

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 984 885**

(51) Int. Cl.:

F04B 7/00	(2006.01)
F04B 7/02	(2006.01)
F04B 13/00	(2006.01)
F04B 19/00	(2006.01)
F04B 23/00	(2006.01)
F04B 43/04	(2006.01)
F04B 49/06	(2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2020 E 20382985 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2024 EP 4001646**

(54) Título: **Dispositivo y método de control de caudal microfluídico**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.10.2024

(73) Titular/es:

MICRO ELECTROCHEMICAL TECHNOLOGIES S.L. (100.0%)
Calle Federico Cantero Villamil, 2 - B
28935 Mostoles, ES

(72) Inventor/es:

QUINTERO GAMEZ, ALBERTO EMANUEL;
DE QUIRÓS SANZ, ALBERTO BERNALDO y
ORAÁ POBLETE, BEATRIZ

ES 2 984 885 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

Dispositivo y método de control de caudal microfluídico

5 Campo técnico

En general, la presente invención se refiere a sistemas de control de flujo microfluídico que se usan para proporcionar una dosis o flujo controlado de un fluido. Más particularmente, la presente invención se refiere a un dispositivo de control de caudal microfluídico que incluye medios de regulación de flujo de alta precisión y que puede dispensar fluidos, incluyendo líquidos y gases, de forma controlada, tanto en regímenes de circuito abierto como regímenes de circuito cerrado y a un método para controlar un caudal de un fluido que fluye a través de un conducto microfluídico que hace uso del dispositivo de control de caudal microfluídico. La presente invención cae dentro de los sectores de control y dispensación de microfluídicos.

15 Estado de la técnica

La dosificación de una sustancia consiste en proporcionar, de forma controlada, cantidades previamente definidas y medidas de la sustancia para un usuario dado, proceso, aparato o sistema. La dosificación puede ser de materiales líquidos, sólidos o gaseosos. En cualquiera de estos casos, el proceso de dosificación puede llevarse a cabo de manera manual o automática. Los dispositivos o sistemas de dosificación se usan en una amplia gama de aplicaciones y campos técnicos tales como la medicina, ingeniería o investigación, entre otros. Las primeras versiones de estos dispositivos o sistemas de dosificación tenían diseños grandes y complejos, eran difíciles de calibrar y limpiar, y no eran fiables ya que las dosificaciones proporcionadas tenían desviaciones significativas de los valores esperados debido a imprecisiones de las tecnologías de medición y dosificación que integraban. Los desarrollos recientes realizados en los dispositivos de dosificación han mejorado su calibración y también se ha reducido su tamaño, permitiendo que estos dispositivos sean más pequeños y más compactos. Sin embargo, estos dispositivos de dosificación aún presentan bajas tasas de precisión y exactitud para controlar los flujos de fluido. Esto es especialmente problemático en algunas aplicaciones y sectores, por ejemplo, en medicina, donde la exactitud y la precisión son factores clave.

30 Los dispositivos ampliamente utilizados para dosificar líquidos y gases son bombas de fluido, también conocidos como sistemas de impulsión/succión, que pueden clasificarse generalmente como bombas de desplazamiento positivo, bombas rotativas o bombas dinámicas. El sector médico y la industria han impulsado el desarrollo de tales bombas, destacando las bombas peristálticas y de jeringa. Uno de los principales problemas que deben afrontar estas bombas es cómo garantizar que puedan proporcionar un caudal de fluido constante durante toda su vida operativa. Por un lado, las bombas peristálticas presentan el inconveniente de que a medida que envejecen, sufren un desgaste significativo en algunos de sus componentes principales, lo que da como resultado una reducción en la precisión del flujo que se bombea. Además, el intervalo de precisión de las bombas peristálticas es bajo, haciéndolas inadecuadas para usos que requieren flujos muy pequeños y precisos. Por otro lado, las bombas de jeringa tienen ciertas limitaciones, ya que no pueden operar continuamente debido a su configuración particular y su diseño es voluminoso, lo que las hace inadecuadas para equipos compactos y portátiles. Existen otros tipos de bombas de fluido, tales como los dispensadores de fluido neumáticos, que usan gas para generar presión en los depósitos de fluido mientras la regulación del flujo se realiza por medio de microválvulas que controlan la presión aplicada a los depósitos en la entrada del sistema. Sin embargo, la gestión de los dispensadores de fluido neumáticos es bastante compleja y su diseño bastante voluminoso, lo que los hace inadecuados para equipos y aplicaciones portátiles. Los dispensadores de fluido neumáticos tampoco son adecuados para su uso en circuitos de fluido cerrados, ya que no pueden devolver el fluido que se bombea de vuelta al tanque presurizado inicial.

50 Debido a la necesidad de miniaturizar los sistemas de control de flujo y mejorar su exactitud, precisión y eficiencia, tecnologías tales como los sistemas microfluídicos y microelectromecánicos (MEMS) han contribuido al desarrollo de nuevos dispositivos y conceptos, tales como microbombas piezoelectráticas y microválvulas piezoelectráticas. El efecto piezoelectrónico es la capacidad de ciertos materiales para generar una carga eléctrica en respuesta a la tensión mecánica aplicada. Una de las características únicas del efecto piezoelectrónico es que es reversible, lo que significa que los materiales que presentan el efecto piezoelectrónico directo (la generación de electricidad cuando se aplica tensión) también presentan el efecto piezoelectrónico inverso (la generación de tensión cuando se aplica un campo eléctrico). Las microbombas piezoelectráticas se basan en el efecto piezoelectrónico inverso. Comprenden un diafragma piezoelectrónico en combinación con válvulas unidireccionales pasivas y una membrana, que se deforma cuando se aplica una tensión. La bomba piezoelectrónica tiene una estructura sencilla, una forma delgada y un bajo consumo de energía.

60 Además, las válvulas son dispositivos comúnmente utilizados en estos dispositivos, sistemas y procesos de dosificación. Las válvulas son mecanismos que regulan el flujo que fluye entre dos partes del sistema, permitiendo el paso o el bloqueo selectivo de un flujo (líquidos o gases) en tuberías, conductos o similares. Estas válvulas, a nivel micro, pueden ser válvulas activas o válvulas pasivas. Las microválvulas activas comprenden una membrana mecánicamente móvil o estructura sobresaliente, acoplada a un accionador. Esta membrana o estructura sobresaliente puede cerrar un orificio de paso, bloqueando por tanto la trayectoria de flujo entre los puertos de entrada y salida de

- la válvula. El accionador de las microválvulas puede ser un microaccionador magnético, electrostático, piezoelectrónico o térmico integrado, un material de cambio de fase "inteligente", reológico o un mecanismo de accionamiento aplicado externamente, tal como un campo magnético externo o una fuente neumática. Por otro lado, las microválvulas pasivas son válvulas para las que su estado operativo, es decir, ya estén abiertas o cerradas, está determinado por el fluido que controlan, de modo que, en este caso, el accionador sería la presión u otras características físicas del propio fluido. Las microválvulas pasivas más comunes son las válvulas de solapa, microválvulas de membrana y microválvulas de bola.
- 5 El documento WO2007082480A1 divulga analizadores fluídicos que usan cartuchos extraíbles para contención y análisis de fluidos. El documento WO2013/116285A1 divulga un sistema que tiene un dispositivo microfluídico, un rotor que interactúa con el dispositivo microfluídico, un mecanismo de sujeción y una estructura de suministro de fluido que está configurada para coordinar la rotación del rotor y la operación del mecanismo de sujeción. Ambos documentos no prevén modificar el paso de una válvula para controlar el caudal.
- 10 La mayoría de los dispositivos y sistemas de control de fluidos bien conocidos aún no pueden resolver el problema de precisión y exactitud sobre el flujo de fluido que se proporciona, siendo aquellos que son más precisos y exactos incapaces de operar continuamente en un circuito fluídico cerrado con recirculación constante del fluido entre el depósito y el sistema microfluídico, e incluso aquellos que no son de tamaño compacto para integrarlos completamente directamente en dispositivos microfluídicos, la mayoría de ellos no pueden reunir los principios de modularidad, fiabilidad, bajos costes y operación fácil.
- 15 La mayoría de los dispositivos y sistemas de control de fluidos bien conocidos aún no pueden resolver el problema de precisión y exactitud sobre el flujo de fluido que se proporciona, siendo aquellos que son más precisos y exactos incapaces de operar continuamente en un circuito fluídico cerrado con recirculación constante del fluido entre el depósito y el sistema microfluídico, e incluso aquellos que no son de tamaño compacto para integrarlos completamente directamente en dispositivos microfluídicos, la mayoría de ellos no pueden reunir los principios de modularidad, fiabilidad, bajos costes y operación fácil.
- 20 Por lo tanto, todavía existe la necesidad en el estado de la técnica de dispositivos de control de caudal microfluídico que puedan superar los problemas técnicos citados anteriormente, presentar diseños compactos, que son fáciles de operar, que pueden trabajar con una amplia diversidad de fluidos, que combinan la miniaturización con alta precisión tanto en circuitos de fluido abiertos como cerrados, así como presentan bajo consumo de energía y bajo coste.

Descripción de la invención

- 30 El objetivo general de esta invención es presentar un dispositivo de control de caudal que incorpora medios de regulación de alta precisión, que puede dispensar fluidos de manera controlada tanto en, regímenes de circuito abierto como de circuito cerrado. El dispositivo tendrá un diseño modular que facilita su integración en equipos estacionarios o portátiles, y tendrá aplicación en una amplia diversidad de sectores tales como el sector de las ciencias de la vida, la industria automotriz, el sector médico o la dispensación y dosificación de fluidos en general, entre otros.
- 35 Un primer objeto de la invención es un dispositivo de control de caudal microfluídico para controlar un caudal de un fluido que fluye a través de un conducto microfluídico. Como se usan en el presente documento, el término "microfluídico" puede referirse al comportamiento, control preciso y manipulación de fluidos que están restringidos geométricamente a una escala pequeña (típicamente submilimétrica) en la que las fuerzas superficiales dominan las fuerzas volumétricas. Como se usan en el presente documento, la expresión "conducto microfluídico" puede referirse a conductos, tuberías, conductos, tubos, canales, etc., cuyas dimensiones, principalmente su sección transversal, están en el intervalo de micrómetros o menos. El dispositivo de control de caudal microfluídico comprende un terminal de entrada para la entrada de fluido y un terminal de salida para la salida de fluido, un conducto microfluídico que comunica de manera fluida el terminal de entrada con el terminal de salida y al menos una bomba dispuesta en el conducto microfluídico para bombear el fluido a través del conducto microfluídico a un caudal particular.
- 40 Preferentemente, las bombas serán microbombas. Como se usan en el presente documento, las microbombas pueden referirse a bombas con dimensiones funcionales en el intervalo de micrómetros. Las bombas se ubicarán generalmente en el terminal de entrada para bombear el fluido que entra en el dispositivo de control a través de su terminal de entrada. Como se usan en el presente documento, el término "fluido" puede referirse indistintamente a cualquier tipo de fluido, gas o cualquier combinación de los mismos.
- 45 El dispositivo de control de caudal microfluídico comprende además al menos una válvula dispuesta en el conducto microfluídico. Las válvulas pueden ser microválvulas, es decir, válvulas en el intervalo de micrómetros. Por ejemplo, las válvulas pueden ser válvulas Quake o válvulas de aleación con memoria de forma (SMA), entre otros. La al menos una válvula puede estar ubicada en el terminal de salida o en cualquier otra parte del conducto microfluídico. Las válvulas están configuradas para ajustar o modificar su paso, cambiando el diámetro hidráulico de su sección transversal, para cambiar el caudal del fluido que pasa a través del conducto microfluídico. El dispositivo de control de caudal microfluídico también comprende un sensor de flujo dispuesto en el conducto microfluídico. Aunque el sensor de flujo, por ejemplo, un caudalímetro, puede ubicarse preferentemente entre las bombas y las válvulas, dicho sensor de flujo puede estar ubicado en cualquier otra parte del conducto microfluídico. El sensor de flujo está configurado para medir el caudal dentro del conducto microfluídico en el punto particular en el que está instalado.
- 50 El dispositivo de control de caudal microfluídico comprende además un controlador que está configurado para recibir el caudal medido por el sensor de flujo, comparar el caudal medido con un caudal predefinido y dar instrucción a al menos una de la al menos una bomba y la al menos una válvula para modificar sus potencias de bombeo y pasos, respectivamente, basándose en el resultado de la comparación. El controlador dará instrucción a las bombas y/o a las válvulas para modificar sus respectivas potencias de bombeo y pasos para minimizar la diferencia entre el caudal

65 El dispositivo de control de caudal microfluídico comprende además un controlador que está configurado para recibir el caudal medido por el sensor de flujo, comparar el caudal medido con un caudal predefinido y dar instrucción a al menos una de la al menos una bomba y la al menos una válvula para modificar sus potencias de bombeo y pasos, respectivamente, basándose en el resultado de la comparación. El controlador dará instrucción a las bombas y/o a las válvulas para modificar sus respectivas potencias de bombeo y pasos para minimizar la diferencia entre el caudal

- medido y el caudal predefinido. El caudal predefinido es un caudal previamente determinado por un usuario que puede variar dependiendo de los requisitos particulares del sistema o aplicación en la que se instala o usa el dispositivo de control de caudal microfluídico. También podría establecerse un umbral para la diferencia entre el caudal medido y el caudal predefinido de modo que únicamente cuando la diferencia obtenida esté por encima de dicho umbral, el controlador da instrucción a las bombas y/o a las válvulas para modificar su potencia de bombeo y/o pasos.
- El controlador puede ejecutar acciones de control de bomba que consisten en dar instrucciones a las bombas para que aumenten o disminuyan la presión de fluido aumentando o disminuyendo su potencia de bombeo, es decir, la cantidad de energía de impulsión proporcionada al fluido que fluye a través del conducto microfluídico. Por lo tanto, estas acciones de control de la bomba incluyen un valor de potencia de bombeo, que es diferente del valor de potencia de bombeo actual, para entregarse por las bombas, estando dicho nuevo valor de potencia de bombeo dentro del intervalo operativo de las bombas. Como alternativa, el controlador puede ejecutar acciones de control de válvula que consisten en dar instrucción a las válvulas que aumenten o disminuyan la resistencia al flujo modificando sus pasos, es decir, la resistencia al paso del fluido que ofrecen las válvulas cambiando el diámetro hidráulico de su sección transversal. Dichas acciones de control de válvula incluyen un valor de paso, que es diferente del valor de paso actual, para que las válvulas puedan ajustar su paso a este nuevo valor. Este nuevo valor de paso estará dentro del intervalo operativo de las válvulas. El controlador puede ejecutar además simultáneamente las acciones de control de bomba y válvula mencionadas basándose en el resultado de la comparación.
- En algunas realizaciones, el dispositivo de control de caudal microfluídico comprende un cuerpo principal que aloja al menos parcialmente el conducto microfluídico. La al menos una bomba, el sensor de flujo, el controlador y la al menos una válvula pueden fijarse o ser una parte integral del cuerpo principal. En algunas otras realizaciones, la al menos una bomba, el sensor de flujo, el controlador y la al menos una válvula pueden acoplarse de manera extraíble al cuerpo principal para facilitar su sustitución si fallan. Por ejemplo, la al menos una bomba, el sensor de flujo y la al menos una válvula pueden conectarse de manera fluida al cuerpo principal mediante la interposición de tuberías de interconexión que también son parte del conducto microfluídico.
- En algunas realizaciones, el dispositivo de control de caudal microfluídico puede estar dispuesto dentro del alojamiento protector proporcionando un diseño compacto y pequeño especialmente útil para aplicaciones que demandan tales dispositivos pequeños y compactos. El alojamiento protector puede estar fabricado de material plástico o metálico, entre otros materiales, y puede configurarse para proporcionar suficiente rigidez estructural para alojar y proteger todos los componentes del dispositivo de control de caudal microfluídico.
- En algunas realizaciones, el dispositivo de control de caudal microfluídico comprende una pluralidad de válvulas conectadas en serie entre sí a lo largo de una porción del conducto microfluídico. Estas válvulas pueden modificar de manera similar o diferente sus respectivos pasos para ajustar conjuntamente el flujo de fluido que pasa a través de las mismas. Preferentemente, el dispositivo de control de caudal microfluídico tendrá dos o tres válvulas conectadas en serie. Dicha pluralidad de válvulas conectadas en serie permite tener un mejor control sobre el flujo de fluido. Todas las válvulas de la pluralidad de válvulas pueden ser del mismo tipo de válvula o pueden ser diferentes.
- En algunas realizaciones, las válvulas son válvulas neumáticas y el dispositivo de control de caudal microfluídico comprende una bomba o compresor neumático respectivo conectado de manera fluida a cada una de las válvulas neumáticas. Estas bombas neumáticas usan aire para accionar las válvulas de modo que se abran o cierren para ajustar sus pasos. Estas válvulas neumáticas tienen una mayor estabilidad, resolución y precisión que otras válvulas, lo que proporciona un mejor control sobre el fluido que fluye a través de ellas.
- En algunas realizaciones, el dispositivo de control de caudal microfluídico comprende una pluralidad de microbombas conectadas en serie para bombear el fluido a través del conducto microfluídico al caudal particular. Tener una pluralidad de microbombas conectadas en serie permite tener un mejor control sobre el caudal con el que se bombea el fluido. Además, permite alcanzar altas tasas de bombeo con un conjunto de bombas de baja potencia, que son generalmente más baratas y más pequeñas, conectadas en serie.
- En algunas realizaciones, la al menos una válvula está dispuesta en el conducto microfluídico entre el sensor de flujo y el terminal de salida. En tales realizaciones, el sensor de flujo está ubicado en la salida de la bomba de modo que el caudal se mida antes de ser ajustado por las válvulas. De esta manera, el controlador puede ejecutar acciones de control de válvula para ajustar el paso de las válvulas de modo que el caudal ajustado sea lo más cercano posible al caudal predefinido, inmediatamente antes de que el fluido abandone el dispositivo de control a través de su terminal de salida.
- En algunas realizaciones, el controlador está cableado a los sensores, bombas y válvulas. Como alternativa, el controlador es un controlador remoto externo al dispositivo de control de caudal microfluídico y el dispositivo de control puede incorporar una unidad de conexión inalámbrica cableada a los sensores, bombas y válvulas que se comunican bidireccionalmente por, por ejemplo, GPRS, Wifi, Bluetooth, etc., con el controlador remoto.
- En algunas realizaciones, las bombas son microbombas piezoeléctricas y las válvulas son microválvulas piezoeléctricas. Las microválvulas piezoeléctricas incorporan accionadores más robustos y sencillos que otros tipos

de válvulas. Estos componentes piezoelectrómicos contribuyen a extender la vida operativa del dispositivo de control.

- En algunas realizaciones, el conducto microfluídico comprende un dispositivo de resistencia al flujo fijo que está configurado para introducir una caída de presión fija en el flujo de fluido que fluye a través del conducto microfluídico.
- 5 Como se usan en el presente documento, un dispositivo de resistencia al flujo fijo es cualquier dispositivo dispuesto en el conducto microfluídico que puede introducir una caída de presión fija en el fluido cuando pasa a través del mismo. Ejemplos de dispositivos de resistencia al flujo pueden ser circuitos de serpentín, porciones de conducto con una sección transversal diferente de la sección transversal del conducto microfluídico, un elemento poroso tal como un filtro, etc. Por lo tanto, este dispositivo de resistencia al flujo, que es especialmente útil cuando el fluido que fluye a través del conducto microfluídico presenta baja viscosidad (por ejemplo, agua), introduce una caída de presión conocida y constante para reducir la presión del fluido que fluye a través del conducto microfluídico cuando las bombas bombean el fluido a un intervalo de trabajo demasiado alto. Este dispositivo fijo de resistencia al flujo puede ubicarse preferentemente entre las bombas y el sensor de flujo, aunque puede estar ubicado en cualquier otra parte del conducto microfluídico.
- 10 15 En algunas realizaciones, el dispositivo de control de caudal microfluídico comprende un sensor de presión dispuesto en el conducto microfluídico, estando configurado el sensor de presión para medir una presión del fluido que fluye a través del conducto microfluídico.
- 20 25 En algunas realizaciones, el dispositivo de control de caudal microfluídico comprende un sensor de temperatura dispuesto en el conducto microfluídico, estando configurado el sensor de temperatura para medir una temperatura del fluido que fluye a través del conducto microfluídico. El dispositivo de control de caudal microfluídico puede comprender además otros dispositivos de medición tales como viscosímetros, densímetros, etc., para monitorizar otros parámetros del fluido.
- 30 35 En algunas realizaciones, el dispositivo de control de caudal microfluídico comprende una interfaz gráfica de usuario acoplada comunicativamente a al menos uno de los sensores que integran el dispositivo de control. La interfaz gráfica de usuario está configurada para mostrar el caudal, presión, temperatura o cualquier otro parámetro del fluido que fluye a través del conducto microfluídico medido por el al menos un sensor. Dependiendo de los sensores que integre el dispositivo de control de caudal microfluídico, la interfaz gráfica de usuario podrá visualizar los correspondientes parámetros medidos. Por lo tanto, el dispositivo de control puede integrar una pantalla acoplada comunicativamente con el controlador y a través de la que se visualizan los parámetros medidos a través de la interfaz gráfica de usuario.
- 40 45 En algunas otras realizaciones, el dispositivo de control de caudal microfluídico comprende un puerto USB a través del que un usuario con un dispositivo informático personal tal como un ordenador portátil o una tableta, entre otros, puede comunicarse con el controlador del dispositivo de control de caudal microfluídico para establecer una comunicación bidireccional con los componentes del dispositivo de control. De esta manera, el usuario puede recibir en su dispositivo informático personal información de los sensores, bombas, las válvulas y el controlador, y, al mismo tiempo, puede establecer los parámetros operativos del dispositivo de control, por ejemplo, el caudal predefinido, la potencia de bombeo inicial de las bombas y el paso inicial de las válvulas, etc.
- 50 55 En algunas realizaciones, el dispositivo de control de caudal microfluídico comprende un dispositivo de entrada de usuario configurado para permitir que un usuario seleccione los parámetros operativos, tal como el valor de caudal predefinido para el fluido que fluye a través del conducto microfluídico, del dispositivo de control. El usuario puede seleccionar otros parámetros tales como la potencia de bombeo inicial de las bombas y el paso inicial de las válvulas, entre otros. Este dispositivo de entrada de usuario puede ser un teclado acoplado comunicativamente al controlador a través del que el usuario puede seleccionar un valor de caudal predefinido particular u otros parámetros operativos y una pantalla a través de la que el usuario puede visualizar dicho valor de caudal predefinido y parámetros operativos. Preferentemente, esta pantalla será la misma pantalla usada para visualizar los parámetros medidos por los sensores. Como alternativa, el dispositivo de control puede integrar un dispositivo de conexión inalámbrica que está acoplado comunicativamente al controlador y el dispositivo de entrada de usuario puede ser parte de un dispositivo informático personal, tal como un PDA, portátil, teléfono móvil, etc. El usuario puede seleccionar parámetros operativos específicos del dispositivo de control en su dispositivo informático personal que se enviarían al dispositivo de conexión inalámbrica a través de, por ejemplo, un GPRS, Wifi, Bluetooth, etc., conexión. En algunas otras realizaciones, el dispositivo de control de caudal microfluídico puede incorporar una pantalla táctil para interactuar directamente con lo que se muestra y a través de la que el usuario puede introducir los parámetros operativos del dispositivo de control y visualizar el valor de caudal predefinido y otros parámetros operativos del dispositivo de control.
- 60 65 En algunas realizaciones, el dispositivo de control de caudal microfluídico comprende una unidad de almacenamiento de energía eléctrica conectada a las bombas, al controlador, a los sensores y a las válvulas de modo que se proporcione alimentación eléctrica desde la unidad de almacenamiento de energía eléctrica a las bombas, al controlador, a los sensores y válvulas. Como alternativa, el dispositivo de control de caudal microfluídico puede comprender un enchufe para conectarse a la red eléctrica. En algunas realizaciones, el dispositivo de control de caudal microfluídico está instalado en un circuito de fluido cerrado. En tales realizaciones, el dispositivo de control funciona bajo el régimen de circuito cerrado de fluidos.

En algunas realizaciones, el dispositivo de control de caudal microfluídico está instalado en un circuito de fluido abierto. En tales realizaciones, el dispositivo de control funciona bajo el régimen de circuito abierto de fluidos.

- 5 En algunas realizaciones, cuando el dispositivo de control de caudal microfluídico se va a usar para aplicaciones médicas, los elementos que están en contacto con el fluido, es decir, el conducto microfluídico que incluye las tuberías de interconexión, los conductos o conducciones interiores de las válvulas, bomba y sensor de flujo, etc., pueden fabricarse o recubrirse con materiales biocompatibles o materiales particularmente inertes, para adaptar el dispositivo de control a los requisitos específicos de la aplicación médica.
- 10 En algunas realizaciones, el terminal de salida de un primer dispositivo de control de caudal microfluídico puede conectarse de manera fluida al terminal de entrada de un segundo dispositivo de control de caudal microfluídico. Puede haber tantos dispositivos de control de caudal microfluídico conectados en serie según sea necesario basándose en el diseño particular. Conectando estos dispositivos de control de caudal microfluídico en serie, se mejora significativamente la precisión y exactitud sobre el flujo de fluido en el puerto de salida del último dispositivo de control de caudal microfluídico. En tales realizaciones, cada dispositivo de control de caudal microfluídico puede tener su propio controlador acoplado comunicativamente a los controladores del resto de dispositivos de control de caudal microfluídico. Con dicha pluralidad de controladores, se puede establecer una jerarquía maestro-esclavo entre los controladores, de modo que el controlador maestro recibe los parámetros medidos de los controladores esclavos y les da instrucción sobre cómo ajustar las potencias de bombeo de las bombas y/o los pasos de las válvulas. A su vez, los controladores esclavos dan instrucción a las respectivas bombas y/o válvulas de los respectivos dispositivos de control de acuerdo con las instrucciones recibidas. Como alternativa, puede haber un único controlador que reciba medidas de todos los sensores y da instrucción a todas las bombas y/o válvulas de los dispositivos de control.
- 15 20 25 30
- Como se usan en el presente documento, un "controlador" puede ser al menos uno de una unidad central de procesamiento (CPU), un microprocesador basado en semiconductores, un PLC programable, una unidad de procesamiento de gráficos (GPU), una matriz de puertas programables en campo (FPGA) configurada para recuperar y ejecutar instrucciones, otra circuitería electrónica adecuada para las instrucciones de recuperación y ejecución almacenadas en un medio de almacenamiento legible por máquina, o una combinación de los mismos. El controlador se alimentará con los datos recibidos de los diferentes sensores a través de todo el dispositivo de control y gestionará la operación de las bombas y válvulas.

Preferentemente, el dispositivo de control de caudal microfluídico comprende una placa de circuito impreso (PCB) a la que está acoplado el controlador, que tiene su correspondiente circuitería electrónica. El medio de almacenamiento desde el que el controlador obtiene y decodifica instrucciones puede ubicarse también en la PCB. La PCB operará como una interfaz para las conexiones eléctricas entre el controlador y los componentes electrónicos del dispositivo de control, tales como bombas, válvulas, sensores, pantalla, paneles de botones, y así sucesivamente. Esta PCB puede acoplarse además al cuerpo principal del dispositivo de control de caudal microfluídico.

- 40 Un segundo objeto de la invención es un método para controlar un caudal de un fluido que fluye a través de un conducto microfluídico que hace uso del dispositivo de control de caudal microfluídico descrito anteriormente. El método comprende:
- bombear, mediante la al menos una bomba, el fluido a través del conducto microfluídico a un caudal particular;
 - medir, mediante el sensor de fluido, el caudal del fluido dentro del conducto microfluídico;
 - comparar, mediante el controlador, el caudal medido con un caudal predefinido; y
 - dar instrucción, mediante el controlador, al menos una de la al menos una bomba y la al menos una válvula para modificar su potencia de bombeo y sus pasos, respectivamente, basándose en el resultado de la comparación para minimizar la diferencia entre el caudal medido por el sensor de flujo y el caudal predefinido. Por ejemplo, si el caudal medido es mayor que el caudal preestablecido, el controlador puede ejecutar acciones de control de válvula para dar instrucción a la válvula que reduzca su paso de modo que el caudal del fluido en el conducto microfluídico esté lo más cerca posible del caudal preestablecido. Por el contrario, si el caudal medido es menor que el caudal preestablecido, el controlador puede ejecutar acciones de control de válvula para dar instrucción a la válvula que aumente su paso de modo que el caudal del fluido en el conducto microfluídico esté lo más cerca posible del caudal preestablecido. Como alternativa, el controlador puede ejecutar acciones de control de bomba para dar instrucción a las bombas que reduzcan o aumenten su potencia de bombeo suministrada para modificar el caudal del fluido que fluye a través del conducto microfluídico cuando el caudal medido es mayor o menor, respectivamente, que el caudal preestablecido. El controlador puede ejecutar además simultáneamente acciones de control de válvula y bomba para dar instrucción tanto a las válvulas como a las bombas, para modificar sus respectivas potencias de bombeo y paso cuando hay una desviación entre el caudal medido y el caudal preestablecido.
- 45 50 55 60
- En algunas realizaciones, ejecutar acciones de control de válvula comprende dar instrucción a las bombas o compresores neumáticos correspondientes para que ajusten el paso de las válvulas neumáticas basándose en el resultado de la comparación.
- 65 En algunas realizaciones, el controlador da instrucción únicamente a las bombas para modificar la potencia de bombeo que están suministrando al fluido que fluye a través del conducto microfluídico cuando la diferencia entre el caudal

medido y el caudal predefinido está en un cierto valor y la acción de control de la bomba también está en un cierto valor. Por ejemplo, el caudal en la salida de las bombas se ajustaría únicamente por las bombas cuando la diferencia de flujo es inferior a 200 microlitros por minuto y la potencia de bombeo actual de las bombas está cerca de la mitad del intervalo (por ejemplo, entre 120 y 180 voltios en el caso de una bomba piezoeléctrica). Además, el controlador da instrucción únicamente a las válvulas para modificar el caudal del fluido que fluye a través del conducto microfluídico cuando la diferencia entre el caudal medido y el caudal predefinido está entre algunos valores predefinidos y la potencia de bombeo de las bombas está cerca de uno de los límites de su intervalo operativo. Por ejemplo, el caudal en la salida de las válvulas se ajustaría por las válvulas cuando la diferencia citada esté entre 200 y 100 microlitros por minuto y la potencia de bombeo está cerca de su límite superior (por ejemplo, por encima de 200 voltios para el caso de una bomba piezoeléctrica). Además, el controlador da instrucción tanto a las bombas como a las válvulas, para ajustar simultáneamente sus respectivas potencias de bombeo y los pasos cuando la diferencia entre el caudal medido y el caudal predefinido está por encima de algún valor y tanto la potencia de bombeo actual de las bombas como los pasos de corriente de las válvulas están en sus valores medios (dentro de sus correspondientes intervalos operativos). Por ejemplo, se les dará instrucción simultáneamente cuando la diferencia citada sea superior a 100 microlitros por minuto y tanto las bombas como las válvulas estén funcionando actualmente cerca del punto medio de sus intervalos operativos. En tales realizaciones, la eficiencia energética del dispositivo de control de caudal microfluídico se puede mejorar ya que se puede configurar de modo que únicamente se apliquen las acciones de control mínimas para alcanzar el punto de ajuste de flujo, incluso cuando eso significa un mayor tiempo de establecimiento. En algunas otras realizaciones, los valores de las diferencias asociadas al flujo y los intervalos de las acciones de control pueden ser diferentes y la operación y combinación de las válvulas y/o las bombas pueden estar asociadas a diferentes intervalos de la diferencia entre el caudal medido y el caudal predefinido.

En algunas realizaciones, el controlador da instrucción tanto a las bombas como a las válvulas, para modificar simultáneamente sus potencias de bombeo y pasos independientemente de la diferencia entre el caudal medido y el caudal predefinido. En tales realizaciones, el tiempo requerido para alcanzar el caudal predefinido se minimiza a costa de una menor eficiencia energética.

La presente invención describe un dispositivo de control de caudal microfluídico que permite dosificar fluidos con alta precisión, en un intervalo de microlitros/min y en circuitos abiertos y/o cerrados. Este dispositivo de control, dependiendo de su aplicación particular, puede instalarse en un equipo fijo o en un equipo portátil. En términos generales, el dispositivo integra elementos básicos que incluyen: bombas y válvulas; diferentes tipos de sensores, tales como caudalímetros, sensores de presión o temperatura, entre otros; tuberías de interconexión que forman el conducto microfluídico, a través de las que fluye el fluido dentro del dispositivo de control; así como los componentes y accesorios correspondientes de la parte de control y electrónica, permitiendo por tanto la conexión, gestión y monitorización de los elementos del dispositivo de control.

El usuario tiene diferentes posibilidades para controlar el dispositivo, ya sea remotamente, a través de una conexión USB a un ordenador, o in situ, a través de una interfaz gráfica en una pantalla táctil, o analógicamente a través de un panel de control y reguladores. Todos los elementos del dispositivo se desarrollan a microescala y se integran en un módulo compacto. También es destacable que el sistema tiene un consumo de energía muy bajo en comparación con otros sistemas similares, debido al uso de elementos microfluídicos y piezoeléctricos. Este dispositivo ofrece una solución a la falta de productos en el mercado con una alta precisión en la escala de microlitros/min, siendo también compacto, sencillo y mucho más accesible o de menor coste.

45 Breve descripción de los dibujos

Para completar la descripción y para proporcionar una mejor comprensión de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos forman una parte integrante de la descripción e ilustran una realización de la invención, que no debería interpretarse como una restricción del alcance de la invención, sino únicamente como un ejemplo de cómo puede llevarse a cabo la invención.

Los dibujos comprenden las siguientes figuras:

55 La figura 1 muestra una vista en perspectiva frontal en despiece de un dispositivo de control de caudal microfluídico, de acuerdo con una realización particular de la invención.

La figura 2 muestra el dispositivo de control de caudal microfluídico de la figura 1 con la bomba, el compresor y el caudalímetro están acoplados de manera extraíble al cuerpo principal.

60 La figura 3 muestra una vista en perspectiva trasera del dispositivo de control de caudal microfluídico de la figura 1 que muestra el caudalímetro y cómo se conecta de manera fluida al cuerpo principal.

La figura 4 muestra otra vista en perspectiva trasera del dispositivo de control de caudal microfluídico de la figura 1 que muestra el compresor y cómo se conecta de manera fluida al cuerpo principal.

65 Las figuras 5A y 5B muestran una vista frontal y una vista lateral, respectivamente, del dispositivo de control de caudal

microfluídico de la figura 1 que incluye parte del conducto microfluídico que está marcado con líneas discontinuas.

La figura 6 muestra un diagrama de bloques del dispositivo de control de caudal microfluídico que incluye el subsistema electrónico, de acuerdo con una realización particular de la invención.

- 5 La figura 7 muestra un diagrama de flujo del método para controlar un caudal de un fluido que fluye a través de un conducto microfluídico, de acuerdo con una realización de la invención.
- 10 La figura 8 muestra un diagrama de bloques de una implementación particular de cómo el controlador puede determinar dar instrucción a las válvulas y/o las bombas para modificar sus respectivos flujos de salida basándose en los resultados de la comparación.

Descripción detallada de la invención

- 15 La figura 1 muestra una vista en perspectiva frontal en despiece de un dispositivo de control de caudal microfluídico 100, de acuerdo con una realización particular de la invención. La figura 2 muestra el dispositivo de control de caudal microfluídico 100 de la figura 1 con la bomba 104, el compresor 106 y el caudalímetro 105 están acoplados de manera extraíble a su cuerpo principal 101. Debe entenderse que, el dispositivo de control 100 de las figuras 1 y 2 puede incluir componentes adicionales y que algunos de los componentes descritos en el presente documento pueden eliminarse y/o modificarse sin apartarse del alcance del dispositivo de control 100 descrito. Adicionalmente, la implementación del dispositivo de control 100 no se limita a tal realización.

El dispositivo de control de caudal microfluídico 100 comprende el cuerpo principal 101 que aloja parcialmente el conducto microfluídico y al que están acoplados el resto de los componentes del dispositivo de control de caudal microfluídico 100 de manera extraíble. El cuerpo principal 101 tiene un terminal de entrada 102 a través del cual un fluido, por ejemplo, agua, entra en el conducto microfluídico y un terminal de salida 103 a través del que el fluido sale del conducto microfluídico al caudal regulado correspondiente.

- 25
 - 30
 - 35
 - 40
- El dispositivo de control de caudal microfluídico 100 comprende además una bomba de fluido 104, alojada parcialmente en un rebaje 119 del cuerpo principal 101, para bombear el fluido a través del conducto microfluídico, un caudalímetro 105 para medir el caudal en ese punto del conducto microfluídico, dos válvulas (no mostradas en esta figura) dispuestas en el conducto microfluídico y ubicadas en el terminal de salida 103 y un compresor 106 para accionar las válvulas. La bomba 104 comprende un puerto de entrada 107 respectivo conectado de manera fluida al terminal de entrada 102 del dispositivo de control de caudal microfluídico 100 a través de una tubería de interconexión 108, y un puerto de salida 109 que está conectado de manera fluida a un puerto de entrada intermedio 110 del cuerpo principal 101 a través de una tubería de interconexión 111. La bomba 104 comprende además un conector eléctrico 104a al que se acopla comunicativamente un cable eléctrico para recibir las instrucciones del controlador para modificar la potencia de bombeo suministrada por la bomba 104 al fluido. En particular, el puerto de entrada 107 de la bomba 104 y la tubería de interconexión 111 están conectados de manera fluida al terminal de entrada 102 mediante la interposición del puerto intermedio 120 y un conducto (no mostrado en esta figura) ubicado en el cuerpo principal 101 que interconecta el terminal de entrada 102 al puerto intermedio 120.

- 45
 - 50
- El caudalímetro 105 comprende un puerto de entrada 112 y un puerto de salida 113 que están acoplados de manera fluida y extraíble al respectivo puerto de salida de caudalímetro 114 y al puerto de entrada de caudalímetro 115, respectivamente, del cuerpo principal 101 mediante la interposición de las respectivas tuberías de interconexión 116a-b. A su vez, el compresor de aire 106 está acoplado de manera extraíble y fluida a un puerto de entrada de compresor 117 del cuerpo principal 101 mediante la interposición de otra tubería de interconexión 118. El compresor 106 tiene cuatro puertos, dos de ellos para aspirar aire y otros dos para suministrar el aire comprimido. Dado que en esta realización únicamente un puerto del compresor 106 ha de suministrar aire comprimido para accionar las válvulas, uno de los puertos de entrada y uno de los puertos de salida del compresor 106 están interconectados por medio de una tubería de interconexión de compresor 121.

- 55
- En tal realización, el conducto microfluídico está formado por los conductos (no mostrados en esta figura) dentro del cuerpo principal 101, los conductos (no mostrados en esta figura) dentro de la bomba 104, los conductos (no mostrados en esta figura) dentro del caudalímetro 105 y las tuberías de interconexión 108, 111, 116a-b que comunican de manera extraíble y fluida la bomba 104 y el caudalímetro 105 con el cuerpo principal 101. La tubería de interconexión 118 a través de la que fluye el aire comprimido desde el compresor 106 a las válvulas no es parte del conducto microfluídico.

- 60
 - 65
- Mientras que el dispositivo de control de caudal microfluídico 100 de las figuras 1 y 2 representa una única bomba, en algunas otras realizaciones puede haber más de una bomba conectada en serie entre sí. Además, aunque el dispositivo de control de caudal microfluídico 100 de las figuras 1 y 2 tiene un único compresor para accionar las dos válvulas que integra, puede haber más de un compresor que pueda accionar cada una de las válvulas. En algunas otras soluciones, las válvulas pueden ser válvulas piezoelectráticas alimentadas por una conexión eléctrica en lugar de por aire comprimido desde un compresor. Aunque el dispositivo de control de caudal microfluídico 100 de las figuras 1 y 2 muestra este diseño, geometría y forma particulares, el dispositivo de control de caudal microfluídico 100 puede tener diferentes geometrías, diseños y formas dependiendo de los usos particulares que pueda tener o los sistemas

particulares en los que pueda instalarse.

En algunas otras implementaciones del dispositivo de control de caudal microfluídico 100 de las figuras 1 y 2, la bomba, la válvula, el compresor y el caudalímetro pueden ser partes integrales del cuerpo principal o pueden estar fijados al cuerpo principal de manera no extraíble.

La figura 3 muestra una vista en perspectiva trasera del dispositivo de control de caudal microfluídico 100 de la figura 1 que muestra el caudalímetro 105 y cómo está conectado de manera fluida al cuerpo principal 101. El puerto de entrada de caudalímetro 112 y el puerto de salida de caudalímetro 113 son puertos cilíndricos cuyo diámetro es mayor que el diámetro de las tuberías de interconexión 116a-b, de modo que las tuberías de interconexión 116a-b se introduzcan en dichos puertos 112, 113 y se acoplen de manera fluida al caudalímetro 105. El caudalímetro 105 comprende además un conector 122 al que se acopla comunicativamente un cable eléctrico para enviar los valores de los caudales medidos al controlador. Las medidas pueden recopilarse periódicamente por el caudalímetro 105 o pueden recopilarse únicamente cuando el controlador da instrucción al caudalímetro 105 que lo haga. Por ejemplo, el caudalímetro 105 puede medir el caudal del fluido que fluye en su interior cada 5 ms. La Figura 3 también muestra los orificios de paso 123 en el soporte del cuerpo principal 101 que se usan para fijar el dispositivo de control de caudal microfluídico 100 a una superficie o a un componente del equipo en el que puede montarse.

La figura 4 muestra otra vista en perspectiva trasera del dispositivo de control de caudal microfluídico 100 de la figura 1 que muestra el compresor 106 y cómo se conecta de manera fluida al cuerpo principal 101. El compresor 106 está unido al cuerpo principal 101 por medio de tornillos (no mostrados en esta figura). El compresor 106 comprende dos puertos de entrada de aire 124a y 125b y dos puertos de salida de aire 125a y 124b. En tal realización, el puerto de entrada de aire 125b y el puerto de salida de aire 124b están interconectados por medio de la tubería de interconexión de compresor 121 para mantener el puerto 124a como el único puerto de entrada de aire y el puerto 125a como el único puerto de salida de aire que suministra el aire comprimido a las válvulas ubicadas en el interior el cuerpo principal 101. El compresor 106 también incorpora un conector 106a (mostrado en la figura 1), ubicado en correspondencia con su porción inferior, al que se acopla comunicativamente un cable eléctrico para recibir las instrucciones del controlador para modificar los pasos de las válvulas en el conducto microfluídico al que está conectado de manera fluida.

Las figuras 5A y 5B muestran una vista frontal y una vista lateral, respectivamente, del dispositivo de control de caudal microfluídico 100 de la figura 1 que incluye el conducto microfluídico 125 que está alojado dentro del cuerpo principal 101 y que está marcado con líneas discontinuas. Las porciones del conducto microfluídico que están alojadas dentro de la bomba 104, el caudalímetro 105 y las tuberías de interconexión 108, 111 y 116a-b no se muestran en estas figuras.

El conducto microfluídico 125 comprende: el terminal de entrada 102, una primera porción 125a que corresponde a un primer conducto interno del cuerpo principal 101 que conecta el terminal de entrada 102 con el primer puerto intermedio 120, una segunda porción correspondiente a la tubería de interconexión 108 (no mostrada en esta figura) que conecta de manera fluida el primer puerto intermedio 120 al puerto de entrada 107 de la bomba 104 (no mostrada en esta figura), una tercera porción correspondiente a los conductos interiores de la bomba 104 (no mostrada en esta figura), una cuarta porción correspondiente a la tubería de interconexión 111 (no mostrada en esta figura) que conecta de manera fluida el puerto de salida 108 de la bomba 104 (no mostrada en esta figura) a un segundo puerto intermedio 110, una quinta porción 125b correspondiente a un segundo conducto interno del cuerpo principal 101 que conecta de manera fluida el segundo puerto intermedio 110 a la abertura de entrada del dispositivo de resistencia al flujo, en particular, un circuito de serpentín 125c, una sexta porción 125d que corresponde a un tercer conducto interno del cuerpo principal 101 que conecta de manera fluida la abertura de salida del circuito de serpentín 125c al puerto de salida de caudalímetro 114, al puerto de salida del caudalímetro 114, al puerto de entrada del caudalímetro 115, conectando las respectivas tuberías de interconexión 116a-b (no mostradas en esta figura) de manera fluida el puerto de salida del caudalímetro 114 y el puerto de entrada del caudalímetro 115 al caudalímetro 105 (no mostrado en esta figura), los conductos interiores del caudalímetro 105 (no mostrados en esta figura), una séptima porción 125e correspondiente a un cuarto conducto interior del cuerpo principal 101 que conecta de manera fluida el puerto de entrada de caudalímetro 115 a dos válvulas 126, a los conductos interiores de las válvulas 126, una octava porción 125f correspondiente a un quinto conducto interno del cuerpo principal 101 que conecta de manera fluida las válvulas 126 al terminal de salida 103 y al terminal de salida 103. El puerto de entrada de compresor 117, la tubería de interconexión 118 (no mostrada en esta figura) y el conducto 127 que conecta de manera fluida el puerto de entrada de compresor 117 a las válvulas 126 no son parte del conducto microfluídico 125. Las figuras 5A y 5B también muestran los elementos de soporte 128 en los que el compresor 106 está atornillado al cuerpo principal 101.

Aunque las figuras 1 a 5 representan un dispositivo de control de caudal microfluídico 100 que tiene esta disposición particular del conducto microfluídico 125, las válvulas 126, la bomba 104, el dispositivo de resistencia al flujo 125c, el caudalímetro 105 y el compresor 106 en el cuerpo principal 101, otras implementaciones del dispositivo de control de caudal microfluídico 100 pueden tener un diseño diferente con diferentes disposiciones de los elementos que forman el dispositivo de control de caudal microfluídico 100.

La figura 6 muestra un diagrama de bloques del dispositivo de control de caudal microfluídico 200 que incluye su subsistema hidráulico 201 y su subsistema electrónico 202, de acuerdo con una realización particular de la invención.

Debe entenderse que, el dispositivo de control 200 de la figura 6 puede incluir componentes adicionales y que algunos de los componentes descritos en el presente documento pueden eliminarse y/o modificarse sin apartarse del alcance del dispositivo de control 200 descrito. Adicionalmente, la implementación del dispositivo de control 200 no se limita a tal realización.

- 5 El subsistema hidráulico 201 comprende todos los componentes del dispositivo de control de caudal microfluídico 200 que impulsan mecánicamente, monitorizan y regular el flujo de fluido que se desplaza a través del dispositivo de control de caudal microfluídico 200. Estos componentes son los que se muestran y describen en las figuras 1 a 5. Por razones de simplicidad, únicamente se muestra la bomba 203, la válvula 204 que está dispuesta en el conducto microfluídico 206 en la salida de la bomba 203 y el caudalímetro 205 ubicado en la salida de la válvula 204. Dicho subsistema hidráulico 201 y el subsistema electrónico 202 están alojados dentro de un alojamiento protectora 207 que puede estar fabricado de material plástico o metálico, entre otros materiales, con suficiente rigidez estructural para alojar y proteger todos los componentes del dispositivo de control de caudal microfluídico 200.
- 10 15 El subsistema electrónico 202 comprende un controlador 208, que puede ser un PLC programable con su correspondiente circuitería electrónica, una pantalla 209, un teclado 210 y una memoria 211. El controlador 208 puede buscar, decodificar y ejecutar instrucciones almacenadas en la memoria 211 para realizar las funcionalidades del dispositivo de control de caudal microfluídico descrito en el presente documento. La memoria 211 puede ser cualquier aparato de almacenamiento electrónico, magnético, óptico o de otro tipo físico para contener o almacenar información 20 tal como instrucciones ejecutables, datos y similares. Por ejemplo, cualquier memoria descrita en el presente documento puede ser cualquiera de memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria volátil, memoria no volátil, memoria flash, una unidad de almacenamiento (por ejemplo, un disco duro), una unidad de estado sólido, cualquier tipo de disco de almacenamiento (por ejemplo, un disco compacto, un DVD, etc.), y similares, o una combinación de los mismos.
- 25 30 35 40 45 50 55 60 65 La pantalla 209 está acoplada comunicativamente con el controlador 208 y está configurada para mostrar, a través de una interfaz gráfica de usuario, los parámetros medidos por el caudalímetro u otros sensores que puede integrar el dispositivo de control 200. La pantalla 209 está configurada además para mostrar un menú de ajustes de configuración del dispositivo de control 200. El teclado 210 también está acoplado comunicativamente al controlador 208 y permite que un usuario seleccione los parámetros operativos, tal como el valor de caudal predefinido para el fluido que fluye a través del conducto microfluídico, la potencia de bombeo inicial de las bombas y el paso de las válvulas, entre otros, del dispositivo de control de caudal microfluídico 200.
- La figura 7 muestra un diagrama de flujo del método 300 para controlar un caudal de un fluido que fluye a través de un conducto microfluídico, de acuerdo con una realización de la invención. Aunque el método 300 de la figura 7 hace referencia al dispositivo de control de caudal microfluídico 100 de las figuras 1 a 5, puede referirse a otros dispositivos de control, tal como el dispositivo de control 200 de la figura 6, de acuerdo con el conjunto de reivindicaciones.
- En la etapa 301 del método 300, la bomba 104 del dispositivo de control de caudal microfluídico 100 bombea el fluido, por ejemplo, agua, entrando a través del terminal de entrada 102 a través del conducto microfluídico 125 a un caudal particular. Por ejemplo, este caudal particular puede variar entre 2000 y 500 microlitros por minuto.
- En la etapa 302 del método 300, el caudalímetro 105 mide el caudal del fluido dentro del conducto microfluídico 125.
- En la etapa 303 del método 300, el controlador recibe la medida de caudal por el caudalímetro 105 y la compara con un caudal predefinido. A partir de dicha comparación, el controlador puede determinar si hay una diferencia entre ambos caudales que debería corregirse.
- En la etapa 304 del método 300, el controlador da instrucción a al menos una de la al menos una bomba 104 y a la al menos una válvula 126 para modificar sus potencias de bombeo y pasos, respectivamente, basándose en el resultado de la comparación, para minimizar la diferencia entre el caudal medido y el caudal predefinido.
- Dar instrucción a la al menos una válvula 126 para modificar su paso basándose en el resultado de la comparación comprende dar instrucción a las bombas o compresores neumáticos 106 correspondientes para que ajusten los pasos de las válvulas neumáticas 126 basándose en el resultado de la comparación.
- Preferentemente, el controlador dará instrucción tanto a las válvulas 126 como a las bombas 104 para ajustar sus pasos y potencias de bombeo para ajustar el caudal del fluido que fluye a través del conducto microfluídico de modo que el caudal predefinido en el terminal de salida 103 del dispositivo de control de caudal microfluídico 100 se alcance en el período de tiempo más corto.
- La figura 8 muestra un diagrama de bloques 400 de una implementación particular de cómo el controlador puede determinar dar instrucción a las válvulas y/o las bombas para modificar sus pasos y potencias de bombeo, respectivamente, basándose en los resultados de la comparación. El controlador puede incorporar lógica difusa para tomar decisiones sobre si y en qué medida las válvulas y/o bombas ajustarán sus flujos de salida.

Como se usan en el presente documento, la lógica difusa se ha descrito como "lógica de muchos valores" en oposición a "lógica binaria". Los sistemas de lógica binaria devuelven un único "valor de verdad", o una respuesta que coincide o no con la variable. Las reglas que incluyen valores numéricos, por ejemplo, tienden a ser "binarias". La lógica difusa, sin embargo, permite múltiples coincidencias con la lógica y permite más información contextualmente útil. Por ejemplo, puede indicar si un cierto parámetro operativo es "alto", "bajo" o "aceptable"—es decir, la lógica difusa puede producir una respuesta que es en realidad un grado de verdad en lugar de una indicación nítida de la verdad. La unidad de lógica difusa 401 de la presente divulgación incluye variables de entrada, variables de salida, funciones de pertenencia definidas a lo largo de los intervalos de las variables, y reglas o proposiciones difusas que relacionan entradas con salidas a través de las funciones de pertenencia. La agregación de todas las reglas es la base para el proceso de inferencia de lógica difusa. Las reglas se aplican a las variables de entrada usando un motor de inferencia a la luz de la función de pertenencia y da como resultado la variable de salida.

Para ello, la unidad de lógica difusa 401 recibe las medidas de los diferentes sensores 402 del sistema 403 (el sistema se refiere a una representación global de todo el sistema, incluyendo los elementos eléctricos, electrónicos e hidráulicos del dispositivo de control) que pueden integrarse y junto con los puntos de ajuste de flujo conocidos a partir del funcionamiento del sistema 403, ejecuta las acciones de control de bomba y válvula para indicar a los accionadores de regulador de bomba 404 y/o a los accionadores de regulador de válvula 405 si deben actuar sobre las respectivas bombas y/o válvulas del sistema 403 y en qué medida. En otras palabras, la unidad de lógica difusa 401 determina cuánto van a ajustar el accionador de regulador de bomba 404 y el accionador de regulador de válvula 405 sus acciones respectivas para minimizar la diferencia entre el caudal medido y el caudal predefinido en el lapso de tiempo más corto. A continuación, el accionador de regulador de bomba 404 y el accionador de regulador de válvula 405 variarán sus cálculos para las potencias de bombeo y/o los valores de paso para las bombas y válvulas, respectivamente, con los parámetros que la lógica difusa ha determinado que hagan hasta alcanzar el caudal predefinido en el conducto microfluídico. Esta lógica difusa también se puede aplicar a otros parámetros del fluido, tales como la temperatura, densidad, presión que puede recibirse de los sensores 402.

Por lo tanto, el controlador, por medio de lógica difusa, dará instrucción a las bombas para modificar o ajustar continuamente la potencia de bombeo que están aplicando y a las válvulas para modificar o ajustar simultánea y continuamente sus pasos para que se minimice la diferencia entre el caudal predefinido y el caudal medido en el caudalímetro en el lapso más corto del tiempo.

En este texto, el término "comprende" y sus derivados (tales como "que comprende", etc.) no deberían entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir elementos adicionales, etapas, etc. El término "otro", como se usa en el presente documento, se define como al menos un/a segundo/a o más. El término "acoplado", como se usa en el presente documento, se define como conectado, ya sea directamente sin elementos intermedios o indirectamente con al menos un elemento intermedio, a menos que se indique lo contrario. Dos elementos pueden acoplarse mecánicamente, unirse eléctricamente o comunicativamente a través de un canal de comunicación, ruta, red o sistema.

La presente invención, obviamente, no se limita a las realizaciones específicas descritas en el presente documento, sino que también abarca cualquier variación que cualquier experto en la materia pueda considerar (por ejemplo, en cuanto a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro del alcance general de la invención como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de control de caudal microfluídico (100) para controlar un caudal de un fluido que fluye a través de un conducto microfluídico (125), el dispositivo de control (100) comprende:

5 un terminal de entrada (102) para la entrada de fluido y un terminal de salida (103) para la salida de fluido; el conducto microfluídico (125) que conecta de manera fluida el terminal de entrada (102) con el terminal de salida (103);
 10 al menos una bomba (104) dispuesta en el conducto microfluídico (125) para bombear el fluido a través del conducto microfluídico (125) a un caudal;
 15 al menos una válvula (126) dispuesta en el conducto microfluídico (125), estando la válvula (126) configurada para ajustar el caudal del fluido modificando su paso;
 20 un sensor de flujo (105) dispuesto en el conducto microfluídico (125), estando configurado el sensor de flujo (105) para medir el caudal dentro del conducto microfluídico (125); y
 en donde el dispositivo de control de caudal microfluídico (100) comprende un controlador (208) que está configurado para recibir el caudal medido por el sensor de flujo (105), comparar el caudal medido con un caudal predefinido y dar instrucción a al menos una de la al menos una bomba (104) y la al menos una válvula (126) para modificar una potencia de bombeo de la bomba y el paso de la válvula, respectivamente, basándose en el resultado de la comparación para minimizar la diferencia entre el caudal medido y el caudal predefinido.

20 2. El dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende una pluralidad de válvulas (126) conectadas en serie entre sí a lo largo de una porción del conducto microfluídico (125).

25 3. El dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde las válvulas (126) son válvulas neumáticas y el dispositivo de control de caudal microfluídico (100) comprende una respectiva bomba neumática (106) conectada de manera fluida a cada una de las válvulas neumáticas (126), estando las bombas neumáticas (106) configuradas para modificar el paso de las correspondientes válvulas neumáticas (126) basándose en el resultado de la comparación.

30 4. El dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una pluralidad de microbombas (104) conectadas en serie para bombear el fluido a través del conducto microfluídico (125).

35 5. El dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la al menos una válvula (126) está dispuesta en el conducto microfluídico (125) entre el sensor de flujo (105) y el terminal de salida (103).

40 6. El dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un cuerpo principal (101) que aloja al menos parcialmente el conducto microfluídico (125) y en donde la al menos una bomba (104), el sensor de flujo (105), el controlador y la al menos una válvula (126) están acoplados de manera extraíble al cuerpo principal (101).

45 7. El dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las bombas (104) son microbombas piezoelectricas y las válvulas (126) son válvulas piezoelectricas.

50 8. El dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un dispositivo de resistencia al flujo (125c) dispuesto en el conducto microfluídico (125) que está configurado para introducir una caída de presión constante en el flujo de fluido que fluye a través del conducto microfluídico (125).

55 9. El dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un sensor de presión dispuesto en el conducto microfluídico (125), estando configurado el sensor de presión para medir una presión del fluido que fluye a través del conducto microfluídico (125).

60 10. El dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un sensor de temperatura dispuesto en el conducto microfluídico (125), estando configurado el sensor de temperatura para medir una temperatura del fluido que fluye a través del conducto microfluídico (125).

65 11. El dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende:

una interfaz gráfica de usuario acoplada comunicativamente a al menos un sensor del dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de tal manera que la interfaz gráfica de usuario está configurada para mostrar al menos uno de un caudal, una presión y una temperatura del fluido que fluye a través del conducto microfluídico (125) medidas por el al menos un sensor; y

un dispositivo de entrada de usuario configurado para permitir que un usuario seleccione los parámetros operativos del dispositivo de control de caudal microfluídico (100), comprendiendo los parámetros operativos el caudal predefinido, una potencia de bombeo inicial de las bombas y un paso inicial de las válvulas.

- 5 12. Un circuito de fluido cerrado que comprende un dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 10 13. Un circuito de fluido abierto que comprende un dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.
- 10 14. Un método (300) para controlar un caudal de un fluido que fluye a través de un conducto microfluídico (125) que hace uso del dispositivo de control de caudal microfluídico (100) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde el método comprende:
- 15 - bombear (301), mediante la al menos una bomba (104), el fluido a través del conducto microfluídico (125) a un caudal;
- 15 - medir (302), mediante el sensor de fluido (105), el caudal del fluido dentro del conducto microfluídico (125);
- 15 - comparar (303), mediante el controlador (208), el caudal medido con un caudal predefinido; y
- 20 - dar instrucción (304), mediante el controlador (208), a al menos una de la al menos una bomba (105) y la al menos una válvula (126) para modificar una potencia de bombeo de la bomba y un paso de la válvula, respectivamente, basándose en el resultado de la comparación para minimizar la diferencia entre el caudal medido y el caudal predefinido.
- 25 15. El método (300) para controlar un caudal de un fluido que fluye a través de un conducto microfluídico (125) de acuerdo con la reivindicación 14, en donde dar instrucción a la al menos una válvula (126) para modificar su paso basándose en el resultado de la comparación comprende dar instrucción a las bombas neumáticas (106) correspondientes para que ajusten el paso de las válvulas neumáticas (126) basándose en el resultado de la comparación.

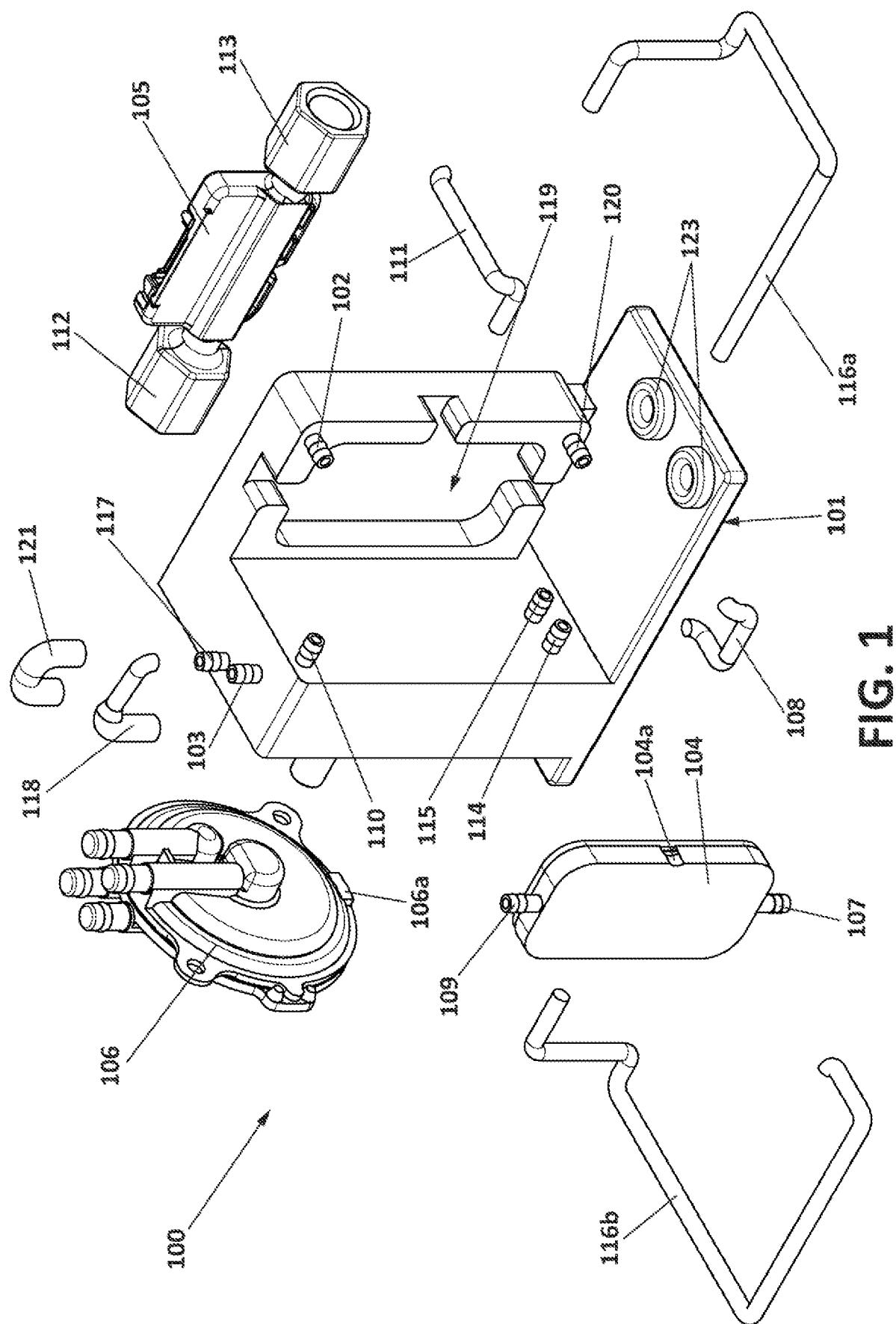


FIG. 1

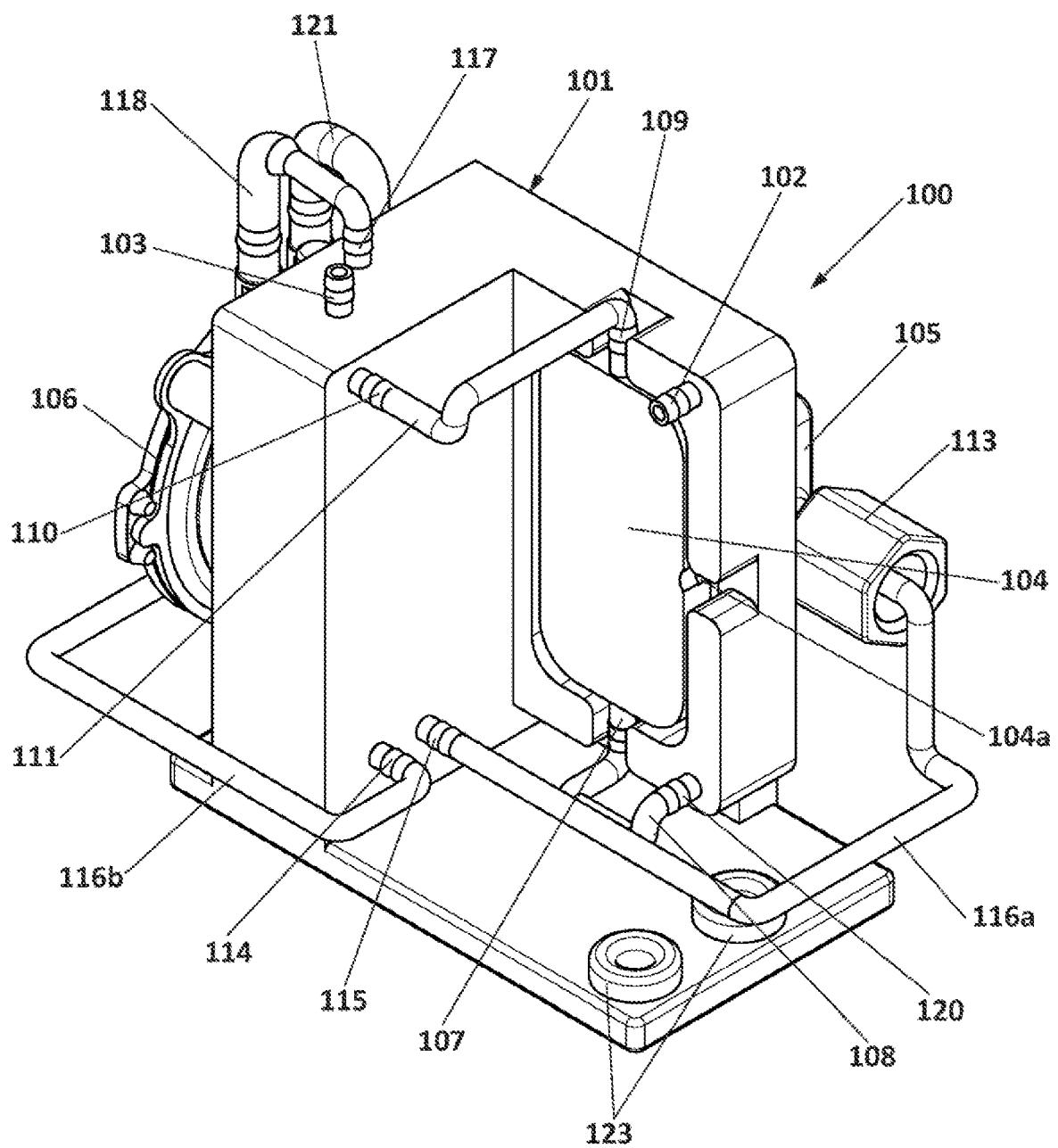


FIG. 2

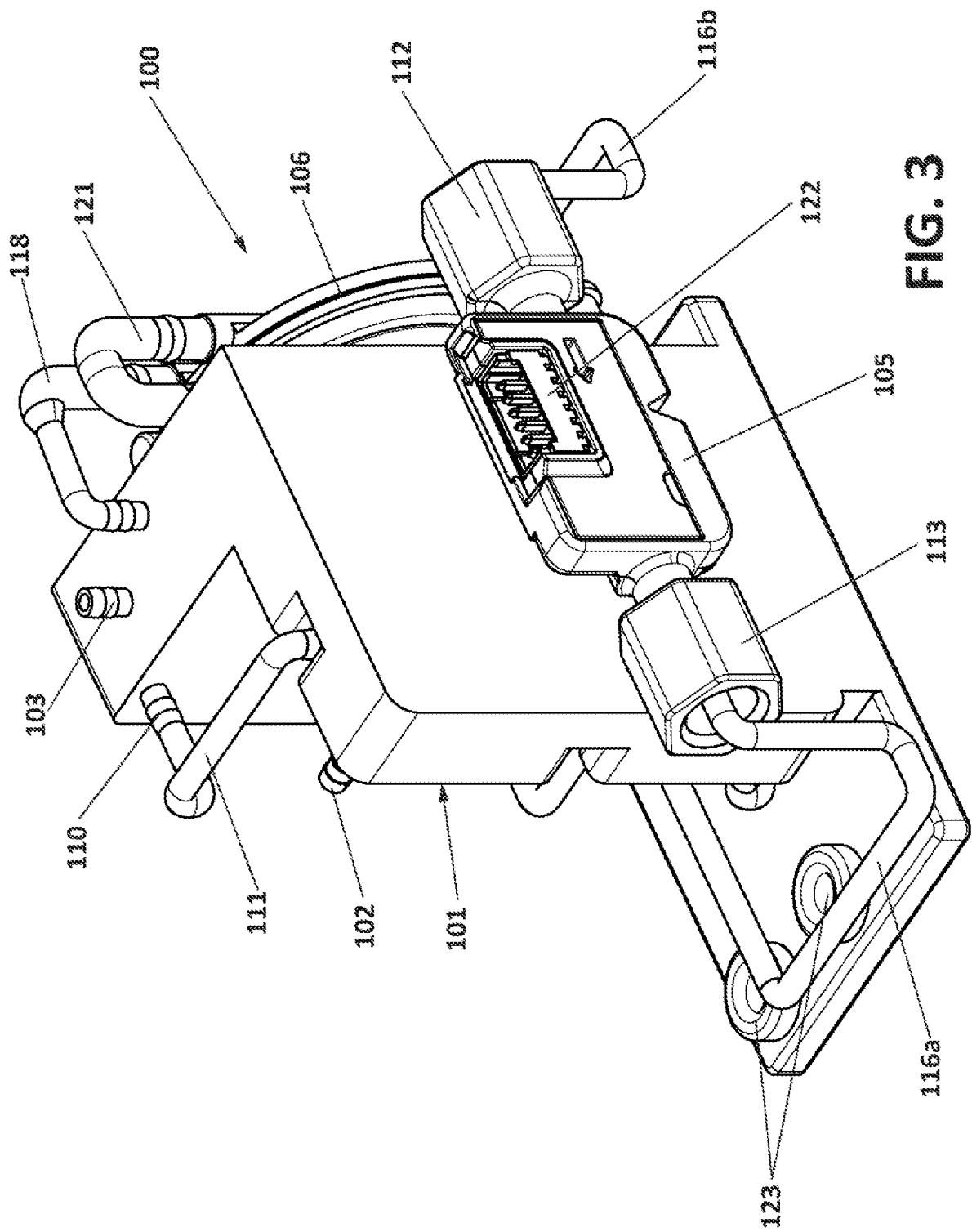


FIG. 3

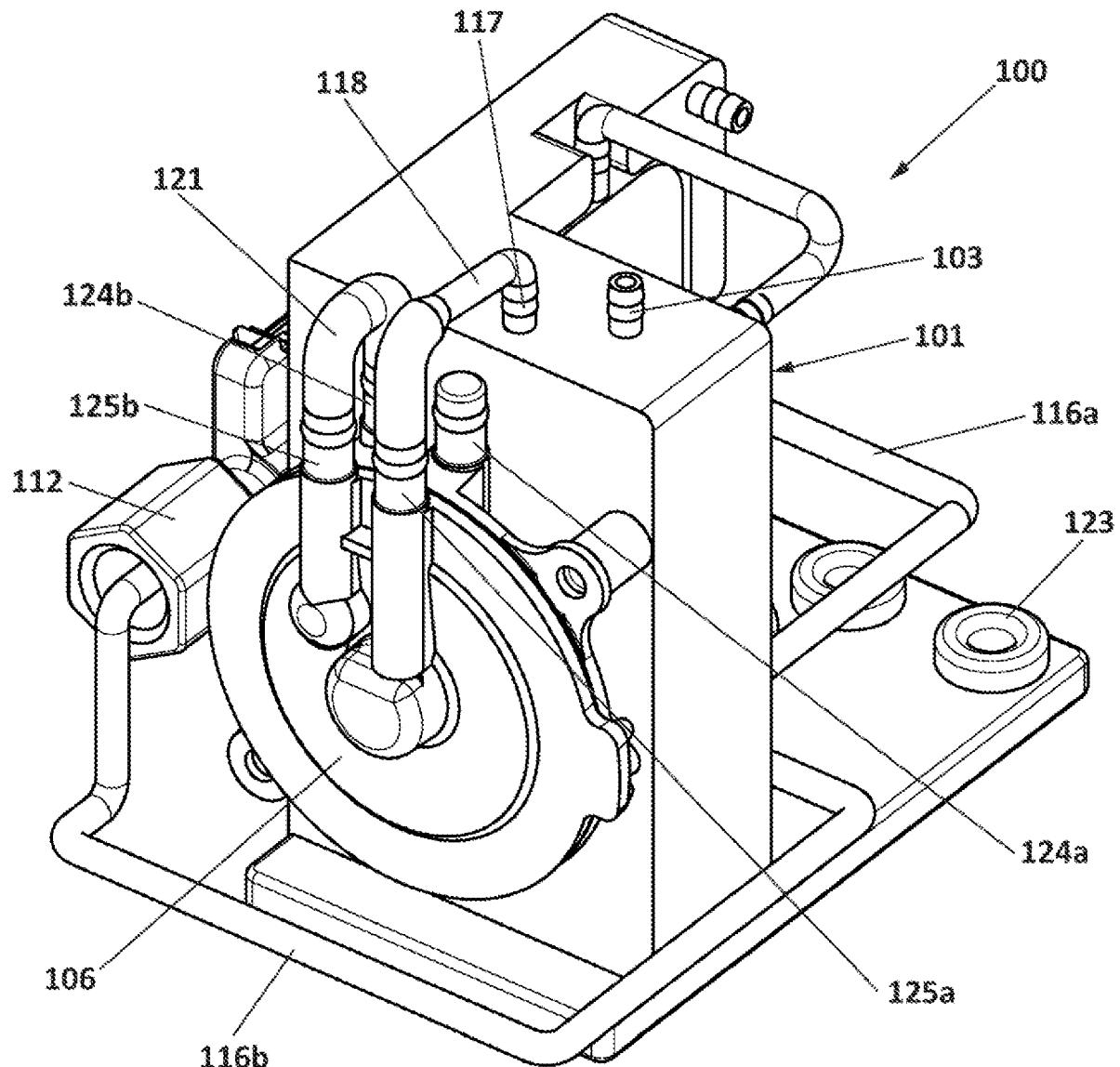


FIG. 4

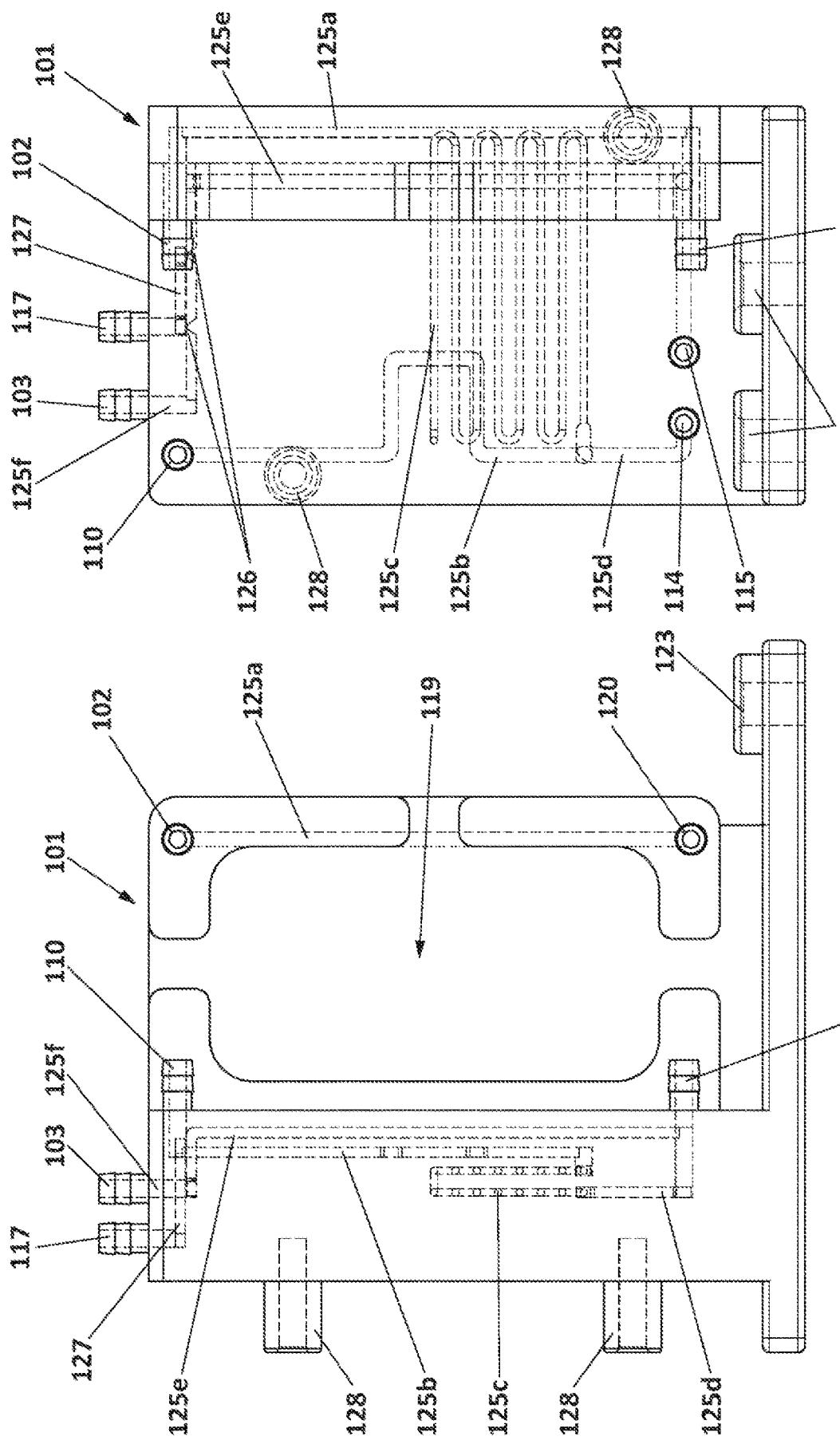
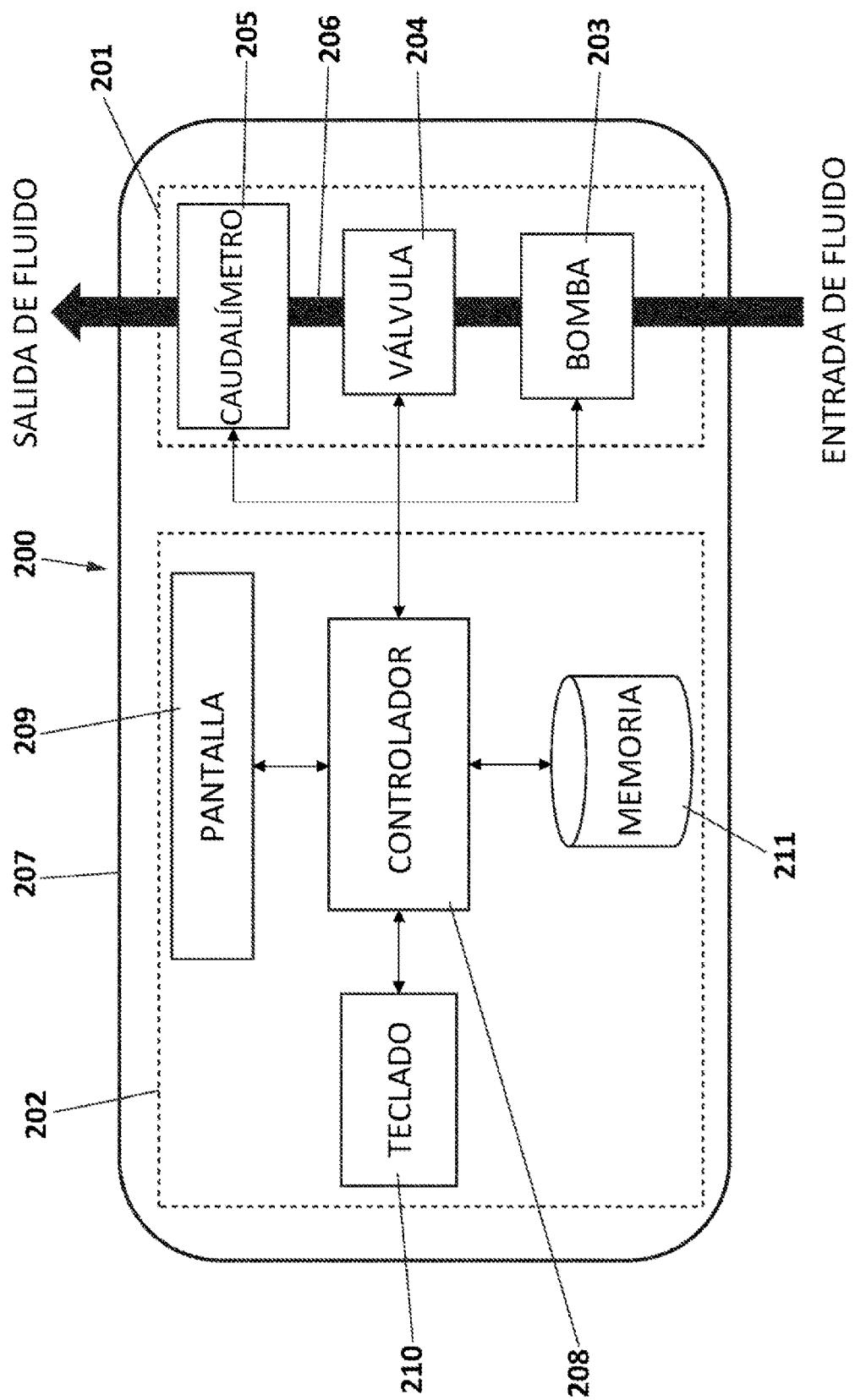


FIG. 5B

114
EIG. 5A

**FIG. 6**

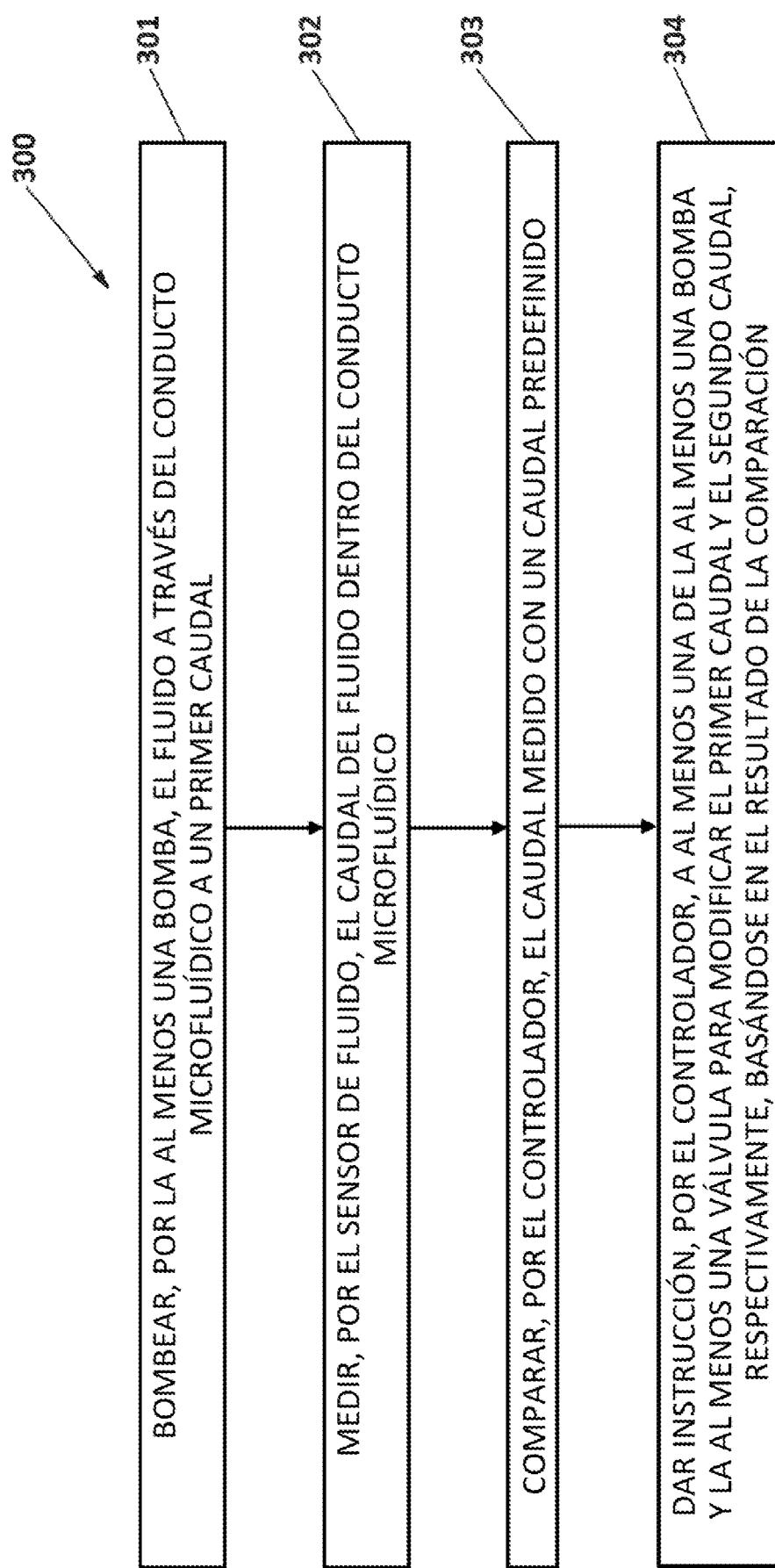


FIG. 7

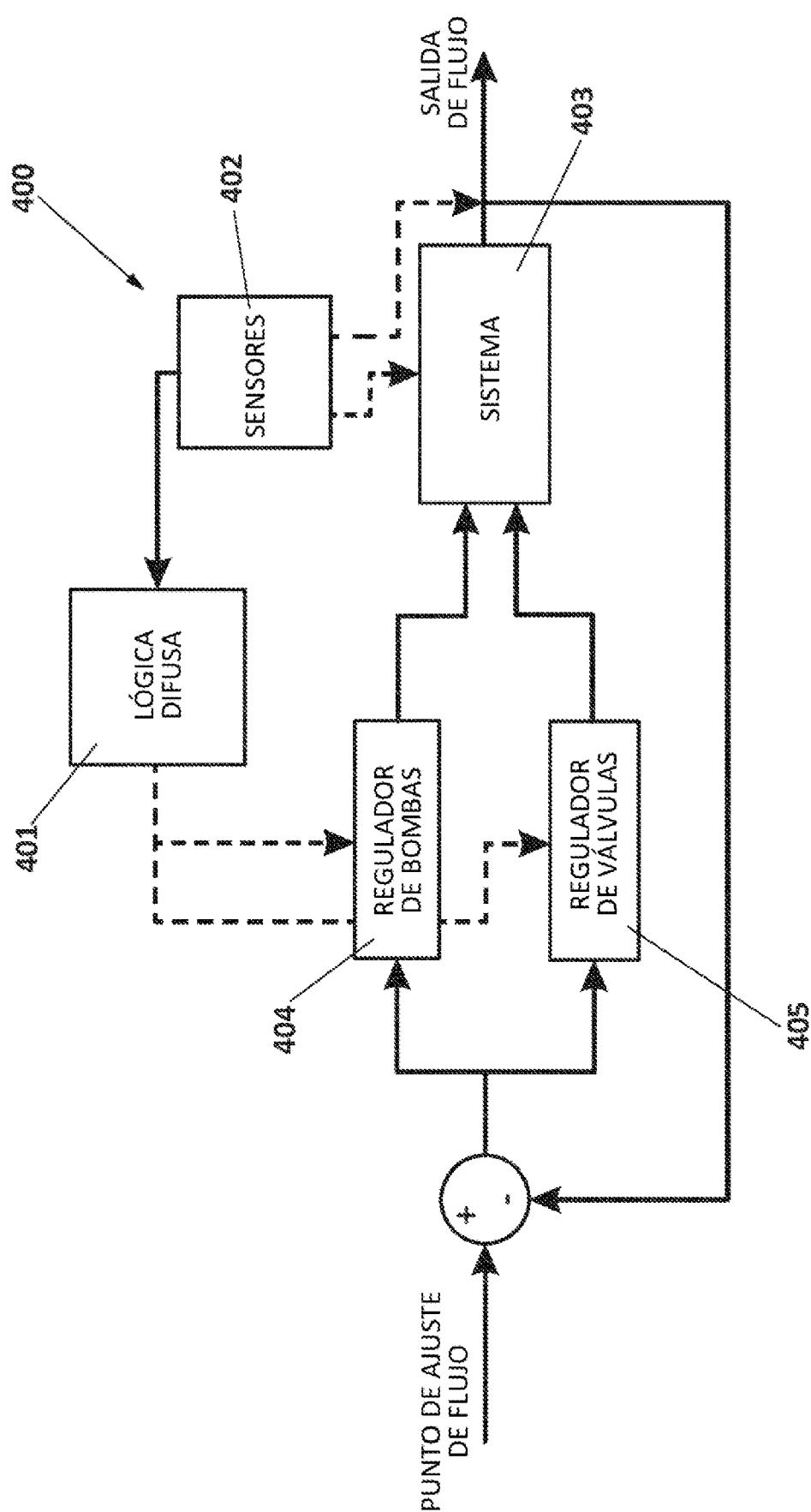


FIG. 8