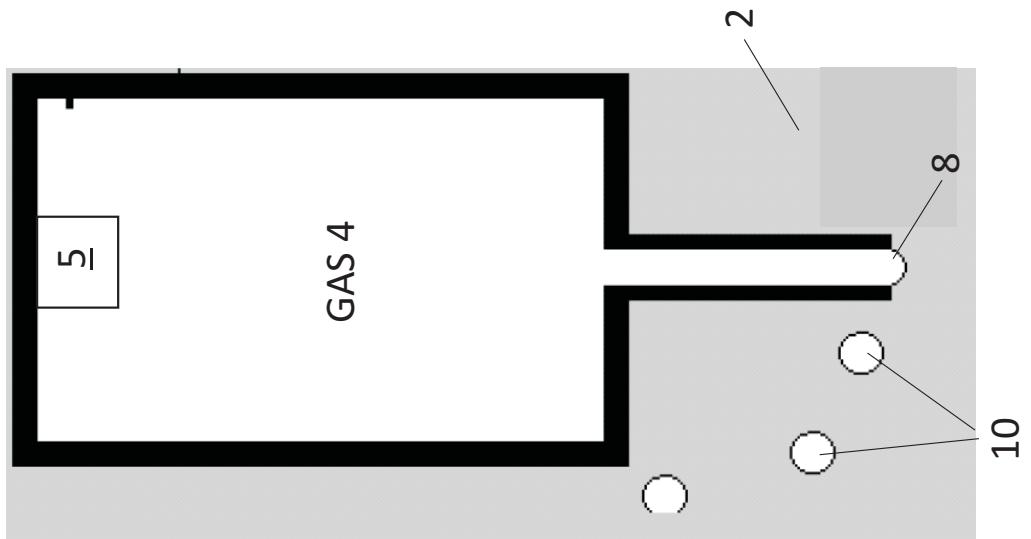


Fig. 1C

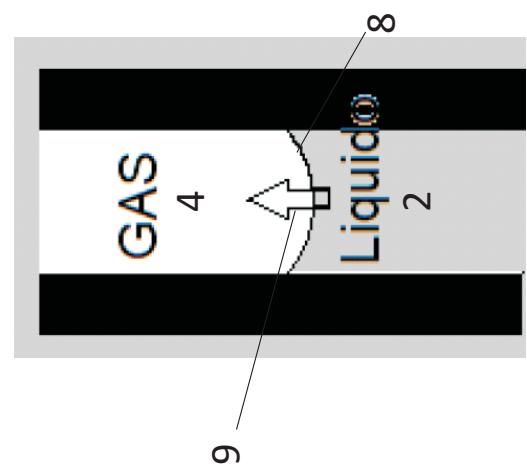


Fig. 1B

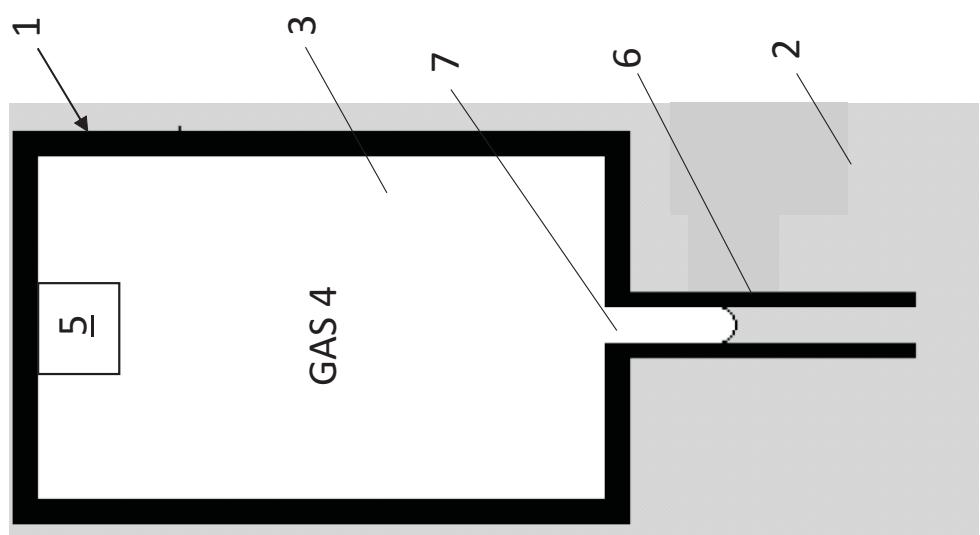


Fig. 1A

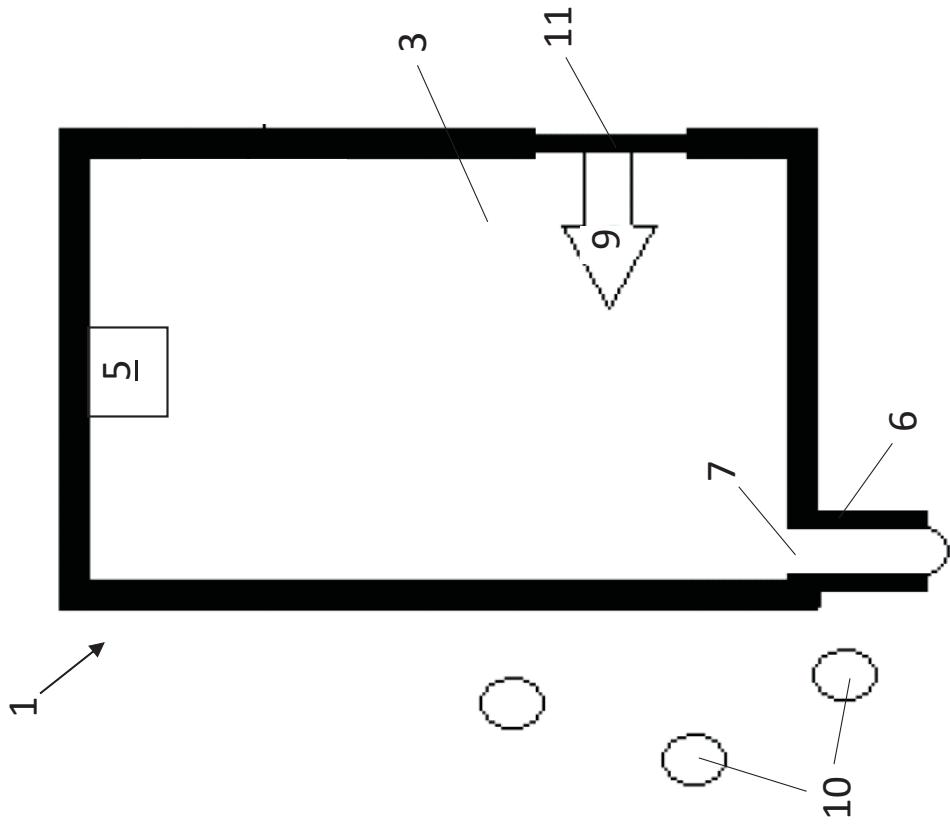


Fig. 2B

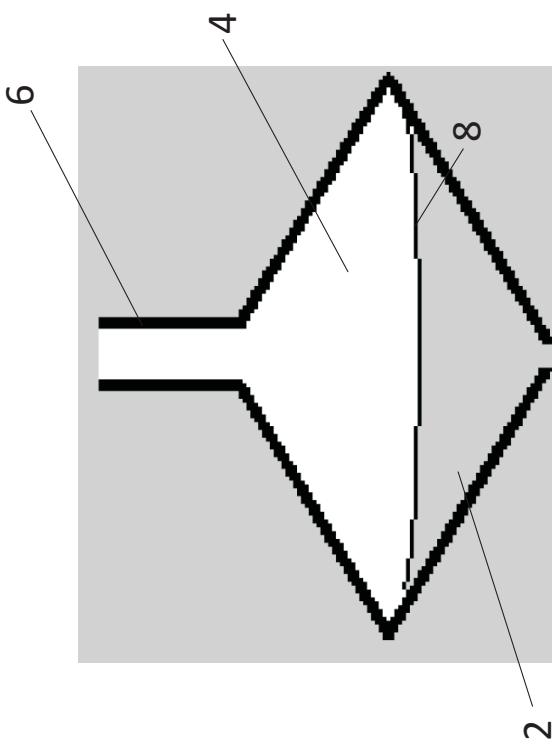


Fig. 2A

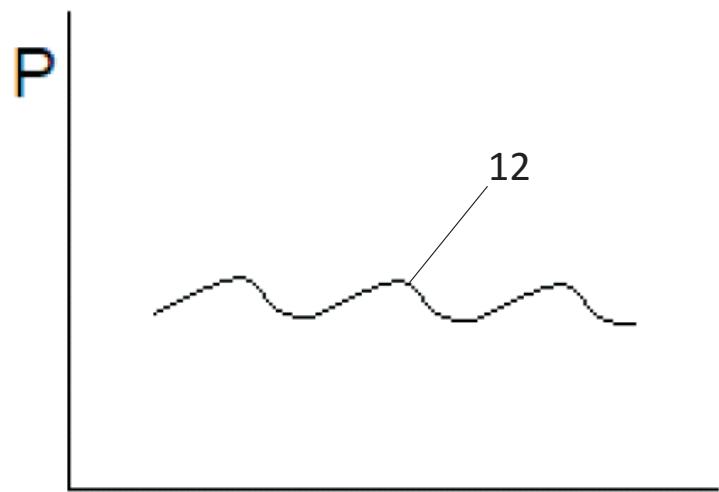


Fig. 3 T

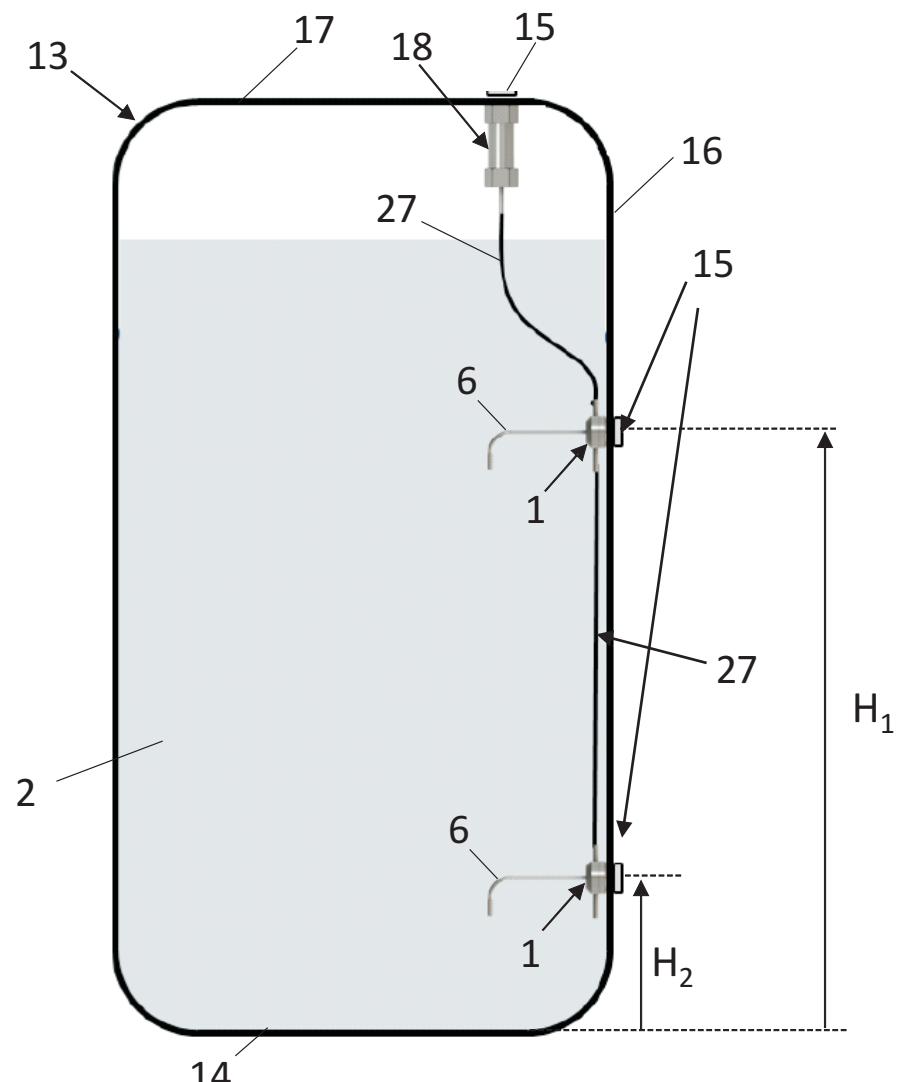


Fig. 4

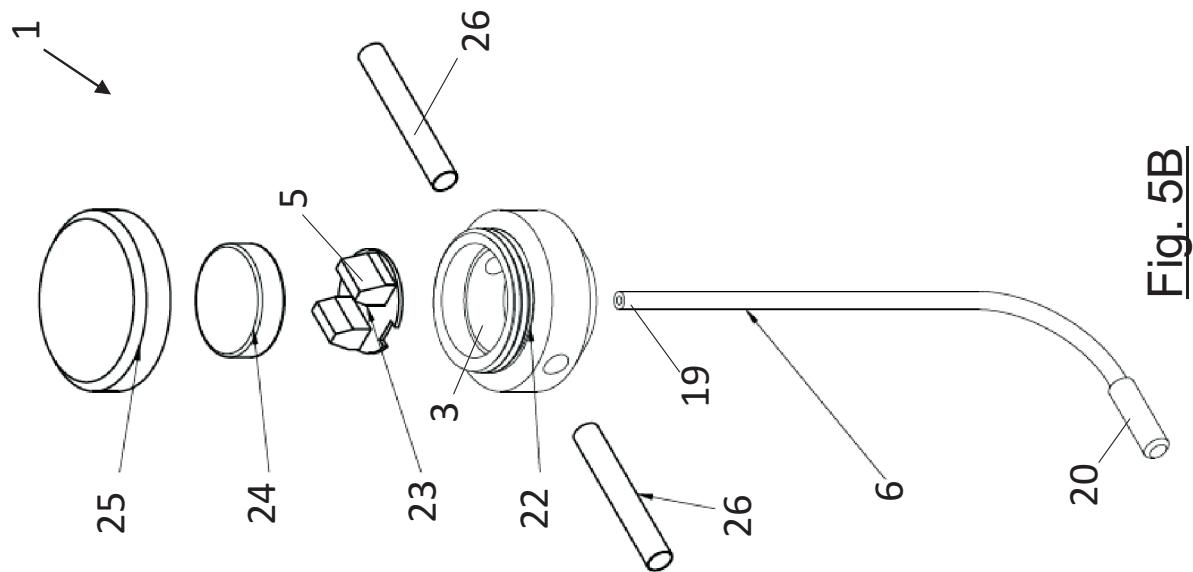


Fig. 5B

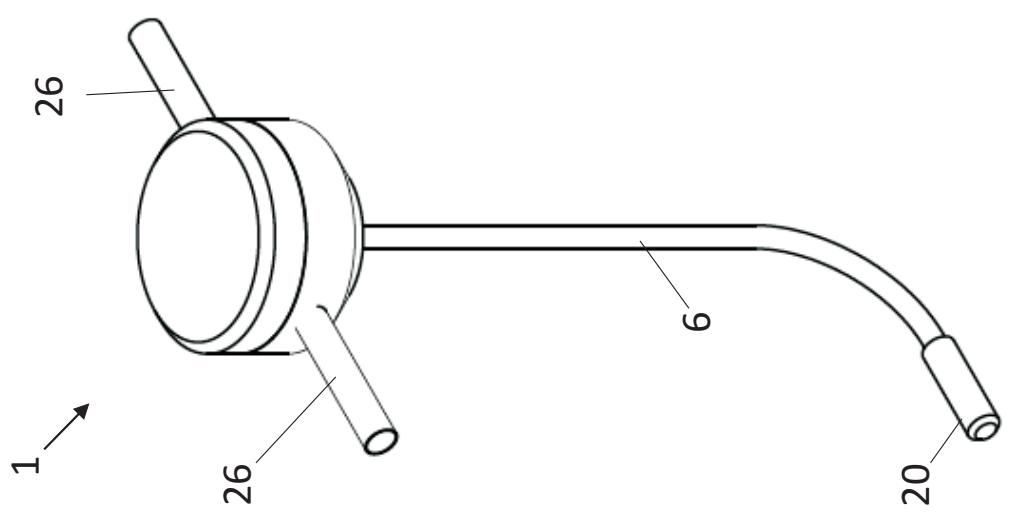


Fig. 5A

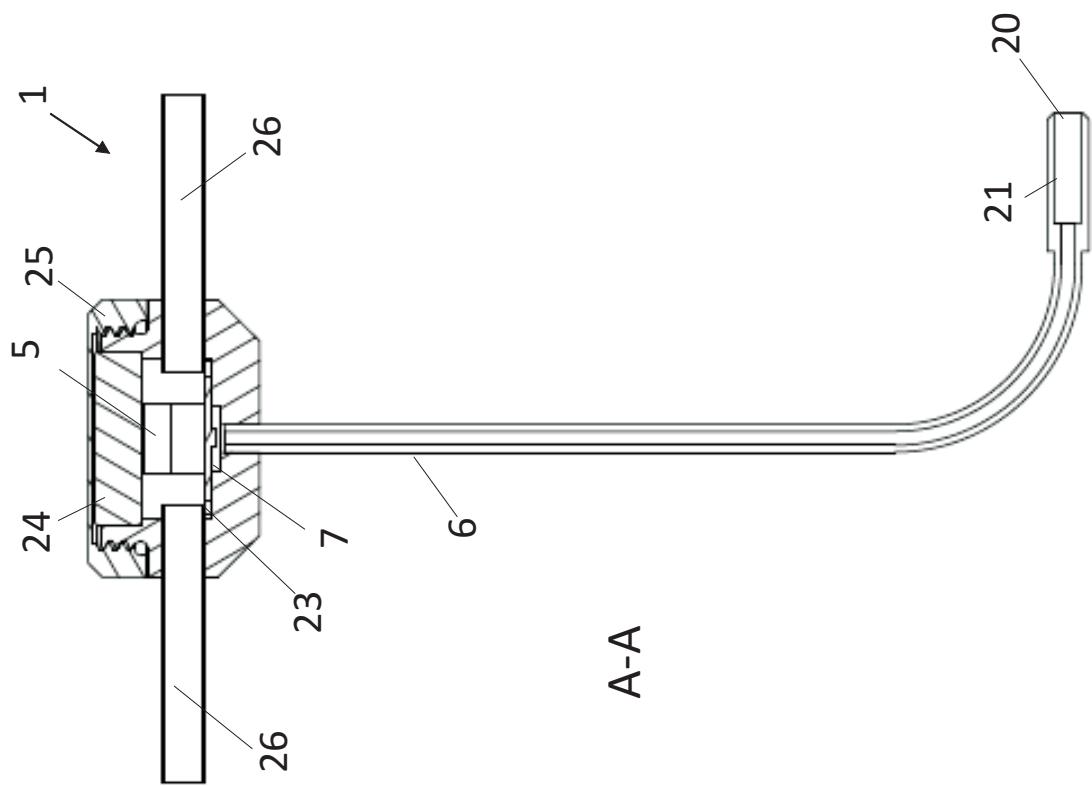


Fig. 5D

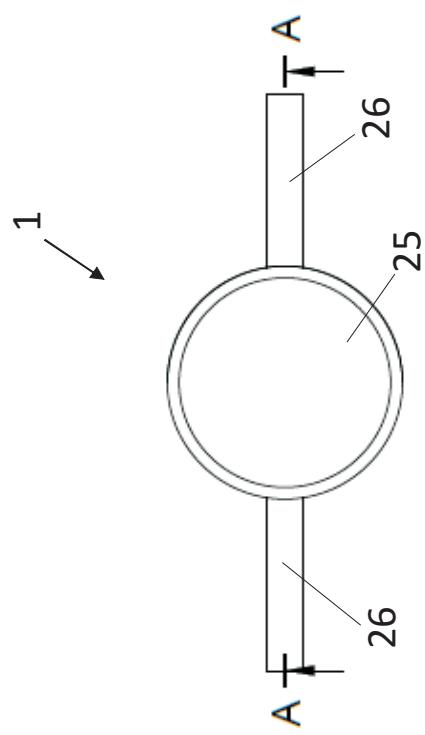


Fig. 5C

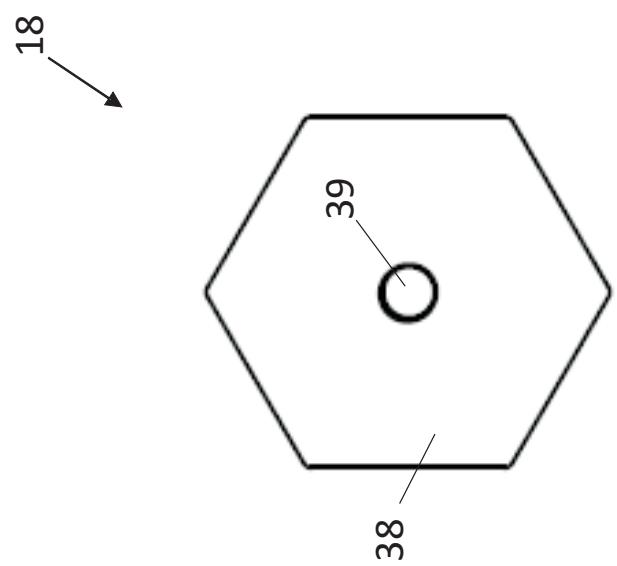


Fig. 6B

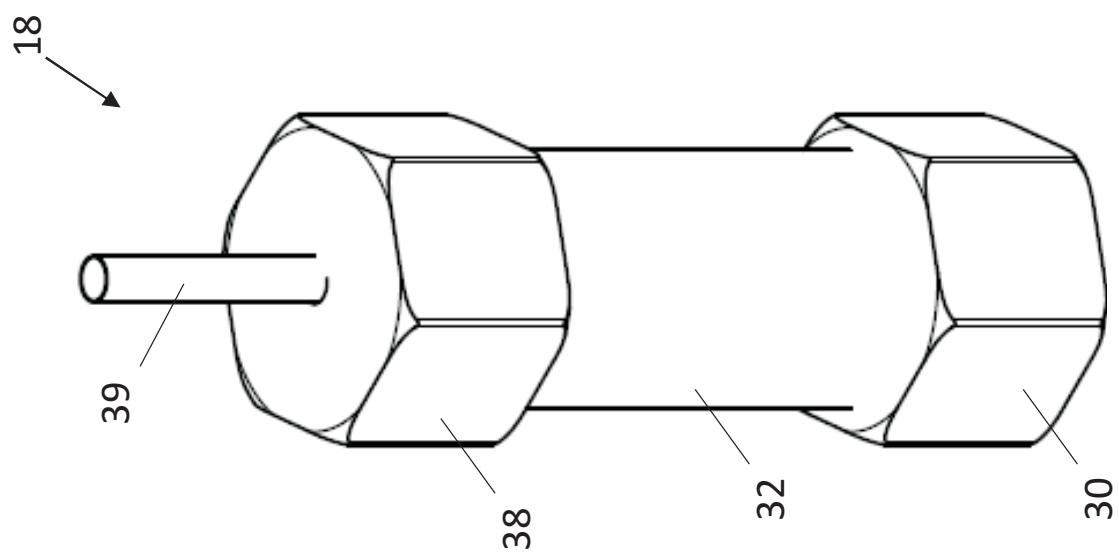
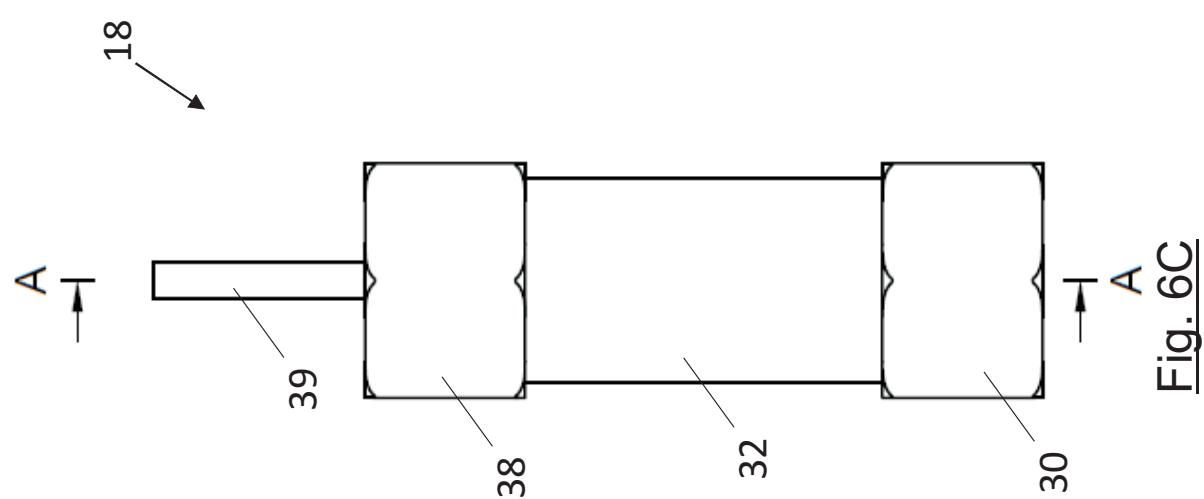
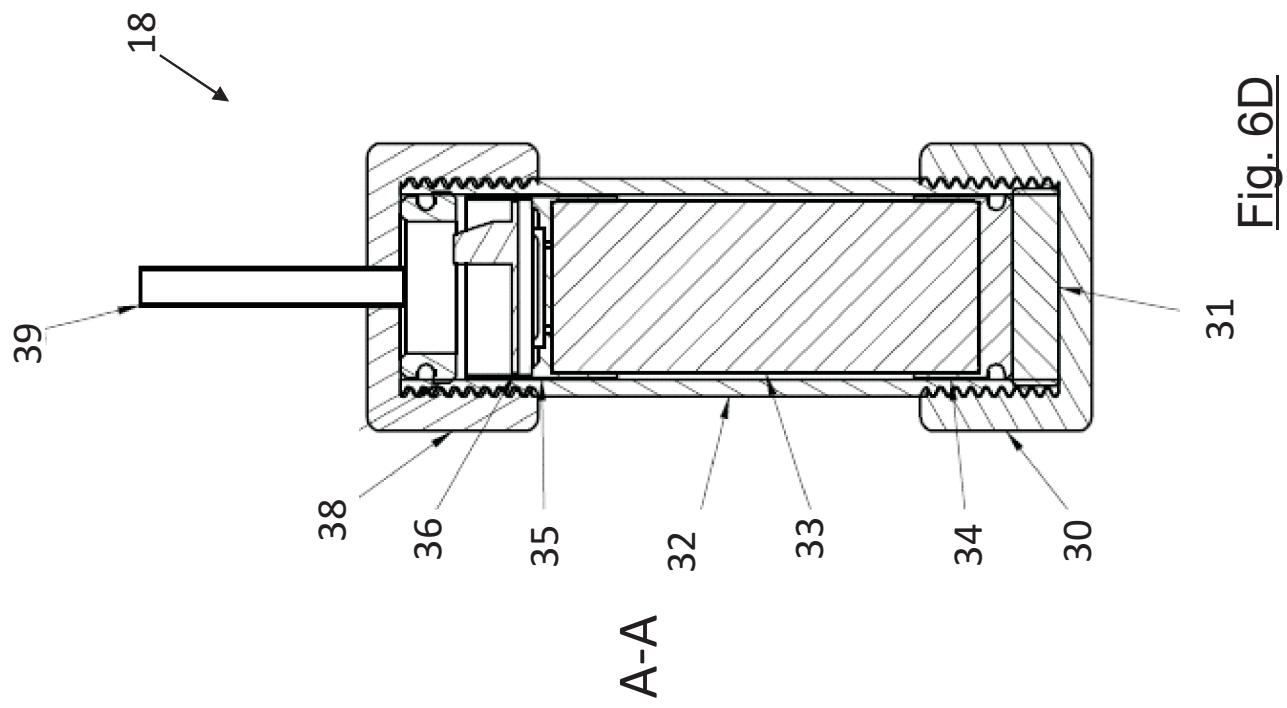


Fig. 6A



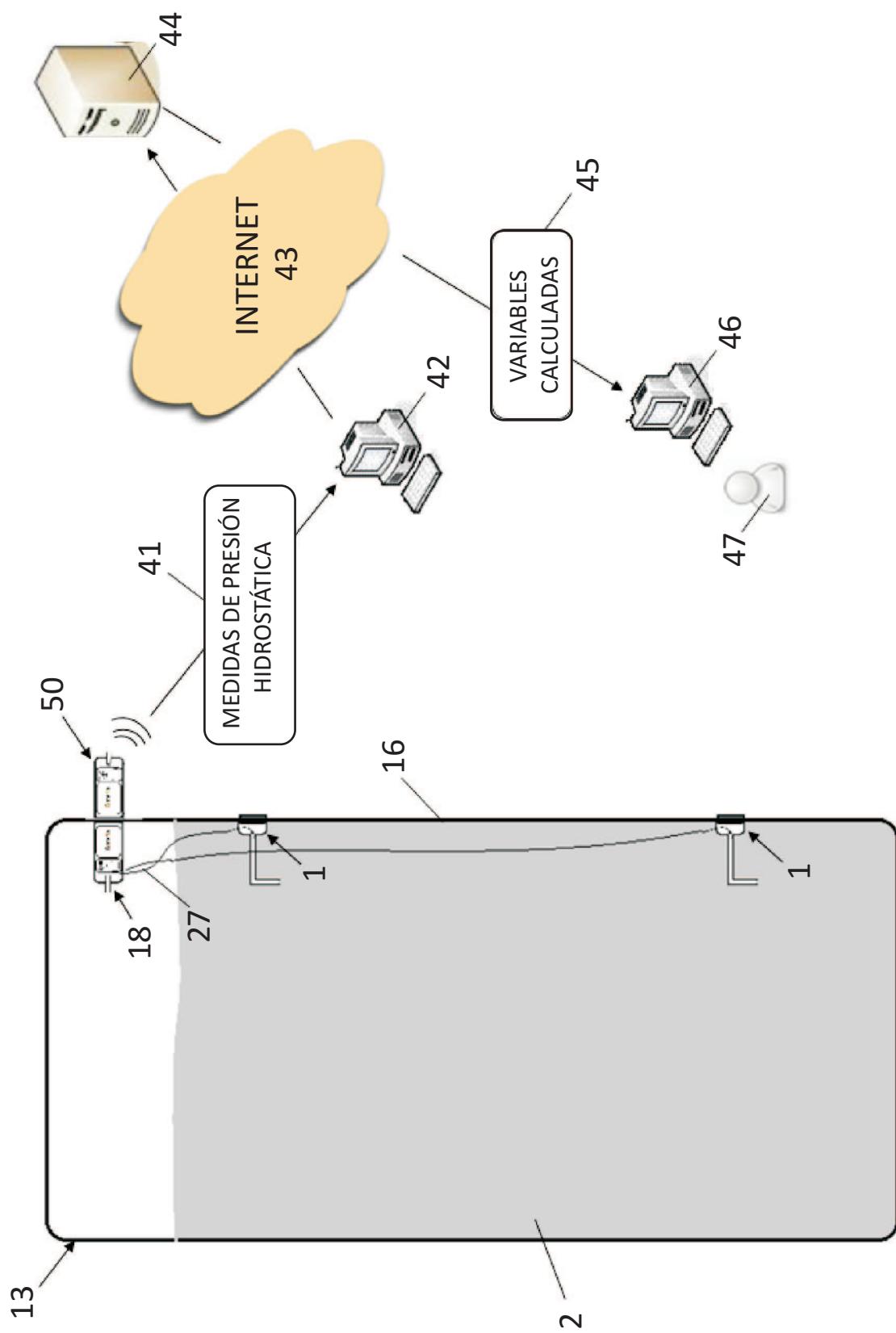


Fig. 7A

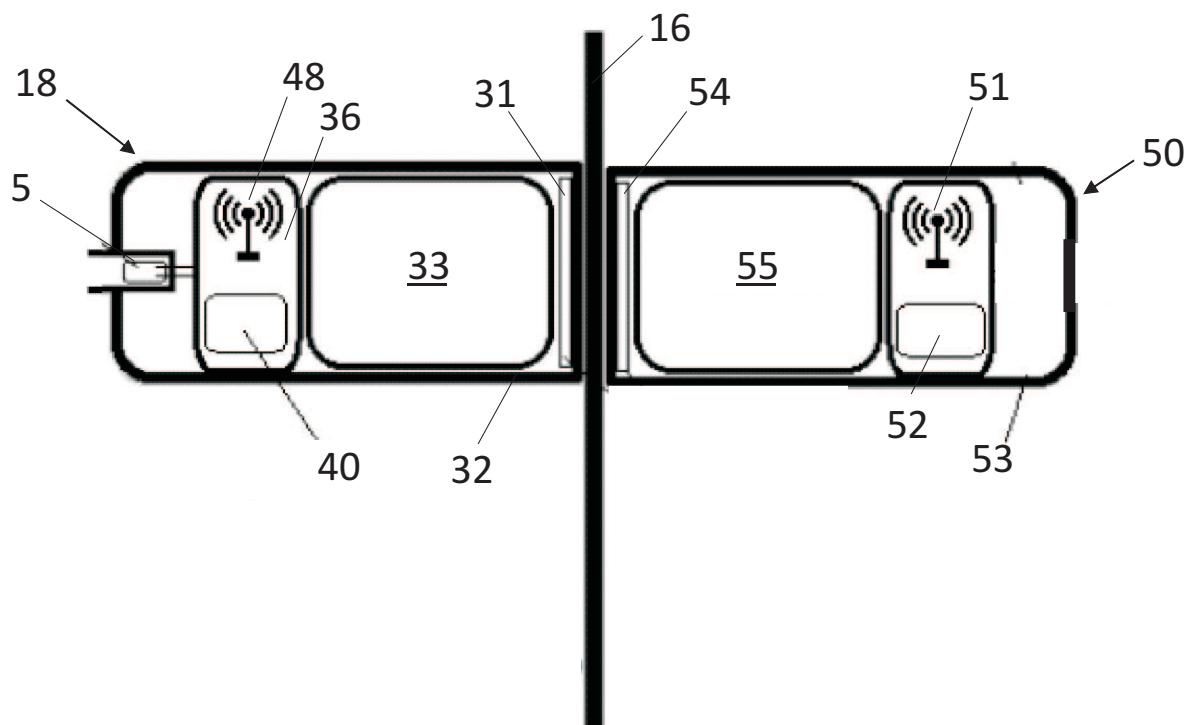


Fig. 7B

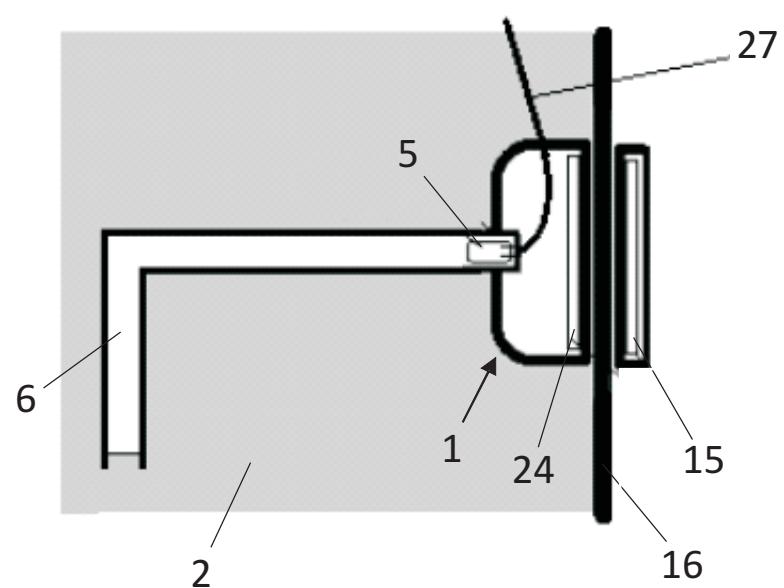


Fig. 7C

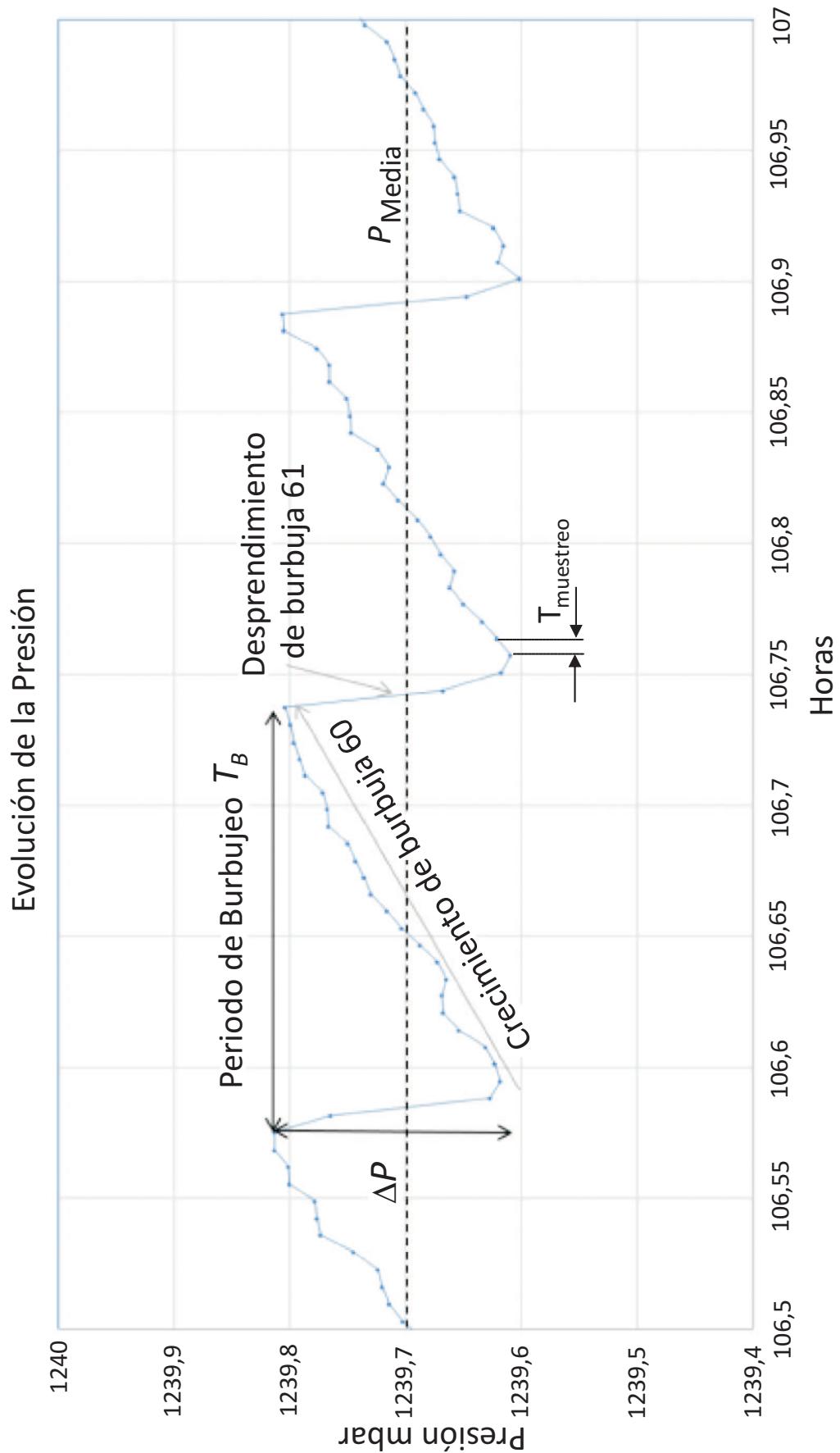


Fig. 8

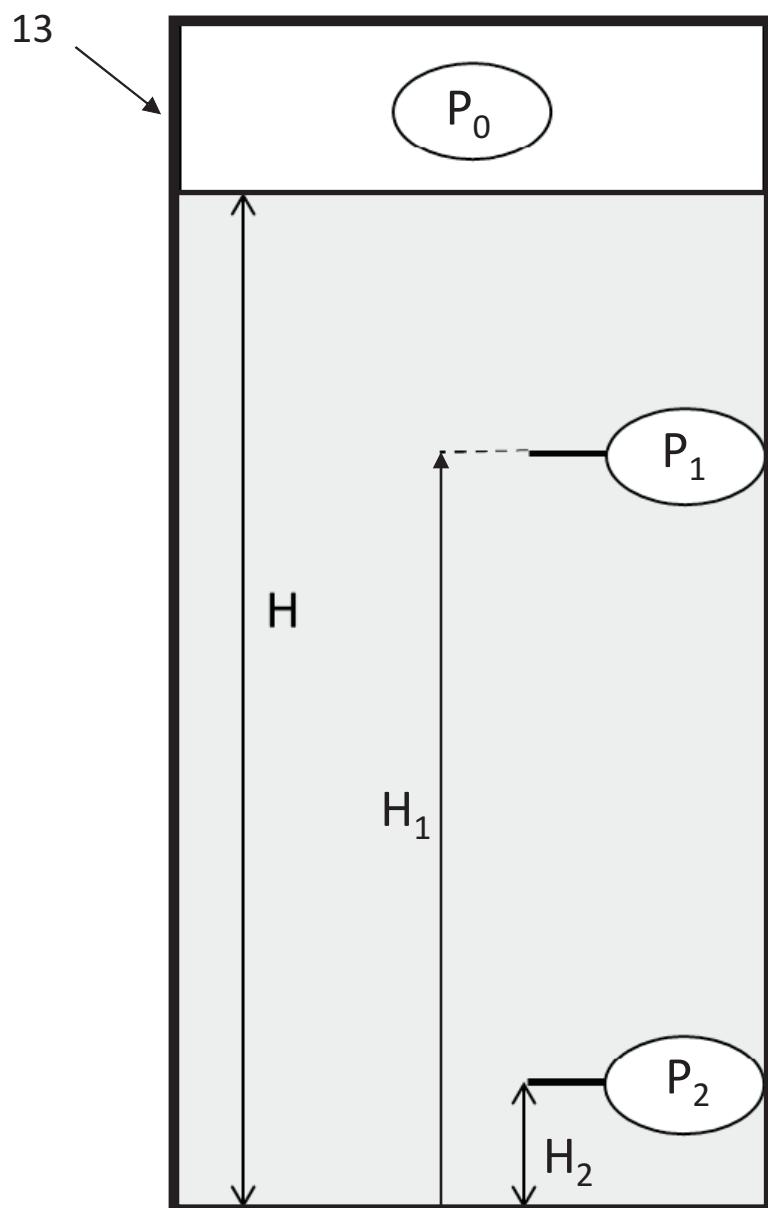


Fig. 9

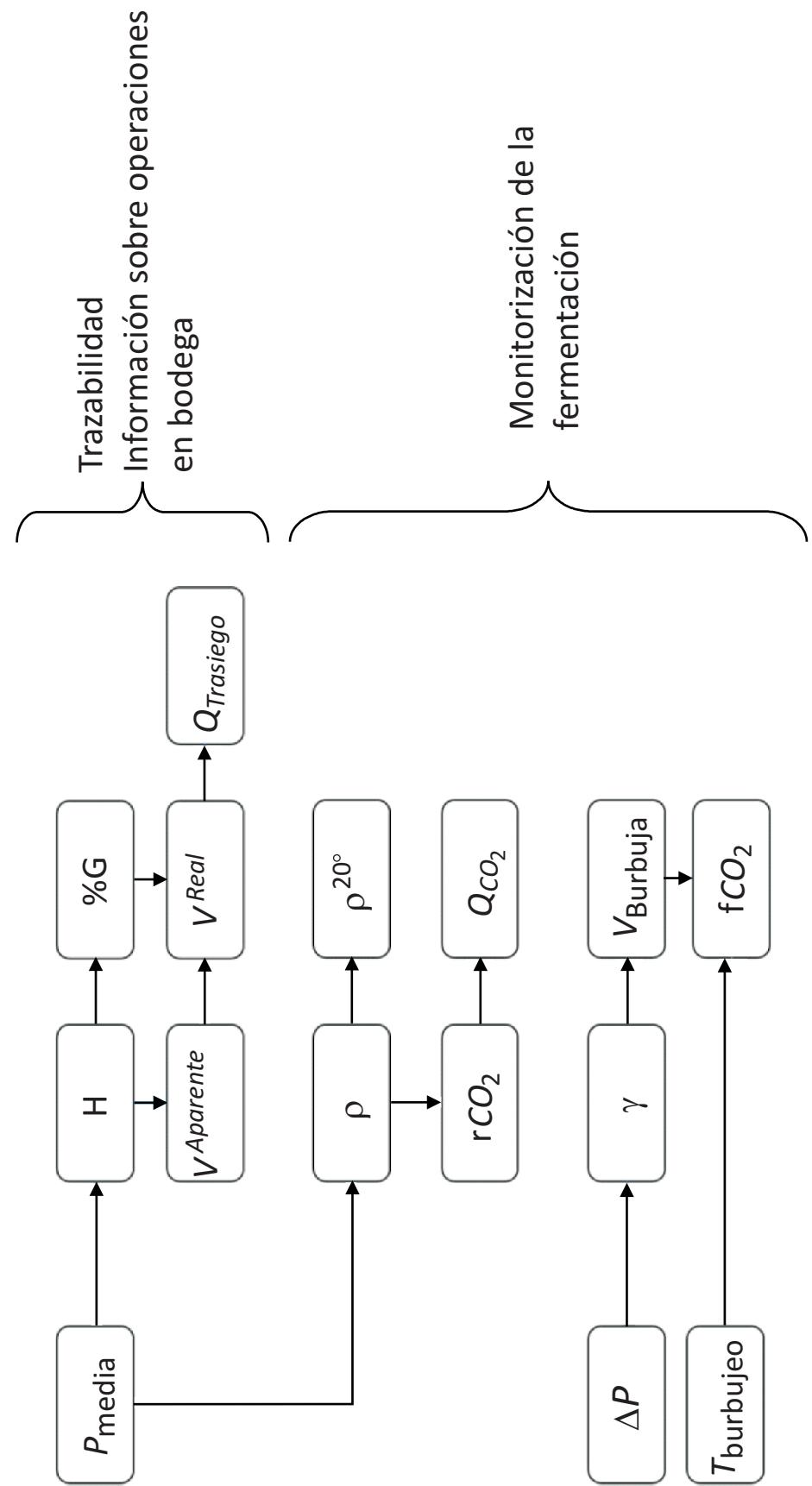


Fig. 10