

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 965 152**

51 Int. Cl.:

G01H 11/08 (2006.01)

G01M 3/24 (2006.01)

E03B 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.10.2017** **PCT/AU2017/051111**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.04.2018** **WO18068098**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.10.2017** **E 17861062 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2023** **EP 3526559**

54 Título: **Sensor de vibración para la detección de fugas de fluidos**

30 Prioridad:

13.10.2016 AU 2016904153

26.05.2017 AU 2017902012

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.04.2024

73 Titular/es:

SOUTH EAST WATER CORPORATION (100.0%)
WatersEdge, 101 Wells Street
Frankston VIC 3199, AU

72 Inventor/es:

FORSTER-KNIGHT, ANDREW;
LONDONO, JUAN;
MOFARDIN, EDDY;
DHARMADHIKARI, NINAD MOHAN;
CROOK, JONATHAN PHILIP;
SWAN, MATTHEW;
GEHRIG, COLIN NEIL;
MERRY, THOMAS JAMES;
NEESON, OWEN DAVID y
VAN DER PLAS, JOSEPH IGNATIUS MARIA

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 965 152 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

Sensor de vibración para la detección de fugas de fluidos

Campo técnico

- 5 Las realizaciones se refieren generalmente a sensores de vibración. Las realizaciones particulares se refieren a sensores de vibración para la detección de fugas de fluidos, opcionalmente en combinación con un contador de agua, y a sistemas y métodos que emplean dichos sensores de vibración.

Antecedentes

- 10 Los locales domésticos y comerciales dependen habitualmente de una fuente de agua para diversos fines. A efectos de seguimiento del uso del agua, estos locales suelen tener un contador de agua colocado para medir la cantidad de agua que fluye por una línea de suministro a los locales.

En los conductos de fluidos cercanos pueden producirse fugas. Algunas de estas fugas pueden ser menores y tener consecuencias mínimas, mientras que otras pueden ser importantes y/o tener consecuencias significativas si no se identifican a tiempo y se reparan.

- 15 Algunas técnicas anteriores de detección de fugas de fluidos en conductos de fluidos, como las redes de suministro de agua, han necesitado que el personal de mantenimiento acuda periódicamente al lugar de las presuntas fugas en una red de suministro de agua y esté presente en el lugar durante periodos significativos mientras utiliza aparatos de escucha engorrosos y/o costosos. En ocasiones, estas técnicas pueden tardar años en controlar y determinar eficazmente las fugas en una red de suministro de agua. La contratación de estos servicios de detección de fugas puede representar un coste significativo para las empresas de suministro de agua.

- 20 El documento GB 2 033 584 divulga un acelerómetro piezoeléctrico que comprende una pila de elementos piezoeléctricos y muelles de masa. El elemento piezoeléctrico está asentado dentro de un rebaje de la masa sísmica. En particular, el elemento piezoeléctrico ocupa completamente el hueco en el que está asentado. Debido a la construcción del dispositivo, el acelerómetro piezoeléctrico sólo es capaz de detectar una gama limitada de vibraciones.

- 25 El documento EP 2 314 997 divulga un sistema y un método para detectar fugas en una red de tuberías que comprende un registrador de vibraciones capaz de recibir señales de vibración de la tubería y un codificador de registro conectado a un contador de fluido para medir los datos de flujo. Un ordenador está configurado para procesar las mediciones del contador y las señales de vibración procesadas para detectar una fuga en el puerto de la red de tuberías conectado a un lector/transmisor automático de contadores.

Se desea abordar o mejorar una o varias deficiencias o desventajas de los sensores de vibración, dispositivos de detección de fugas o técnicas de detección de fugas anteriores, o al menos proporcionar una alternativa útil a los mismos.

- 35 Cualquier discusión de documentos, actos, materiales, dispositivos, artículos o similares que se haya incluido en la presente memoria descriptiva no debe tomarse como una admisión de que alguno o todos estos asuntos forman parte de la base del estado de la técnica o eran de conocimiento general común en el campo relevante para la presente divulgación tal y como existía antes de la fecha de prioridad de cada reivindicación de esta solicitud.

- 40 A lo largo de esta memoria descriptiva, se entenderá que la palabra "comprende", o variaciones como "comprende" o "que comprende", implican la inclusión de un elemento, número entero o paso, o grupo de elementos, números enteros o pasos, pero no la exclusión de cualquier otro elemento, número entero o paso, o grupo de elementos, números enteros o pasos.

Compendio

- 45 La invención se refiere a un sensor de vibraciones según la reivindicación 1.

Las realizaciones preferidas de la invención son objeto de las reivindicaciones dependientes, cuyo contenido debe entenderse que forma parte integrante de la presente descripción.

Breve descripción de los dibujos

- 50 La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de dosificación de fluidos según algunas realizaciones;

- La figura 2 es otro diagrama de bloques del sistema de dosificación de fluidos;
- La figura 3 es un diagrama esquemático en sección transversal de un contador de agua según algunas realizaciones;
- 5 La figura 4 es un diagrama de flujo de un método de funcionamiento de un contador de fluidos según algunas realizaciones;
- La figura 5 es un diagrama esquemático de un sensor de vibraciones según algunas realizaciones;
- La figura 6 es un diagrama de flujo de un método de determinación de fugas según algunas realizaciones;
- La figura 7 es un ejemplo de espectro de frecuencias de una señal de salida de un sensor de vibraciones según algunas realizaciones;
- 10 La figura 8 es una representación esquemática en sección transversal de un sensor de vibraciones según algunas realizaciones;
- La figura 9 es una vista en perspectiva parcialmente cortada de un sensor de vibraciones según algunas realizaciones, en la que el sensor está colocado en relación con un conducto de fluido que forma parte de un conjunto de contador de fluido;
- 15 La figura 10 es una vista en perspectiva explosionada del sensor de vibraciones mostrado en la figura 9;
- La figura 11 es una vista en perspectiva parcialmente cortada de un sensor de vibraciones según otras realizaciones, que se muestra colocado en relación con un conducto de fluido de un conjunto de contador de fluido;
- La figura 12A es una vista en perspectiva superior de un sensor de vibraciones según otras realizaciones;
- 20 La figura 12B es una vista en perspectiva inferior del sensor de vibraciones de la figura 12A;
- La figura 12C es una vista superior del sensor de vibraciones de la figura 12A;
- La figura 12D es una vista en alzado lateral del sensor de vibraciones de la figura 12A, mostrada en sección transversal parcial tomada a lo largo de la línea A-A de la figura 12C;
- 25 La figura 13 es un diagrama esquemático de los componentes eléctricos de los sensores de vibración según diversas realizaciones, mostrados en comunicación con un dispositivo de procesamiento independiente de un conjunto de contador de fluidos;
- La figura 14 es un diagrama esquemático de circuitos frontales analógicos para acondicionar las señales de salida recibidas de un transductor piezoeléctrico del sensor de vibraciones de algunas realizaciones;
- 30 La figura 15A es un diagrama de flujo de parte de un método de detección de fugas según algunas realizaciones;
- La figura 15B es un diagrama de flujo del resto del método mostrado en la figura 15A;
- La figura 16A es un diagrama de flujo de parte de un método de detección de fugas según algunas realizaciones;
- La figura 16B es un diagrama de flujo del resto del método mostrado en la figura 16A;
- 35 La figura 17 es una vista en perspectiva explosionada de un sensor de vibraciones según otras realizaciones;
- La figura 18 es una vista en perspectiva de una placa de circuito impreso y un transductor piezoeléctrico colocados en relación con una placa base de sensor de vibraciones de la figura 17;
- 40 La figura 19 es una vista lateral en sección transversal de partes del sensor de vibraciones de la figura 17, que muestra circuitos impresos flexibles que cubren parte del transductor piezoeléctrico dentro del peso sísmico;
- La figura 20A es una vista en planta de un componente de circuito impreso flexible para su uso con las realizaciones del sensor de vibraciones de la figura 17, mostrado en una configuración desplegada;
- 45 La figura 20B es una vista en alzado lateral del componente de circuito impreso flexible de la figura 20A, mostrado en una configuración plegada, en la que normalmente rodearía al menos parcialmente un transductor piezoeléctrico cilíndrico;

La figura 21A es una vista posterior de un circuito impreso que comprende el componente de circuito impreso flexible de las figuras 20A y 20B en combinación con una placa de circuito impreso para su uso en las realizaciones del sensor de vibraciones mostrado en la figura 17;

La figura 21B es una vista frontal del circuito impreso de la figura 21A; y

- 5 La figura 22 es un diagrama esquemático de un conjunto alternativo de placa de circuito impreso.

Descripción detallada

- 10 Algunas realizaciones se refieren en general a contadores de fluidos, como contadores de agua, y a sistemas y métodos que emplean dichos contadores de fluidos. Algunas realizaciones se refieren generalmente a sensores de vibración. Las realizaciones particulares se refieren a sensores de vibración para la detección de fugas de fluidos, opcionalmente en combinación con un contador de agua, y a sistemas y métodos que emplean dichos sensores de vibración.

- 15 En referencia en particular a las figuras 1 a 3, se describe con más detalle un sistema de dosificación de fluidos 200. El sistema 200 comprende al menos un contador de agua 100 que está en comunicación con un servidor 210 a través de una red, como una red pública o parcialmente pública que incluye una infraestructura de telecomunicaciones inalámbrica. El servidor 210 tiene acceso a un almacén de datos 215. En la práctica, muchos contadores de fluidos 100 formarán parte del sistema 200, y cada uno de esos contadores 100 estará en comunicación con el servidor 210 a través de la red 225.

- 20 Una carcasa 300 (figura 3) aloja un contador de agua 100 y una instalación de sensores 340 que comprende un sensor de flujo 145 para detectar el flujo de fluido 320 dentro del conducto, y uno o más sensores 155, 156 para detectar al menos una condición del fluido o del conducto de fluido.

- 25 En algunas realizaciones, el contador de agua 100 es un medidor de flujo estático, como un medidor de flujo ultrasónico o magnético. Otras realizaciones pueden comprender un medidor de flujo mecánico. Este medidor estará configurado para medir las características del flujo de fluido, como el caudal máximo/mínimo, el flujo inverso y otras características dentro de un conducto de fluido, denominado por comodidad lumen 325. El medidor puede comprender un tubo de flujo 310 que tiene un espacio interno hueco para recibir y conducir el flujo de fluido 320 desde el lado de suministro de fluido 330 y adecuado para detectar una condición de fluido sobre un flujo de fluido 320, utilizando el sensor de flujo 145, y los sensores de flujo 155, 156 incorporados. El tubo de flujo 310 puede estar hecho de un material adecuado para permitir la detección del fluido por el sensor de flujo 145. Algunas realizaciones pueden comprender un tubo de flujo de latón.

- 30 El sensor de flujo 145 está acoplado comunicativa y eléctricamente al primer controlador 120, que tiene un procesador 121 y una memoria 122. El primer controlador 120 recibe energía de la fuente de alimentación 135 y la transmite a los demás componentes del sistema. El primer controlador 120 está acoplado eléctrica y comunicativamente a un segundo controlador 150, que a su vez está acoplado eléctrica y comunicativamente a uno o más sensores 155, 156. En algunas realizaciones de la invención, las funciones del primer controlador 120 y del segundo controlador 150 pueden consolidarse en un único controlador o procesador. En algunas realizaciones, una o más funciones del primer controlador 120 y del segundo controlador 150 pueden ser llevadas a cabo por otro número de controladores y/o procesadores. Por ejemplo, las realizaciones pueden incluir circuitos de procesador adicionales, como un procesador de señales digitales (DSP), pero dichos circuitos de procesador adicionales deben entenderse incluidos como parte del controlador o procesador descrito en el presente documento a menos que el contexto indique lo contrario.

- 35 El primer controlador 120 sólo enciende el segundo controlador y el uno o más sensores cuando se desea tomar una medición del sensor en relación con las condiciones del fluido en el conducto, y el primer controlador retira la alimentación del uno o más sensores en otros momentos. El intervalo de detección deseado puede coincidir con una carga de datos diaria y realizarse según un intervalo configurable.

- 40 Los uno o más sensores 155, 156 están acoplados eléctrica y comunicativamente a un segundo controlador 150, que tiene un procesador 151 y una memoria 152, configurados para controlar la activación de los uno o más sensores según un intervalo configurable. El uno o más sensores pueden incluir sensores para detectar la presión del fluido, las vibraciones dentro del lumen 325, la temperatura y otras características del fluido. También pueden proporcionarse sensores para detectar otras condiciones, y puede utilizarse más de un tipo de sensor para medir un tipo de condición. Dependiendo de la información que se desee recopilar, un subconjunto de esos sensores puede estar comprendido en el sistema 100. Por ejemplo, en algunos casos puede ser conveniente medir el caudal de fluido, la presión del fluido y la vibración del conducto para la detección de fugas, y en otros casos medir el caudal de fluido, la vibración del conducto para la detección de fugas y la calidad del agua.

- Los sensores disponibles en el mercado pueden utilizarse como sensores bajo el control del segundo controlador, modificados según sea necesario para funcionar a baja potencia, o modificados para permitir umbrales de medición pequeños. La separación del segundo controlador 150 y los sensores 155, 156 del primer controlador 120 y el sensor de flujo 145 puede permitir la adaptación de medidor de flujos existentes, disponibles comercialmente, para su uso como contador de agua 100, con una modificación adicional mediante la inclusión de un segundo controlador 150 dentro de la carcasa 300.
- En algunas realizaciones, el primer controlador 120 y el segundo controlador 150 pueden constar de un único controlador principal, con al menos un procesador y una memoria, y realizar las mismas funciones.
- Una fuente de alimentación 135 suministra energía al sistema alojado, incluidos los uno o más sensores, a través de la conexión al primer controlador 120 del medidor, que a su vez suministra energía al segundo controlador 150.
- Un módulo de comunicaciones 140 está conectado eléctrica y comunicativamente al primer controlador 120, con el fin de comunicarse con un dispositivo cliente 220 y recibir instrucciones del mismo a través de una red 225,
- Haciendo referencia en particular a la figura 3, la carcasa 300 puede ser una carcasa IP68 (con clasificación EN60529) fabricada en plástico muy resistente a los daños causados por los rayos UV, las fluctuaciones de temperatura y otros factores ambientales. En algunas realizaciones, el sistema de medición 100 dentro de la carcasa 300 puede ser lo suficientemente estanco como para soportar una inmersión total en agua durante al menos 48 horas sin sufrir daños permanentes. Las porciones de acoplamiento roscadas o embridadas 335 del contador pueden ser de bronce y proporcionar una orientación aguas arriba y/o aguas abajo con un extremo aguas arriba acoplado a la red de suministro y un extremo aguas abajo acoplado a las instalaciones del cliente. En algunas realizaciones, puede sustituirse por un metal o material alternativo adecuado. Algunas realizaciones comprenden un tubo de flujo 310 completamente metálico. Las porciones de acoplamiento roscadas 335 pueden estar unidas por una banda metálica conductora. En las realizaciones que comprenden un tubo de flujo de plástico u otro material, pueden utilizarse cables de seguridad o de unión para permitir que los contadores se instalen o mantengan de forma segura sin riesgo de electrocución. El sistema de medición 100 dentro de la carcasa 300 debe cumplir unas normas mínimas de inmunidad electromagnética y descarga electrostática (ESD), como la norma IEC 61000-4.
- El sistema de medición 100 puede tener límites ambientales de al menos -10 a +55 grados centígrados, y de 5% a 95% de humedad mientras funciona o está almacenado. El sistema de medición 100 puede ser capaz de funcionar bajo la luz directa del sol a una temperatura ambiente de al menos 45 grados centígrados (en algunas realizaciones hasta 50 grados centígrados).
- El sistema de contador 100 puede proporcionar una conductividad eléctrica adecuada a través de la carcasa y los conectores para garantizar la continuidad de la toma de tierra en instalaciones que dependen de las tuberías de agua como medio de puesta a tierra de la red eléctrica.
- En algunas realizaciones, los materiales de construcción del sistema de contador 100 se elegirán para minimizar el valor de reciclado del contador, utilizando un mínimo de materiales con alto valor de reciclado, como cobre o latón, para reducir el riesgo de robo o vandalismo del sistema de contador 100.
- La carcasa 300 también puede alojar botones, interruptores, luces o sistemas de accionamiento manual que permitan a un operario determinar el estado operativo de los contadores o manipular determinadas funciones de los mismos, como el accionamiento manual de la alimentación, la toma de mediciones y el forzado de una carga de datos. Estas funciones pueden alojarse en la pantalla externa 125 o en la interfaz externa 130. Por ejemplo, un mecanismo de activación que despierte al medidor de su modo de reposo/muerto/bajo consumo para que se encienda y se conecte a la red. Una forma de realización de este mecanismo puede ser un pulsador, un imán o un LED de accionamiento situado en la interfaz externa 130.
- La carcasa 300 puede permitir además una pantalla local 125 legible a la luz directa del sol desde una distancia adecuada, nominalmente 100 cm. La pantalla local 125 puede ser capaz de mostrar información sobre el contador o las condiciones detectadas en el lumen 325, como el consumo total de agua en kL con una resolución de 0,1L o mejor, la hora actual del día, el estado del contador o las alarmas activadas, el caudal instantáneo, el estado de la comunicación, las últimas mediciones de la presión, la temperatura del agua u otra información.
- La carcasa 300 puede permitir el acceso a la pantalla externa 125, que muestra indicaciones locales visibles (por ejemplo, mediante LED visibles) de:
- Encendido/apagado - medidor funcionando o sin funcionar (hibernando)

- Comunicaciones (no disponible/búsqueda/conexión)
- Nivel de la batería (porcentaje o tensión)
- Fallo interno (como corrupción de memoria, error de software, fallo del hardware de comunicaciones)

5 En algunas realizaciones, la instalación 100 y el alojamiento 300 pueden orientarse horizontal o verticalmente, y pueden instalarse directamente en línea con un lumen 325 o instalarse en un tubo de derivación conectado a un lumen 325. La instalación puede instalarse con una distancia mínima aguas arriba, en un lumen 325 conectado a una red de suministro de fluido 330. El sistema de contador 100 puede seguir cumpliendo todos los requisitos en cualquier orientación instalada.

10 En algunas realizaciones, puede instalarse una antena de alta ganancia en conexión eléctrica y comunicativa con el módulo de comunicaciones 140, para mejorar la intensidad de la señal en zonas de baja cobertura. Una realización puede abarcar un accesorio de bajo perfil, situado en la tapa del medidor o dentro de la carcasa 300 del medidor. Las realizaciones alternativas pueden abarcar al menos un puerto de antena externo adecuado para recibir una instalación posterior de una antena de alta ganancia, estando el puerto de antena en conexión eléctrica y comunicativa con el módulo de comunicaciones. En
15 tales realizaciones, la antena y el puerto de antena pueden estar fabricados con un material adecuado, que cumpla la clasificación IP68, y ser resistentes a los daños causados por los rayos UV, las fluctuaciones de temperatura y otros factores ambientales. En otras realizaciones, cualquier antena de comunicaciones necesaria se montaría internamente.

20 La fuente de alimentación 135 del medidor 100 suministra energía a todos los componentes. La fuente de alimentación 135 puede ser de un tipo que tenga una larga vida útil y una baja autodescarga, adecuada para ser instalada durante largos periodos (idealmente 10, 15 o más años) sin que sea necesario sustituirla. La fuente de alimentación 135 puede tener la forma de una batería de litio, con una capacidad de 3,0 V (@0,5 A @1% de ciclo de trabajo) de 19 Ah, una tensión nominal de 3,6 V, un impulso máximo
25 de 1 segundo a 3,0 V de 3 A, una duración máxima del impulso @0,5 A a 2,8 V de 1.000 segundos, sin tiempo de retardo a 3,0 V @0,5 A, un peso aproximado de 140 g, un rango de funcionamiento seguro de -40 °C a +85 °C y una capacidad de retención del 96% después de 10 años, por ejemplo. Sin embargo, se pueden utilizar otras fuentes de alimentación adecuadas con parámetros operativos y/o funcionales diferentes a los enumerados anteriormente. La carcasa 300 debe permitir el acceso a la fuente de
30 alimentación 135 para su mantenimiento o sustitución.

En referencia a la figura 1, el sistema 100 presenta un primer controlador 120 y un segundo controlador 150.

35 El primer controlador comprende un procesador 121 y una memoria 122. La memoria 122 puede comprender una combinación de almacenamiento volátil y no volátil legible por ordenador y tiene capacidad suficiente para almacenar código de programa ejecutable por el procesador 121 con el fin de realizar las funciones de procesamiento apropiadas descritas en el presente documento. Por ejemplo, el procesador 121 ejecuta un código de programa almacenado en la memoria 122 para activar el segundo controlador 150 o el sensor de flujo 145, que a su vez toman las mediciones necesarias. El procesador 121 puede activar otros componentes del sistema dentro del contador de agua 100, como la pantalla
40 externa 125, la interfaz externa 130 y el módulo de comunicaciones 140.

El primer controlador 120 también recibe energía a través de la fuente de alimentación 135, y suministra la energía de la fuente de alimentación 135 a través de conexiones cableadas al segundo controlador 120 y a los sensores 155, 156, así como al resto de componentes del sistema.

45 El primer controlador 120 interactúa con el módulo de comunicaciones 140, y es capaz de recibir instrucciones o actualizaciones de firmware a través de una red 225, y de enviar datos almacenados a través de la red 225. Estos datos pueden referirse al estado del contador o a las condiciones detectadas en el lumen 325.

50 El segundo controlador 150 comprende un procesador 151 y una memoria 152. La memoria 152 puede comprender una combinación de almacenamiento volátil y no volátil legible por ordenador y tiene capacidad suficiente para almacenar código de programa ejecutable por el procesador 151 con el fin de realizar las funciones de procesamiento apropiadas descritas en el presente documento. Por ejemplo, el procesador 151 ejecuta un código de programa almacenado en la memoria 152 para proporcionar energía a los sensores 155, 156 y para tomar y almacenar los datos detectados por los sensores 155, 156 sobre el estado de un fluido dentro de un lumen 320 de un tubo de flujo 310. El tubo de flujo 310 puede formar
55 parte de un conjunto de medición que comprenda el medidor 100 y las funciones de medición del medidor 100 se llevan a cabo en relación con el fluido que fluye por el tubo de flujo 310.

La memoria 152 puede almacenar los datos del fluido detectado en un registro de datos, para ser enviados a través de la red de comunicaciones 225 a petición de un dispositivo cliente 220 conectado a la red 225, o según las instrucciones de un código de programa almacenado en la memoria 152, 122.

Los procesadores 121,151 se denominan en la figura 1 CPU (unidades centrales de procesamiento). Este término se utiliza con carácter no limitativo y puede emplearse cualquier procesador o microprocesador adecuado. En las realizaciones en las que el primer controlador 120 y el segundo controlador 150 comprenden un único controlador, éste puede tener al menos una memoria y al menos un procesador de acuerdo con lo expuesto anteriormente.

El primer controlador 120 o el segundo controlador 150 pueden estar configurados opcionalmente para recibir instrucciones y comunicarse directamente con un dispositivo cliente 220, por ejemplo un dispositivo de mano o un ordenador portátil, con el fin de configurar o diagnosticar localmente el medidor a través de una interfaz de datos local 131. Las realizaciones de la interfaz local 131 pueden adoptar la forma de un sistema de comunicación óptico, por cable o inalámbrico, adecuado para su conexión a un ordenador portátil y/o a un dispositivo de mano. Se prevé que sólo se pueda acceder a esta interfaz de datos local 131 en caso de avería del contador o si se requieren otros cambios sobre el terreno, ya que la configuración del contador es posible de otro modo a través de una red 225 mediante el módulo de comunicaciones 140.

A través de esta interfaz de datos local 131, todos los parámetros como las alarmas, los intervalos de transmisión y otros campos relacionados pueden ser configurables o programables. A través de esta interfaz se pueden extraer los registros de diagnóstico que proporcionan información sobre el contador. Es deseable que la conexión a la interfaz de datos local 131 utilice energía nula o mínima de la fuente de alimentación 135, siendo alimentada en su lugar por el propio dispositivo cliente.

En algunas realizaciones, la primera o la segunda memoria del controlador 122, 152 pueden almacenar una capacidad de almacenamiento de datos predeterminada para el almacenamiento de una cantidad mínima de datos de medición. Por ejemplo, la primera o la segunda memoria del controlador 122, 152 pueden tener capacidad de almacenamiento suficiente para guardar un mínimo de 10, 20, 30 o 40 días de datos de fluidos con fecha y hora, junto con los datos de intervalo correspondientes, la información del firmware del medidor y otra información pertinente.

Otros requisitos para la interfaz de datos local 131 de algunas realizaciones incluyen que la interfaz de datos local 131 ofrezca la capacidad de recuperar todos los datos de facturación, eventos y alarmas almacenados. La interfaz de datos local 131 también puede ser necesaria para proporcionar una capacidad de actualización del firmware y de medición o actualización de la configuración.

El acceso a la interfaz de datos local 131 puede asegurarse mediante un esquema de autenticación mutua basado en estándares. Las claves o certificados utilizados podrán ser revocados y/o sustituidos. En algunas realizaciones, la interfaz de datos local admite el control de acceso basado en roles. Como mínimo, pueden admitirse los roles "sólo lectura", "configurar" y "acceso total". Todos los accesos a la interfaz de datos local pueden registrarse con fines de auditoría. Como mínimo, el registro de auditoría puede incluir la fecha/hora, las acciones y la identidad del usuario.

El primer controlador 120 o el segundo controlador 150 pueden tener un reloj interno. Las características del flujo de fluido detectado pueden marcarse en el tiempo cuando sea necesario mediante una hora fijada en el reloj interno.

Refiriéndonos ahora a la figura 2, el sistema de medición del agua 100 comprende además uno o más servidores o sistemas de servidores, denominados en este documento por comodidad servidor 210, en conexión con al menos un dispositivo cliente cableado 220 y un almacén de datos 215. En algunas realizaciones, el dispositivo cliente 220 comprende un dispositivo informático con cable, o un dispositivo informático portátil como un ordenador portátil o un teléfono inteligente. El servidor 210 puede comprender, o estar dispuesto como, un servidor de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) para recibir datos de los contadores de agua 100 en varias ubicaciones diferentes.

Estos datos se reciben a través de una red de datos que comprende una infraestructura de comunicaciones adecuada que es, al menos parcialmente, inalámbrica, como una red celular.

Por ejemplo, los módulos de comunicaciones 140 de los sistemas de medidor de flujos 100 pueden estar configurados para transmitir datos al servidor 210 utilizando los estándares GSM o GPRS/3G de telefonía móvil o sus sucesores tecnológicos.

Así, el módulo de comunicación 140 en comunicación con el servidor 210 mediante comunicación directa de datos móviles utilizando la infraestructura de telefonía móvil disponible, en lugar de utilizar una serie de saltos y otras infraestructuras para transmitir mensajes. Como alternativa, pueden emplearse técnicas de

comunicación inalámbrica de menor potencia y menor distancia, por ejemplo, cuando un concentrador de datos inalámbrico local se encuentra lo suficientemente cerca como para soportar la comunicación inalámbrica con el módulo de comunicaciones 140 dentro de un sistema de contador de agua 100 cercano. Sin embargo, se prefieren formas de comunicación más directas desde el módulo de comunicación 140 al servidor 210 por razones de simplicidad, velocidad y fiabilidad.

El servidor 210 procesa los datos recibidos del módulo de comunicaciones 140 y los almacena en el almacén de datos 215 para su posterior recuperación cuando sea necesario. El almacén de datos 215 puede comprender cualquier almacén de datos adecuado, como una base de datos local, externa, distribuida o discreta. Si los datos recibidos en el servidor 210 procedentes de los contadores 100 indican una condición de alarma en uno o varios de los contadores 100, el servidor 210 accede al almacén de datos 215 para determinar una acción apropiada predeterminada que debe tomarse en relación con la condición de alarma específica y, a continuación, emprende la acción apropiada. La acción por tomar puede variar, dependiendo del medidor 100, por ejemplo, cuando algunos medidores 100 pueden estar configurados para detectar condiciones diferentes respecto a otros. Dichas acciones pueden incluir, por ejemplo, el envío de una o varias notificaciones, por ejemplo en forma de mensajes de texto y/o correos electrónicos, a uno o varios dispositivos cliente 220.

Independientemente de que los datos recibidos en el servidor 210 desde los contadores 100 indiquen una condición de alarma, los datos recibidos se procesan y almacenan en el almacén de datos 215 para su posterior recuperación por un proceso del servidor y/o a petición de un dispositivo cliente 220. Por ejemplo, el servidor 210 puede ejecutar procesos (basados en el código de programa almacenado en el almacén de datos 215, por ejemplo), para realizar funciones de tendencias e informes a uno o más dispositivos cliente 220.

El módulo de comunicaciones 140 puede estar habilitado para la comunicación bidireccional con el servidor 210, de modo que se puedan recibir actualizaciones del firmware y/o realizar pruebas de diagnóstico a distancia, y que los dispositivos cliente puedan configurar a distancia los intervalos de carga útil de datos, y/o solicitar datos actuales (o en tiempo real) del contador.

En referencia a la figura 1, se describe con más detalle el módulo de comunicaciones 140. El módulo de comunicaciones puede estar conectado eléctrica y comunicativamente a un primer controlador 120, recibiendo energía de la fuente de alimentación 135 a través de esta conexión, o directamente en algunas realizaciones.

La configuración del módulo de comunicaciones 140 puede incluir una antena y una tarjeta SIM (módulo de identidad del abonado). El módulo de comunicaciones 140 puede incluir componentes y/o circuitos adicionales (no mostrados) que una persona con conocimientos técnicos ordinarios considere necesarios o deseables para llevar a cabo las funciones descritas en el presente documento.

Algunas realizaciones del contador 100 tienen requisitos de comunicación que incluyen que el contador 100 sea capaz de medir e informar a través de una red 225 a petición:

- Caudal instantáneo de agua (en litros por minuto);
- Nivel actual de la batería (en voltios y porcentaje estimado);
- Tiempo total de actividad del medidor (tiempo que pasa despierto, transmitiendo, recibiendo) y contadores de paquetes de comunicaciones; y
- Temperatura interna actual.

En algunas realizaciones, el contador 100 requiere ser capaz de suministrar datos de identificación a la red de comunicaciones a petición.

El contador 100 puede requerir ser capaz de suministrar todos los datos de intervalo almacenados, instantáneas de registro, eventos, alarmas y cualquier otro dato comercial o información de estado a la red de comunicaciones a petición y/o según lo programado.

En algunas realizaciones, el medidor 100 requiere ser capaz de aceptar actualizaciones de firmware a través de la red de comunicaciones. Todos los componentes del firmware pueden actualizarse. El proceso de actualización del firmware puede ser tolerante a cortes en las comunicaciones, interrupciones del suministro eléctrico, cortes en el sistema de cabecera y errores en la transmisión.

Los sistemas de contadores 100 pueden requerir ser capaces de detectar fallos de forma independiente y automática, y de recuperar o retroceder a los ajustes o parámetros buenos conocidos anteriores (imágenes) cuando la recuperación no sea posible. El medidor 100 puede ser capaz de aceptar cambios de configuración e informar de la configuración actual a través de la red de comunicaciones 225.

En algunas realizaciones, el contador 100 requiere poder tener sincronizada su hora a través de la red de comunicaciones 225.

El contador 100 debe disponer de una secuencia configurable de reintento y retroceso de las comunicaciones que permita el reenvío de las cargas útiles de datos que se enviaron sin éxito al servidor 210. Por ejemplo, si el medidor intenta enviar su carga útil de datos y no lo consigue, puede volver a intentarlo un número configurable de veces, como 3, 5, 10 o alguna otra cantidad de veces. Después de esto, puede volver al modo de sueño profundo/bajo consumo e intentar las comunicaciones varias horas más tarde.

En otras realizaciones, el medidor puede reintentar el envío de cargas útiles fallidas y, a continuación, volver al modo de reposo profundo/bajo consumo hasta la siguiente hora de tránsito programada (por ejemplo, al día siguiente). En una realización de este tipo, el medidor y el módulo de comunicaciones pueden requerir la capacidad de manejar cargas útiles de datos más grandes de lo normal. Por ejemplo, si el contador no ha podido comunicarse durante 10 días, esto daría lugar a una carga útil 10 veces mayor que una carga útil normal que provocaría la activación del módulo de comunicaciones 140 durante un periodo prolongado.

En algunas realizaciones, los sensores 155, 156 están conectados física y/o eléctricamente al segundo controlador 150 y detectan las condiciones del fluido dentro del lumen 320. En otras realizaciones, los sensores 155, 156 pueden estar conectados eléctrica y/o físicamente al primer controlador 120 o, cuando las funciones del primer y segundo controlador sean proporcionadas por un controlador, los sensores 155, 156 pueden estar conectados de este modo a dicho controlador. Estos sensores 155, 156 pueden comprender más de dos sensores o funciones de sensor, incluyendo al menos un sensor un sensor de vibración, un sensor de presión y un sensor de corriente parásita. Los sensores 155, 156 pueden incluir otros sensores o funciones de sensores para detectar la conductividad eléctrica, la temperatura del fluido, el nivel de pH y los niveles de cloro libre. En algunas realizaciones, pueden detectarse múltiples condiciones del fluido mediante sensores individuales.

La figura 3 muestra una realización en la que el sistema de medición 100 está instalado en línea con un conducto de suministro de fluido 325, para comunicar fluido desde el conducto de suministro 325 a través de un tubo de flujo de fluido 310 mediante el cual se detectan las condiciones de flujo de fluido en el lumen 320. En esta realización, un sensor de vibraciones 500, una instalación de sensores 340 y otros sensores 155, 156 están colocados sobre o en relación con el tubo de flujo 310.

Los sensores 155, 156 pueden instalarse por separado, o como una unidad, dependiendo de la configuración de sensores utilizada. Los sensores 155, 156 detectan al menos una condición dentro del lumen 320. Los sensores descritos pueden tener una potencia ultrabaja, con corrientes de arranque bajas y tiempos de estabilización reducidos para minimizar el consumo de energía.

En algunas realizaciones, el sensor 155 comprende un sensor de vibraciones 500, interconectado con el lumen 320 para detectar vibraciones en el sistema de conductos de suministro de fluido aguas arriba. En algunas realizaciones, una parte del sensor de vibraciones 500 está en contacto directo, por ejemplo por tope, con una parte del acoplamiento del conducto de caudal del medidor 335, situado en el lado de suministro (aguas arriba) 330. El sensor 500 puede interconectarse físicamente con el acoplamiento del conducto 335 mediante una técnica de fijación adecuada. Por ejemplo, puede utilizarse una fijación adhesiva o un método mecánico de fijación como una fijación de junta o tornillos, siempre que la fijación no proporcione de otro modo una acción mecánica en forma de vibración adicional.

La figura 5 representa una realización del sensor de vibraciones 500, que comprende un sistema sensor piezoeléctrico. El sensor 500 comprende al menos una placa conductora de la electricidad 515 delgada y apilada (fabricada con un material adecuado, como el cobre) y dos o más elementos o placas piezoeléctricas 535. La pila de placas piezoeléctricas 535 y las placas conductoras 515 están dispuestas entre una masa sísmica 510 y una unidad base 520, que están conectadas entre sí. El eje de fijación 530 sujeta o conecta la masa sísmica 510 a o sobre la unidad base 520, que puede ejercer una fuerza de compresión en estado de reposo, pero permitiendo un pequeño movimiento y compresión de las placas sensoras piezoeléctricas 535 entre las placas de cobre 515. La unidad base 520 comprende una o más masas configuradas para transmitir el movimiento vibratorio del material del conducto de flujo a las placas piezoeléctricas 535. La unidad base 520 también puede ser parte integrante del acoplamiento del conducto de caudal del medidor 335 o del tubo de flujo 310 en forma de placa de montaje fundida con disposiciones para su fijación. El número de placas de cobre y de capas piezoeléctricas puede variar entre las distintas realizaciones. El ejemplo de la figura 5 muestra dos placas de cobre 515 y tres elementos piezoeléctricos 535. Las placas conductoras 515 pueden ser sustancialmente más delgadas que las placas piezoeléctricas 535, por ejemplo en un factor de alrededor de 5 a 20. En algunas realizaciones, la placa de cobre puede tener un grosor de entre 0,1-0,2 mm, mientras que las placas

piezoeléctricas pueden tener un grosor de 1-2 mm, por ejemplo. Debe entenderse que la figura 5 no representa una realización a escala del sensor de vibraciones 500.

Las vibraciones transmitidas a lo largo de los conductos de fluido de una red de suministro de fluido aguas arriba pueden acoplarse al material del tubo de flujo del medidor 100 y transmitirse así a la unidad base 520 que está conectada al tubo de flujo 310 o, en algunas realizaciones, a las porciones de acoplamiento del medidor 335. Cuando las vibraciones viajan a través de la unidad base 520, las placas piezoeléctricas 535 se comprimen entre contra la masa sísmica 510 y la unidad base 520. Uno o varios conductores eléctricos 525 pueden conectarse a las placas de cobre 515 para conducir la corriente (o transmitir las diferencias de tensión) generada por las placas piezoeléctricas 535 a los circuitos de procesamiento del medidor 100. En algunas realizaciones se utiliza una pluralidad de placas piezoeléctricas 535 para proporcionar un efecto amplificador de la señal de vibración.

El sensor 500 puede estar configurado para proporcionar datos sobre el estado del fluido detectado a lo largo de los conductores 525 a un segundo procesador 152, a través del proceso 400 o 600.

El material del tubo de flujo 310 al que se fija el sensor 500 debe estar construido con un material adecuado para conducir vibraciones detectables a lo largo de su superficie. Se prevé que los conductos de suministro aguas arriba y/o el tubo de flujo 310 puedan estar formados o comprender metales conductores de vibraciones, como el bronce o el cobre, aunque en algunas realizaciones pueden comprender materiales conductores de vibraciones alternativos adecuados.

En la figura 6 se describe una realización del método 600 de detección de fugas mediante el sensor de vibraciones 500. En 610, el sensor de vibraciones 500 espera la activación de un segundo controlador. Una vez transcurrido un intervalo de medición predeterminado (almacenado en la memoria 122), el primer controlador 120 hace que la fuente de alimentación 135 suministre energía al segundo controlador 150 para escuchar las señales de salida del sensor de vibraciones 500. En la etapa 620, el controlador puede esperar la información de diagnóstico del sensor de vibraciones 500, y puede esperar la confirmación de que el sensor 500 está operativo.

En 620, el sensor de vibraciones 500 capta los datos de vibración en forma de señal analógica. En la fase 620 pueden realizarse varias mediciones en orden. Los datos detectados se transmitirán al segundo controlador 150 a lo largo de los conductores 525 y, en algunas realizaciones, se almacenarán en la memoria 152.

En 625 un primer o segundo controlador 120, 150 realiza una transformada rápida de Fourier (FFT) a los datos analógicos del dominio del tiempo. En 630, los datos de la FFT pueden someterse a un filtrado, como el filtrado de paso de banda, para identificar los rangos de frecuencia coherentes con una o varias condiciones de fuga predeterminadas. Un ejemplo de tal realización se representa en la figura 7 como un trazado putativo de la salida de la FFT, con la amplitud en el eje Y y la frecuencia en el eje x.

En 635, después de aplicar cualquier filtrado a los datos FFT, los datos pueden someterse a una comparación contra umbrales predeterminados, indicando además las condiciones de fuga. En algunas realizaciones, el umbral 710 puede comprender un umbral integral, en el que las condiciones de fuga pueden evaluarse basándose en la integral del rango de frecuencias dentro de un rango filtrado de paso de banda. En tales realizaciones, el área total en un rango de frecuencias puede ser la condición evaluada por el umbral 710. La figura 7 indica uno de esos ejemplos en los que la integral de una gama de frecuencias filtradas 716 no alcanza el umbral 710, a pesar de la presencia de frecuencias en una gama predeterminada 715. En tal realización, la integral 721 del rango de frecuencias 720 sí supera el umbral 710 y, como tal, se detectaría como un tipo de fuga o fugas.

En algunas realizaciones, el umbral 710 puede ser un umbral de amplitud, donde tanto 715 como 720 contienen frecuencias 717, 722 dentro del rango filtrado que superan el umbral de amplitud 710. En tal realización, el rango de frecuencias 725 no superaría el umbral 710, ya que aunque se detecten frecuencias 726 dentro del rango filtrado, su amplitud no supera el umbral.

En algunas realizaciones, el umbral 710 puede configurarse con un valor adecuadamente bajo, de modo que la presencia de una frecuencia con una amplitud superior a cero en un rango filtrado puede indicar un tipo de fuga o fugas. En tales realizaciones, los rangos de frecuencia 715, 720, 725 pueden indicar todos ellos la presencia de un tipo de fuga o fugas.

Pueden utilizarse varias características de frecuencia de vibración para determinar y diferenciar distintos tipos o combinaciones de fugas. En algunas realizaciones, se puede utilizar al menos una característica adicional detectada del flujo de fluido 320 para identificar al menos una condición de fuga junto con los datos de vibración. Por ejemplo, la detección de una frecuencia en los rangos 715, 720, 725 puede no activar una condición de alarma a menos que se detecte junto con una condición predeterminada detectada por los sensores 155, 156 o por el sensor de flujo 145, por ejemplo, una detección de caudal

- bajo, y/o la detección de una presión baja. Cuando se cumple esta condición adicional, una frecuencia en el rango de cualquiera de los rangos 715, 720, 725 puede indicar la presencia de una fuga. El umbral 710 puede configurarse según cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente, pero también condicionado a la detección de al menos una condición de fluido detectada. En tales realizaciones, puede utilizarse al menos una condición detectada junto con la vibración, como la temperatura, la presión, el caudal, la conductividad eléctrica, el nivel de pH, los niveles de cloro libre u otras condiciones detectadas por los sensores 155, 156 o el sensor de flujo 145.
- 5
- Una vez completada esta etapa en 635, el primer o segundo controlador 120, 150 actualiza una condición de alarma en 640 indicando la presencia de una fuga o fugas, o indicando que no se ha detectado ninguna fuga o fugas. Esta alarma puede ser un indicador binario, que comprenda al menos un bit. En tales realizaciones, un bit marcado puede indicar la presencia de cualquier fuga.
- 10
- En algunas realizaciones, se puede utilizar al menos un bit para señalar la presencia de un tipo concreto de fuga, por ejemplo una fuga de conexión, o la presencia de múltiples condiciones de fuga.
- En la etapa 645, la condición de alarma se almacena en una primera o segunda memoria del controlador 152, 122 para ser enviada con las cargas útiles de datos normales.
- 15
- En algunas realizaciones, el sensor 155 o 156 comprende un sensor de presión manométrica que puede funcionar en el rango de 0-15 bar (0-150mH₂O, es decir, en "metros de cabeza de agua"). Los datos del sensor de presión pueden ajustarse para adaptarse a la elevación del contador y a la configuración de la instalación del contador 100.
- 20
- Algunas realizaciones pueden incluir un sensor de presión disponible en el mercado con conversión analógica a digital incorporada y capacidad de detección de la temperatura. Dichos sensores deben ser fiables dentro del rango de presión especificado y tener una potencia ultrabaja.
- En algunas realizaciones, el sensor de presión u otros sensores 155, 156 pueden instalarse dentro de la cavidad interna (lumen 320) del tubo de flujo 310, en una instalación de sensor 340 que tenga una carcasa que pueda estar en contacto directo con el flujo de fluido 330. En tal realización, el sensor de presión, la instalación del sensor 340 y las conexiones pueden estar convenientemente impermeabilizados y ser resistentes al desgaste por las condiciones de flujo del fluido 330. En otras realizaciones, la instalación de sensores 340 comprende sensores 155, 156 en contacto directo con el flujo de fluido 330. En otras realizaciones, la instalación del sensor 340 puede instalarse en el cuerpo externo del tubo de flujo 310. En tales realizaciones, los sensores 155, 156 pueden no requerir contacto directo con el flujo de fluido 320 para tomar mediciones.
- 25
- 30
- En algunas realizaciones, el sensor 155, 156 comprende un sensor de detección de corriente parásita, opcionalmente un magnetómetro. El magnetómetro puede estar situado proximalmente cerca del lumen 320 y configurado para detectar un campo magnético debido a una corriente eléctrica de fuga presente en el lumen 320 o cerca de él.
- 35
- Las realizaciones permiten detectar un campo magnético debido a una corriente de fuga por encima de un determinado nivel de amperios que puede ser perjudicial para los seres humanos u otros animales, por ejemplo, como una corriente de 1A. Otras realizaciones alternativas pueden permitir umbrales de detección de corriente más bajos o diferentes.
- 40
- El sensor de detección de corriente parásita puede estar configurado para recibir instrucciones del al menos un controlador 120, 150. En algunas realizaciones, un segundo controlador 120 puede sondear periódicamente el sensor para recuperar mediciones que se incluirán en las cargas útiles de datos diarias. Opcionalmente se puede sondear en diferentes momentos al sensor de vibraciones.
- La detección de una corriente parásita durante un periodo de sondeo puede activar una condición de alarma, que se almacenará en una memoria 152, 122 y se enviará en una carga útil de datos regular (por ejemplo, diaria) al servidor externo 210 de acuerdo con el proceso 400.
- 45
- En algunas realizaciones, el sistema de sensor de flujo/medidor de agua 100, en lo sucesivo denominado medidor de agua 100 por conveniencia, comprende un medidor de caudal magnético o un sensor de flujo ultrasónico 145 en conexión eléctrica y comunicativa con un segundo controlador 120.
- 50
- El controlador del medidor de flujo 120 puede ser adecuado para retener los datos medidos del caudal en la memoria 122 para transferirlos con los datos de la carga útil diaria a través de una red 225. Pueden utilizarse sistemas de medición de caudal disponibles en el mercado, modificados en algunas realizaciones para interactuar adecuadamente con un segundo controlador 150 y los sensores 155, 156.

- 5 El contador de agua 100 puede comprender al menos un medio para detectar y/o medir el flujo de fluido 320 dentro de un lumen 325, un medio para detectar y/o medir un caudal mínimo o máximo en un periodo de tiempo, un medio para detectar y/o medir el flujo de fluido inverso (es decir, el flujo hacia la red de suministro de fluido 330). La temperatura, la conductividad eléctrica, los niveles de cloro libre u otras características del caudal del fluido pueden ser detectadas, medidas y almacenadas por un primer controlador 120 o un segundo controlador 150 en función de las capacidades del medidor de flujo.
- 10 Algunas realizaciones del contador de agua 100 tienen requisitos adicionales, como tener un caudal mínimo, que puede ser de 10, 20, 40 litros por hora o superior, según lo exija el tamaño del contador. Los tamaños de los medidores pueden variar, y pueden ser del orden de 29, 25, 32 o 40 mm. Las realizaciones pueden comprender tamaños superiores o inferiores.
- El medidor 100 puede requerir ser configurado con un error de medición máximo o mínimo permitido (MPE). En algunas realizaciones esto puede comprender un rango de 2-5%. La configuración del MPE puede ser coherente con el NMI R49 y los contadores de clase II.
- El medidor 100 puede requerir ser capaz de detectar y medir el flujo inverso.
- 15 En algunas realizaciones, el contador 100 requiere estar equipado con una válvula antirretorno simple o una válvula antirretorno doble.
- 20 El contador 100 puede requerir ser capaz de registrar (con marca de tiempo) el flujo instantáneo diario máximo en litros por segundo con una resolución de unos 0,01 litros. El contador 100 puede requerir ser capaz de medir y registrar la presión del agua en m.H₂O (es decir, "Metros de cabeza de agua"). Este valor de presión puede ser la presión manométrica.
- 25 En algunas realizaciones, el contador 100 requiere poder medir y almacenar las mediciones de los intervalos de consumo de agua (los datos de los intervalos), la acumulación total de consumo de agua (el registro de acumulación) y las instantáneas alineadas en el tiempo del registro de acumulación (las instantáneas del registro) (conocidas colectivamente como datos de facturación). La longitud del intervalo para los datos de intervalo puede ser configurable admitiendo como mínimo los siguientes valores: 1 minuto, 5 minutos, 15 minutos, 30 minutos y 60 minutos. En algunas realizaciones, pueden utilizarse otros valores. Un registro de acumulación puede medirse y almacenarse en kilolitros con una resolución y dígitos significativos basados en el tamaño del medidor, con resoluciones potencialmente en el rango de unos 100.000 a unos 1.000.000 kL.
- 30 Los datos del intervalo pueden medirse y almacenarse en litros con una resolución y unos dígitos significativos basados en el tamaño del contador, con resoluciones que pueden oscilar entre 100 y 10.000 L.
- 35 Se prevé que las cargas útiles de datos puedan transmitirse desde un primer controlador 120 a través de una red 225 una vez por periodo de tiempo predeterminado (es decir, un día). Esta frecuencia de transmisión puede ser un parámetro configurable, permitiendo una transmisión más o menos frecuente de la carga útil. Los intervalos de recogida de datos para todos los datos detectados pueden ser configurables.
- A continuación se describe una variante del contenido de la carga útil de datos. El contenido de la carga útil de datos puede variar en función de las capacidades de los sensores utilizados.
- 40 El flujo volumétrico de fluido dentro del lumen 325 puede registrarse y cronometrarse cada 30 minutos. En algunas realizaciones, puede registrarse un intervalo más corto (como 10 segundos) y marcarse el tiempo para que un primer o segundo controlador 120, 150 lo resuma mediante algoritmos y se transmita con una carga útil diaria.
- 45 Dado que algunas realizaciones del medidor de flujo pueden registrar datos cada pocos segundos, es posible que sólo se transmitan el valor y la marca de tiempo del caudal máximo de cada día. Estos datos son valiosos para determinar los picos de caudal instantáneos en cada contador 100.
- 50 En algunas realizaciones del medidor 100, pueden detectarse la temperatura y/o la conductividad eléctrica. Estos pueden detectarse con las variantes de los sensores 155, 156 o con el sensor de flujo 145. En las realizaciones en las que se detectan estas condiciones, los valores de los datos de fluidos detectados pueden registrarse a intervalos configurables, por ejemplo, cada 4 horas. Este conjunto de datos se transmitirá diariamente junto con la carga útil principal de datos de flujo.
- En la supervisión del consumo de energía, el nivel de tensión de la fuente de alimentación 135 puede transmitirse junto con las cargas diarias para supervisar la vida útil. Además, el tiempo diario de actividad de comunicación del contador puede registrarse y transmitirse con la carga útil diaria como indicador del

consumo de energía del contador en función de sus intentos (exitosos o fallidos) de conectarse a la red 225. El tiempo de actividad diario puede indicar el tiempo en segundos que el medidor estuvo activando el módulo de comunicaciones 140.

- 5 En algunas realizaciones, las alarmas que vienen con una carga diaria pueden ser alarmas de fuga del cliente, potencialmente un indicador binario que indica un uso continuo (por ejemplo, un caudal registrado superior a 5L/h durante 24 horas). Este valor puede ser configurable y tener prescrito un valor por defecto.
- Una alarma de flujo inverso puede registrarse en un indicador binario. El volumen de flujo inverso puede registrarse en litros de fluido que fluye en sentido inverso, por ejemplo, hacia la red de suministro de agua.
- 10 Una alarma de tubería vacía puede indicarse mediante un indicador binario, y detectarse mediante el funcionamiento del sensor de flujo 145.
- Una alarma de manipulación indicará la presencia de campos magnéticos intensos u otras fuentes eléctricas que afecten a la encarnación magnética del medidor de flujo. Esto puede indicar opcionalmente una manipulación a causa de vandalismo o la apertura de la carcasa del contador de agua 300.
- 15 Algunas realizaciones de la configuración del sensor de flujo 145 permitirían una alarma de presión alta/baja. El umbral de esta alarma puede ser configurable por contador, teniendo un valor inicial por defecto. Esta alarma puede activarse o desactivarse a elección del usuario.
- Las alarmas de alta/baja temperatura pueden ser configurables por el usuario, teniendo valores umbral de alta y baja temperatura por defecto almacenados en la primera o segunda memoria del controlador.
- 20 Una alarma de caudal alto puede indicar si el flujo de fluido 320 dentro del lumen 325 es anormalmente alto durante un periodo de tiempo definido. Esta alarma puede activarse en función de un valor de activación del umbral de alarma por defecto y puede ser configurable. La activación de esta alarma puede indicar la presencia de una tubería rota, por ejemplo.
- Una alarma de fuga en la red puede ser un indicador binario y puede basarse en la salida de frecuencia del sensor de vibración. Cuando se detecte una frecuencia cuya amplitud supere un umbral definido y que sea característica de una fuga en la red de suministro de fluidos, se disparará esta alarma.
- 25 Estas alarmas pueden requerir acuse de recibo del servidor 210, y pueden transmitirse de nuevo al cambiar de estado. Si el servidor 210 no acusa recibo después de un intervalo adecuado, el medidor 100 puede seguir informando del valor binario de la alarma en la carga útil de datos hasta que se reciba el acuse de recibo del servidor 210.
- 30 A través del servidor 210, el firmware del punto final de multidifusión en forma de archivos binarios, y los datos de configuración pueden ser capaces de ser enviados a algunos o todos los puntos finales medidores 100. El mecanismo para ello puede ser eficiente, de modo que tenga un impacto mínimo en la duración de la batería. El al menos un controlador 120, 150 puede almacenar los archivos binarios de firmware/configuración enviados, y sólo aplicarlos una vez completamente descargados y certificados. Si
- 35 los datos recibidos por el medidor 100 están incompletos o dañados, algunas realizaciones del al menos un controlador 120, 150 pueden basarse en las configuraciones existentes hasta el momento en que se adquieran los nuevos datos de configuración, en lugar de sobrescribir los archivos existentes.
- Se calcula que una carga útil de datos diaria típica es de aproximadamente 100 bytes, incluidos todos los conjuntos de datos de parámetros obligatorios y opcionales enumerados en la tabla siguiente. En algunas realizaciones, la carga útil utilizará el protocolo de aplicación restringida (CoAP) y la notación de objetos JavaScript (JSON) o mensajes binarios. Una encarnación de una carga útil de datos, proporcionada sólo a modo de ejemplo, puede comprender los siguientes campos y distribución del tamaño de los datos:
- 40
- Datos de fecha y hora, 7 bytes
 - Datos de flujo (48 mediciones de 0-999,9 litros cada una, con el número de registros en el conjunto de datos) ~62 bytes
 - Registro de facturación, ~8 bytes
 - Datos de identificación del contador, ~ 8 bytes
 - Versión del firmware del medidor ~0,5 bytes
 - Tensión de la batería, ~9 bits
 - Medidor de tiempo de actividad diaria, ~ 17 bits
- 45
- 50

- Presión, 6 mediciones al día + intervalo de medición, ~7 bytes
- Vibración, 3 mediciones al día+ intervalo de medición, ~7 bytes
- Flujo máximo diario + desfase de la marca de tiempo, ~4 bytes

5 Pueden transmitirse otros datos con cargas útiles diarias en función de la configuración del medidor y del sensor.

A través del acceso a la interfaz de datos local 131, un usuario puede acceder directamente o activar el envío de datos de carga útil, o solicitar localmente mediciones al medidor 100.

Los requisitos de los datos de la carga útil según algunas realizaciones incluyen que el medidor 100 sea capaz de almacenar localmente (incluso en ausencia de comunicaciones operativas) al menos:

- 10
- 100 días de datos de intervalo (con una configuración de intervalo de 30 minutos) e instantáneas de registro (con instantáneas de registro diarias);
 - Los últimos 50 eventos. En algunas realizaciones, un evento puede ser la activación de una condición de alarma. En otras realizaciones, un evento puede ser una instancia de transmisión de datos de carga útil con marca de tiempo; y
- 15
- Estado de alarma (afirmado / no afirmado) para cada alarma.

En algunas realizaciones, el medidor 100 también requiere ser capaz de almacenar localmente la información registrada como un evento que puede ser configurable por el usuario. El medidor 100 puede requerir ser capaz de grabar como un evento o alarma de forma configurable:

- 20
- Flujo bajo continuo (detección de fugas) (no desciende por debajo de un valor proporcionado de litros por minuto durante un periodo de tiempo);
 - Flujo alto continuo (detección de rotura) (más de un valor proporcionado de litros por minuto durante un periodo de tiempo);
 - Detección de manipulaciones;
- 25
- Batería baja (en algunas realizaciones puede ser en días restantes o en un porcentaje de capacidad);
 - Temperatura interna elevada (superior a un valor de grados Celsius).

En algunas realizaciones, el contador 100 puede requerir ser capaz de registrar como suceso o alarma de forma configurable las siguientes características (cuando esté instalado un sensor adecuado):

- 30
- Flujo inverso (más de un valor proporcionado de litros por minuto durante un periodo de tiempo).
 - Presión alta y baja (mayor o menor que un valor proporcionado en metros.H2O).
 - Temperatura alta y baja (más o menos de un valor proporcionado grados).

Debe entenderse que los valores proporcionados pueden ser opcionalmente valores configurables en algunas realizaciones.

- 35
- En algunas realizaciones, los usuarios pueden definir eventos o condiciones alternativos como alarma. Las alarmas pueden configurarse como autodesactivadas (la alarma se desactiva automáticamente cuando finaliza la condición de alarma) o desactivadas por el operador (la alarma permanece activada hasta que un operador la desactiva). Una alarma activada puede generar un mensaje cuando se activa y otro cuando se desactiva (no sigue generando mensajes durante todo el tiempo que dura la condición de alarma). El estado actual de una alarma debe poder leerse.
- 40

En algunas realizaciones, el medidor 100 puede requerir que se implemente una histéresis adecuada en los umbrales de alarma para evitar el disparo y borrado repetidos de alarmas o el registro repetido de eventos.

- 45
- En algunas realizaciones, el medidor 100 puede requerir ser capaz de mantener un estado de alarma (activado o no activado) para cada alarma y puede proporcionar un mecanismo para borrar el estado.

En referencia ahora a la figura 4, se muestra y describe con más detalle un método 400 de supervisión de fluidos. El método 400 es ejecutado por el al menos un controlador 120, 150 para controlar el funcionamiento de uno o más sensores 155, 156, o del sensor de flujo 145 para percibir una condición de un fluido en un lumen 320.

- 5 En algunas realizaciones del método 400, en 410 el primer controlador 120 espera a que expire un intervalo de tiempo preconfigurado antes de conmutar la alimentación del al menos un sensor 155, 156, 145. El intervalo de tiempo de 410 puede ser configurado por el usuario o un valor por defecto. Una vez transcurrido un intervalo de tiempo en 410, el primer controlador 120 conecta la alimentación a los
- 10 sensores 415 y espera un periodo de "calentamiento" del al menos un sensor 155, 156, 145. Esto puede comprender que el al menos un sensor encienda su propia electrónica interna, ejecute sus propios diagnósticos operativos (si procede) y, posiblemente, indique su estado operativo (por ejemplo, adecuadamente operativo o parcial o totalmente no operativo). La temporización del intervalo puede estar alineada con tiempos horarios basados en el reloj interno del contador, o en una temporización definida desde el servidor 200. Se pueden utilizar otras alineaciones temporales según sea necesario.
- 15 Una vez que los uno o más sensores 155, 156, 145 se han calentado, y suponiendo que estén operativos, los sensores 155, 156, 145 miden las condiciones pertinentes e indican en 425 un valor de la condición que están configurados para detectar proporcionando una señal de salida digital o analógica a su controlador configurado 120, 150 a través del cable 157. Las señales de salida de los sensores 155, 156, 145 se convierten de señales analógicas a digitales, si procede, y después se interpretan y almacenan en
- 20 una memoria 122, 152 para su posterior transmisión al servidor. Durante este tiempo en 425, puede aplicarse cualquier cálculo adicional de los datos detectados mediante algoritmos, si procede.
- En 430, una vez recibidas las mediciones de los sensores (es decir, las señales de salida) de los sensores 155, 156, 145, el primer controlador 120 interrumpe el suministro de energía desde la fuente de alimentación 135 a los sensores 155, 156, 145. El primer controlador 120 procesa los datos derivados de
- 25 las señales de salida para comparar los valores medidos con los niveles de condición de alarma preconfigurados. En algunas realizaciones, este proceso puede ser completado por el segundo controlador 150. En 435 el al menos un controlador 120, 150 puede establecer un indicador binario que indique una condición de alarma, por ejemplo.
- Si se detecta una condición de alarma, por ejemplo, porque la medición detectada supera o es igual al
- 30 umbral de alarma para un tipo de sensor concreto, el segundo controlador 120 eleva los bits de la indicador binario para indicar qué alarma/s se han disparado. En 440, los datos se almacenan en la al menos una memoria del controlador 122, 152 para ser almacenados al expirar el intervalo de notificación. Estos datos pueden incluir datos típicos de la carga útil y/o condiciones de alarma.
- En 445, si el intervalo de notificación ha expirado, el primer controlador 120 hace que se encienda el
- 35 módulo de comunicaciones 140 (por ejemplo, haciendo que la fuente de alimentación 135 suministre energía al módulo de comunicaciones 140) y que se transmita un mensaje apropiado al servidor 210 en 455. Si el intervalo de notificación no ha expirado, el primer controlador puede esperar hasta que la notificación haya expirado antes de proceder a 450. En algunas realizaciones, el intervalo de medición en 410 puede expirar de nuevo antes de que expire el intervalo de notificación en 445. En tales realizaciones,
- 40 los datos pueden almacenarse continuamente en 440 como entradas discretas con marca de tiempo sin sobrescribirse.
- Los pasos 440 y 445 también pueden realizarse para enviar un mensaje de notificación cuando el sensor de la tapa (no mostrado) del contador de agua 100 detecta que la tapa está abierta o cuando se detecta algún tipo de fallo en un sensor o unidad de telemetría 120.
- 45 El mensaje enviado al servidor 210 puede incluir un identificador de la unidad de telemetría, una marca de tiempo, una indicación de uno o varios valores detectados (si procede) y un tipo de alarma o notificación, por ejemplo. Mientras tanto, hasta que expire el intervalo de notificación en 445, los pasos 410 a 440 pueden volver a ejecutarse varias veces.
- El intervalo de notificación puede ser un periodo de horas, por ejemplo como cuatro, seis, doce,
- 50 veinticuatro u otro número de horas, mientras que el intervalo de medición puede ser del orden de unos pocos minutos, por ejemplo como uno, dos, tres, cuatro, cinco, diez, veinte, treinta, cuarenta, cincuenta, sesenta o más minutos.
- En algunas realizaciones, el intervalo de notificación puede estar configurado para expirar en la detección de una alarma en 435. En tales realizaciones, la detección de una condición de alarma puede desencadenar la transmisión de la alarma y/o de la carga útil de datos. En una realización, los usuarios
- 55 pueden configurar el interno de notificación para que caduque, y para que se envíe una alarma o una

carga útil de datos, tras la detección de al menos un evento de alarma. Tales eventos pueden ser la detección de una condición de alarma, o una combinación de condiciones de alarma.

En la tabla siguiente se detallan algunas configuraciones del medidor, incluidos los intervalos de muestreo por defecto sugeridos.

5

Parámetro	Modelo 1	Modelo 2	Alarma / Evento ?	Configurable por el usuario	Intervalo de muestreo por defecto	Intervalo de envío por defecto	Rango de valores	Unidades
Identificación del contador	✓	✓	NO	No	N/A	Diario (con carga útil programada)		N/A
Versión del firmware del medidor	✓	✓	NO	No	N/A	Diario (con carga útil programada)		N/A
Registro/acumulador de flujo	✓	✓	NO	No	diario	diario		kL
Datos del intervalo de flujo	✓	✓	NO	Sí	30 min	diario	0-999,9	L
Alarma de fuga del cliente	✓	✓	Sí	Sí	24 horas	diario	0-99999	L
Alarma de flujo inverso	✓	✓	Sí	Sí, sólo para encender o apagar	6 horas	diario		
Valor de flujo inverso	✓	✓	NO	Sí, sólo para encender o apagar	6 horas	diario	0-99999	L
Alarma de tubería vacía	✓	✓	Sí	Encendido/apagado	1 minuto	Inmediato ("en tiempo real")		
Alarma antimanipulación	✓	✓	Sí	Encendido/apagado	inmediato	inmediato		
Alarma de presión alta/baja	X	✓	Sí	Sí	4 horas	diario	0-150	mH ₂ O
Alarma de temperatura alta/baja	✓	✓	Sí	Sí	4 horas	diario	-20 - 60	Grados C
Alarma de flujo alto (tubería rota)	✓	✓	Sí	Sí	1 hora	En tiempo real	0-99999	L
Alarma de fuga en la red	✓	✓	Sí	Sí	1 hora	diario		
Flujo máximo diario	✓	✓	NO	No	10 seg.	diario	0-999	L
Datos del intervalo de	✓	✓	NO	Sí	4 horas	diario	-20 - 60	Grados C

temperatura								
Datos del intervalo de presión	X	✓	NO	Sí	4 horas	diario	0-150	mH ₂ O
Datos del intervalo de vibración	✓	✓	NO	Sí	1hr	diario		
Tensión de la batería	✓	✓	NO	No	Diario	diario	0-3,3	Voltios
Alarma de batería baja	✓	✓	Sí	No	-	diario	0-3,3	Voltios
Tiempo de actividad del medidor	✓	✓	NO	No	Diario	diario	0-86400	segundos

En referencia ahora a la figura 8, se muestra una representación esquemática en sección transversal de un sensor de vibraciones 800 que se describe con más detalle. El sensor de vibraciones 800 funciona de forma similar al sensor 500, en el sentido de que el sensor de vibraciones 800 tiene una base de sensor 820 configurada para hacer tope o situarse de otro modo cerca del tubo de flujo 310 para recibir las vibraciones propagadas desde los conductos aguas arriba (o aguas abajo) hacia el material del tubo de flujo 310. La base de sensor 820 está dispuesta para propagar el movimiento vibratorio de un transductor piezoeléctrico 835 en respuesta a las vibraciones recibidas. Un peso sísmico 810 se coloca en un lado opuesto del transductor piezoeléctrico 835 desde la base de sensor 820. Dado que el peso sísmico 810 tiende a permanecer relativamente quieto debido a su inercia, el transductor piezoeléctrico 835 es apretado (entre el peso sísmico 810 y la base de sensor 820) por pequeñas compresiones y momentos de flexión derivados de las vibraciones transmitidas a través de la base de sensor 820. Estas pequeñas compresiones y momentos de flexión dan lugar a una corriente detectable a través (o tensión a través) del transductor piezoeléctrico 835. Esta corriente se detecta como señales eléctricas variables en el tiempo que se perciben como una salida eléctrica a través de los conductores 825 que están acoplados a los electrodos 815 colocados en el transductor piezoeléctrico 835.

La diferencia del sensor de vibraciones 800 con respecto al sensor de vibraciones 500 es que en el sensor de vibraciones 800 se emplea un elemento de compresión variable, mientras que en el sensor 500 se utiliza un eje de fijación 530, que aplica una compresión estática. Este elemento de compresión puede tener la forma de un muelle 830, por ejemplo, que está dispuesto para ejercer una fuerza sobre el peso sísmico 810, con el fin de colocar el transductor piezoeléctrico 835 en compresión, como estado de reposo (es decir, cuando no se produce movimiento debido a las vibraciones). El efecto de tener el transductor piezoeléctrico 835 en compresión en estado de reposo proporciona una mejor calidad de la señal de salida detectada en los conductores 825 (como salida eléctrica del transductor piezoeléctrico 835) cuando se produce la vibración.

El elemento de compresión puede adoptar diversas formas, pero puede incluir el muelle 830 en forma de muelle helicoidal, o puede adoptar otras formas de muelle, como uno o varios muelles de ballesta o un muelle de tipo ondulado (930, figuras 9 y 10), siempre que el elemento de compresión actúe para sesgar el peso sísmico sobre el transductor piezoeléctrico 835. En algunas realizaciones, el elemento de compresión puede incluir una o más abrazaderas o dispositivos de polarización dispuestos para proporcionar una fuerza de polarización elástica similar a un muelle sobre el peso sísmico 810 (u otras realizaciones de peso sísmico descritas en el presente documento) en la dirección del transductor piezoeléctrico 835.

En la disposición mostrada en la figura 8, el sensor de vibraciones 800 tiene una carcasa de sensor 840 dimensionada y dispuesta para encajar sobre el muelle 830, el peso sísmico 810 y el transductor piezoeléctrico 835 y para encerrar y/o retener sustancialmente esos elementos en su sitio contra la base de sensor 820. Aunque no se muestra en la figura 8, la carcasa 840 puede fijarse de forma desmontable a la base de sensor 820 mediante medios de fijación, como cierres y/o clips o pestillos.

Una porción superior 841 de la carcasa 840 puede tener una formación de registro 842 formada en la misma para ayudar a posicionar (registrar) el muelle 830 contra la porción superior 841 de la carcasa 840. La formación de registro 842 puede tener la forma de una zona rebajada (o, en otras realizaciones, puede comprender una o más porciones salientes o bridas) con el fin de ayudar a posicionar adecuadamente el muelle 830 para que sea concéntrico y coaxial con el peso sísmico 810 y el transductor piezoeléctrico

835. La porción superior 841 de la carcasa 840 también ayuda a proporcionar una superficie de apoyo superior contra la que puede arriostrarse el muelle para ejercer fuerza contra el peso sísmico 810.

El peso sísmico 810 puede estar formado para ser generalmente cilíndrico, por ejemplo, con una porción inferior 810 que se extiende sobre y alrededor de una porción sustancial del transductor piezoeléctrico 835, dejando al mismo tiempo un espacio libre entre una superficie inferior 811 del peso sísmico 810 y la base de sensor 820 contra la que el transductor piezoeléctrico 835 está sesgado. El espacio libre permite cierto grado de inclinación angular del peso sísmico 810 con respecto a la base de sensor 820 en respuesta a ciertos tipos de vibraciones. El peso sísmico 810 tiene una porción superior 810b con una cara superior 814 que está situada hacia la porción superior 841 de la carcasa 840. El peso sísmico 810 está conformado para definir una superficie de apoyo 813 en una posición de hombro en la que el peso sísmico transita entre la porción inferior 810a y la porción superior 810b. La superficie de apoyo 813 está dispuesta para estar en contacto con el extremo inferior del muelle 830 a fin de permitir que la fuerza del muelle se transmita a través del peso sísmico 810 y hacia el transductor piezoeléctrico 835. La cara cilíndrica de la porción superior 810b del peso sísmico 810 está dispuesta para estar en contacto con la cara helicoidal interior del muelle 830 con el fin de ayudar a posicionar adecuadamente el muelle 830 para que sea concéntrico y coaxial con el peso sísmico 810 y el transductor piezoeléctrico 835.

El transductor piezoeléctrico 835 está formado preferentemente como un transductor de tipo cilíndrico y puede estar formado de un material piezoeléctrico PZT (titanato de zirconato de plomo) o PVDF (fluoruro de polivinilideno). El transductor piezoeléctrico 835 descansa sobre la base de sensor 820, con un electrodo de circuito impreso en forma de disco 815 situado entre la parte inferior del transductor piezoeléctrico 835 y una superficie superior de la base de sensor 820. El transductor piezoeléctrico 835 tiene un fondo plano y una parte superior plana con una forma cilíndrica intermedia y se mantiene en su sitio en una zona central plana de la base de sensor 820 mediante la fuerza aplicada al extremo plano superior del transductor piezoeléctrico 835 por el muelle 830 que presiona a través del peso sísmico 810. Un segundo electrodo de estilo circuito impreso en forma de disco 815 está situado en la parte superior del transductor piezoeléctrico 835 y puede ser lo único que separe la superficie superior plana del transductor piezoeléctrico 835 y la correspondiente superficie interior plana rebajada del peso sísmico 810 que se apoya sobre el transductor piezoeléctrico 835.

En la parte inferior 810a del peso sísmico 810 se forma una cavidad definida por una pared cilíndrica interior 812 del peso sísmico 810. La cavidad es coaxial y concéntrica con las partes cilíndricas del peso sísmico 180. La cavidad está dimensionada para recibir la mayor parte (más de la mitad, por ejemplo entre aproximadamente 50-95%, opcionalmente entre aproximadamente 75-90%) de la longitud del transductor piezoeléctrico 835 pero menos que toda su longitud, permitiendo al mismo tiempo un ligero espacio entre la pared cilíndrica 812 y la superficie cilíndrica exterior del transductor piezoeléctrico 835. Este ligero hueco 816 puede tener una anchura radial de unos 0,2 mm a unos 0,9 mm, por ejemplo, con el fin de dejar espacio para que un conductor pase por un lado del transductor piezoeléctrico 835 desde el electrodo superior 815. En algunas realizaciones, el hueco 816 puede ser de unos 0,7 mm en las regiones en las que el conductor 825 no está presente. El hueco 816 también permite la existencia de una capa aislante entre la superficie cilíndrica exterior del transductor piezoeléctrico 835 y la pared cilíndrica 812 del peso sísmico 810.

Las dimensiones de los electrodos 815 en la parte superior e inferior del transductor piezoeléctrico 835 se seleccionan para que sean delgados, y en el electrodo superior no más grandes radialmente que el transductor piezoeléctrico 835 (salvo por un pequeño margen de, digamos, 0,5 mm). El material de soporte (es decir, un sustrato flexible para transportar circuitos impresos o una placa de fibra fina utilizada habitualmente para las placas de circuito impreso) de los electrodos 815 se selecciona para que tenga propiedades aislantes eléctricas, con el fin de evitar el paso de corriente entre el transductor piezoeléctrico 835 y la base de sensor 820. En realizaciones alternativas, pueden emplearse diferentes tipos de electrodos como electrodos 815 y las propiedades aislantes pueden ser proporcionadas por una fina capa aislante separada, en lugar de por el material aislante que lleva las partes conductoras de los electrodos 815.

Las figuras 9 y 10 ilustran realizaciones de un sensor de vibraciones 900 adecuado para ser instalado dentro de la carcasa 980 de un conjunto de contador de agua, a fin de poder percibir las vibraciones que se propagan en el conducto de fluido 310 del conjunto de contador de agua 100. El sensor de vibraciones 900 funciona de forma sustancialmente similar al sensor de vibraciones 800, en el sentido de que utiliza un elemento de polarización para presionar el peso sísmico 910 hacia abajo sobre el transductor piezoeléctrico 935, de forma que el transductor piezoeléctrico 935 quede comprimido entre el peso sísmico 910 y una base de sensor 920. Sin embargo, el sensor de vibraciones 900 se diferencia del sensor de vibraciones 800 en que utiliza un muelle ondulado 930 como elemento de polarización, y en que el sensor de vibraciones 900 comprende una unidad de procesamiento local dedicada, por ejemplo en forma de una PCB (placa de circuito impreso) 970 situada dentro de la carcasa 940, con el fin de proporcionar las funciones de la unidad de procesamiento 150. En otras palabras, la placa de circuito

impreso 970 está configurada para recibir las señales de salida del conductor 925 que está acoplado para recibir las salidas eléctricas del transductor piezoeléctrico 935, y para amplificar, filtrar y procesar dichas salidas con el fin de determinar si las vibraciones del sensor indican la presencia de una fuga de fluido aguas arriba de la posición del sensor de vibraciones 900. Esta disposición de unidad de procesamiento local también puede emplearse con las realizaciones del sensor de vibraciones 800.

La colocación de la placa de circuito impreso 970 dentro de la carcasa 940 permite que el sensor de vibraciones 900 se suministre como una unidad independiente para su montaje listo en la carcasa 980 del conjunto del medidor. El sensor está configurado para montarse en una placa de montaje 982 del conducto de fluido 310, de modo que la base de sensor 920 pueda recibir las vibraciones propagadas a través de la placa de montaje 982. La placa de montaje 982 está formada como una sección aplanada que se extiende de forma generalmente tangencial al diámetro del conducto de fluido 310 y que proporciona una superficie de montaje plana a través de la cual las vibraciones que se propagan en el conducto de fluido 310 pueden transmitirse fácilmente a la base de sensor 920 cuando la base de sensor 920 se monta en ella en disposición paralela y de tope.

En diversas realizaciones, el sensor de vibraciones según las realizaciones aquí descritas puede acoplarse como dispositivo autónomo a otro dispositivo que no sea un contador de agua. Por ejemplo, los sensores de vibración aquí descritos pueden acoplarse a un registrador de datos y ponerse en servicio independientemente de un medidor o una celda de caudal.

La figura 9 muestra además los cierres de montaje 928 para acoplar la base de sensor 920 a la placa de montaje 982, así como otros cierres 929 (cierres de acoplamiento) para acoplar el alojamiento del sensor de vibraciones 940 a la base de sensor 920.

El transductor piezoeléctrico 935 es similar al transductor piezoeléctrico 835 (es decir, PZT de tipo cilíndrico o PVDF), salvo que se ha envuelto un material aislante 936 alrededor de la parte principal del cuerpo cilíndrico del transductor piezoeléctrico 935. El material aislante 936 sirve para reducir el potencial de transmisión de carga eléctrica desde el transductor piezoeléctrico 935 al peso sísmico dentro de la cavidad definida por la pared interior 912 del peso sísmico 910. El material aislante 936 está dispuesto para cubrir el conductor 925 que se extiende desde el electrodo superior 915a hacia abajo a lo largo del lado cilíndrico del transductor piezoeléctrico 935.

Otra diferencia del sensor de vibraciones 900 con respecto al sensor de vibraciones 800 es que entre la carcasa 940 y la base 920 hay un anillo de estanqueidad 943 para sellar la cámara definida entre la carcasa 940 y la base de sensor 920 contra la entrada de partículas o humedad.

Un haz de cables de salida y/o un conector 967 se acoplan a la placa de circuito impreso 970 para proporcionar datos a un dispositivo externo y recibir de él señales de alimentación y control. El haz de cables/conector de salida 967 consta de 5 hilos (aunque en distintas realizaciones este número puede ser diferente) que están agrupados en una cubierta exterior de material aislante, que también puede utilizarse para actuar como prensaestopas de sellado de la carcasa de salida 940. El haz de cables de salida puede terminarse en el conector para facilitar la conexión a una placa o a un conector compatible en el contador de agua, sin necesidad de soldadura o similar. Como se muestra en la figura 10, los conductores 925 están acoplados directamente a un extremo frontal analógico 1310 (figura 13) de la placa de circuito impreso 970, y el haz de cables/conector de salida 967 está acoplado a un microcontrolador 1320 (figura 13) que lleva la placa de circuito impreso 970 y que está dispuesto para permitir la comunicación entre el sensor de vibraciones 900 y un dispositivo externo.

La figura 11 ilustra las formas de realización de un sensor de vibraciones 1100 adecuado para ser instalado dentro de la carcasa 980 de un conjunto de contador de agua, con el fin de poder percibir las vibraciones que se propagan en el conducto de fluido 310 del conjunto de contador de agua 100. El sensor de vibraciones 1100 funciona de forma sustancialmente similar al sensor de vibraciones 900 en el sentido de que utiliza un elemento de polarización para presionar el peso sísmico 1110 hacia abajo sobre el transductor piezoeléctrico 1135 (que puede ser el mismo que el transductor piezoeléctrico 935), de forma que el transductor piezoeléctrico 1135 quede comprimido entre el peso sísmico 1110 y una base de sensor 1120. Sin embargo, el sensor de vibraciones 1100 difiere del sensor de vibraciones 900 en que utiliza un muelle helicoidal 1130 como elemento de polarización. Aunque no se muestra en la figura 11, el sensor de vibraciones 1100 puede comprender una placa de circuito impreso 970 (como se muestra y describe en relación con las figuras 9 y 10) situada dentro de una parte de un soporte 1140 (que funciona como una carcasa parcial) y configurada para proporcionar las funciones de la unidad de procesamiento 150. El sensor 1100 puede comprender una disposición de conductores y haz de cables de salida/conectores similar a la descrita y mostrada en relación con el sensor de vibraciones 900.

Además, el sensor de vibraciones 1100 difiere del sensor de vibraciones 900 en que tiene un peso sísmico 1110 de una configuración diferente y una porción superior 1141 del soporte 1140 tiene un

saliente que sobresale hacia abajo como formación de registro 1142 para posicionar el elemento de polarización (muelle 1130). Otra diferencia radica en que la base de sensor 1120 tiene una zona central rebajada respecto a una superficie superior plana de la base de sensor 1120. La zona rebajada central está dimensionada para recibir un electrodo 915b y una parte inferior (por ejemplo, un 10-30% inferior) del transductor piezoeléctrico 1135.

El peso sísmico 1110 tiene una configuración generalmente similar al peso sísmico 910, con una cara superior 1114 separada de la porción superior del soporte 1141, una cara inferior 1111 separada de la base de sensor 1120, una porción inferior 1110a que tiene una pared interior 1112 que define una cavidad para recibir el transductor piezoeléctrico 1135, y una porción superior 1110b. La porción superior 1110b define una zona rebajada anularmente con una superficie de apoyo 1113 que define una superficie contra la que un extremo inferior del muelle 1130 puede ejercer una fuerza descendente. La cara cilíndrica interior de la zona rebajada anular de la porción superior 1110b está dispuesta para estar en contacto con la cara helicoidal interior del muelle 1130 con el fin de ayudar a posicionar adecuadamente el muelle 1130 para que sea concéntrico y coaxial con el peso sísmico 1110 y el transductor piezoeléctrico 1135.

El sensor 1100 está configurado para montarse en una placa de montaje 982 del conducto de fluido 310, de modo que la base de sensor 1120 pueda recibir las vibraciones propagadas a través de la placa de montaje 982. La placa de montaje 982 está formada como una sección aplanada que se extiende de forma generalmente tangencial al diámetro del conducto de fluido 310 y que proporciona una superficie de montaje plana a través de la cual las vibraciones que se propagan en el conducto de fluido 310 pueden transmitirse fácilmente a la base de sensor 1120 cuando la base de sensor 1120 se monta en ella en disposición paralela y de tope.

La figura 11 muestra además los cierres de montaje 1128 para acoplar la base de sensor 1120 a la placa de montaje 982, así como otros cierres 1129 (cierres de acoplamiento) para acoplar la carcasa del sensor de vibraciones 1140 a la base de sensor 1120.

El sensor de vibraciones 1100 difiere del sensor de vibraciones 900 en que el soporte 1140 no define un espacio cerrado y funciona principalmente como un medio para asegurar y posicionar el muelle 1130 para que ejerza presión hacia abajo sobre el peso sísmico 1110.

El transductor piezoeléctrico 1135 puede ser sustancialmente similar al transductor piezoeléctrico 935 (es decir, PZT de tipo cilíndrico o PVDF), con un material aislante 936 envuelto alrededor de la parte principal del cuerpo cilíndrico del transductor piezoeléctrico 1135. El material aislante 936 está dispuesto para cubrir los conductores (no mostrados en la figura 11) que se extienden desde el electrodo superior 915a hacia abajo a lo largo del lado cilíndrico del transductor piezoeléctrico 1135.

Aparte de las diferencias señaladas anteriormente, el sensor de vibraciones 1100 tiene una configuración y un funcionamiento sustancialmente similares a los de los sensores de vibraciones 500, 800 y 900 descritos en el presente documento.

Las figuras 12A, 12B, 12C y 12D ilustran otras realizaciones de un sensor de vibraciones 1200 adecuado para ser instalado dentro de la carcasa 980 de un conjunto de contador de agua, a fin de poder percibir las vibraciones que se propagan en el conducto de fluido 310 del conjunto de contador de agua 100. El sensor de vibración 1200 funciona de forma sustancialmente similar a los sensores de vibración 800, 900 y 1100 en el sentido de que utiliza un elemento de polarización para polarizar el peso sísmico 1210 hacia abajo sobre un transductor piezoeléctrico 1235 (que puede ser el mismo que el transductor piezoeléctrico 835 o 935), de forma que el transductor piezoeléctrico 1235 se comprima entre el peso sísmico 1210 y una base de sensor 1220. Sin embargo, el sensor de vibración 1200 se diferencia del sensor de vibración 900 en que utiliza un muelle helicoidal 1230 como elemento de polarización y porque el muelle helicoidal 1230 está dispuesto para tirar del peso sísmico 1210 hacia la base de sensor 1220 y sobre el transductor piezoeléctrico 1235.

Aunque no se muestra en las figuras 12A-12D, el sensor de vibraciones 1200 puede comprender una placa de circuito impreso 970 (como se muestra y describe en relación con las figuras 9 y 10) situada dentro de una parte de una carcasa (no mostrada pero funcionalmente similar a las carcasas 840, 940 u 1140) y configurada para proporcionar las funciones de la unidad de procesamiento 150. El sensor 1200 puede comprender una disposición de conductores y conectores de salida similar a la descrita y mostrada en relación con el sensor de vibraciones 900, por ejemplo incluyendo conductores 925 acoplados en un extremo a los electrodos de circuito impreso superior e inferior 1215a, 1215b y acoplados en un extremo opuesto a un conector eléctrico 967 que puede acoplarse a una placa de circuito impreso 970 o a otro dispositivo de procesamiento externo.

El sensor de vibraciones 1200 puede anclar el muelle 1230 a la base de sensor 1220 y al peso sísmico 1210 mediante fijaciones, como tornillos 1231, u otros medios de anclaje. Un tornillo de ajuste 1232 se

coloca en un orificio axial a través del peso sísmico 1210. El tornillo prisionero 1232 puede ajustarse manualmente para empujar (o no empujar) el peso sísmico axialmente lejos del transductor piezoeléctrico 1235, a través de un espaciador móvil libre 1233 que está dispuesto dentro del orificio axial entre el tornillo prisionero 1232 y el transductor piezoeléctrico 1235, para permitir que el muelle 1230 se coloque bajo más (o menos) tensión y así aplicar más (o menos) fuerza para empujar el peso sísmico 1210 sobre el transductor piezoeléctrico 1235 aplicando compresión al mismo. El tornillo prisionero 1232 puede estar sustancialmente fijo en su posición.

La pesa sísmica 1210 se diferencia de las pesas sísmicas 835, 935 y 1135 en que no recibe el transductor piezoeléctrico 1235 dentro de una cavidad interna. En su lugar, esa cavidad está definida por una parte de la base de sensor 1220. El peso sísmico 1210 tiene que estar alineado axialmente y ser generalmente axisimétrico y coaxial/concéntrico con el transductor piezoeléctrico 1235 y prever que el peso sísmico 1210 se acople a un elemento de polarización adecuado, como el muelle 1230. La base de sensor 1220 debe ser axisimétrica con el transductor piezoeléctrico 1235 y el peso sísmico 1210 para que pueda transmitir eficazmente al transductor piezoeléctrico 1235 las vibraciones de una superficie a la que esté acoplada.

Los sensores de vibración 800, 900, 1100 y 1200 funcionan según principios similares a los del sensor de vibración 500, en el sentido de que todos ellos se basan en la combinación de un transductor piezoeléctrico colocado entre una base de sensor y un peso sísmico, estando estos tres elementos clave alineados axialmente. Hay al menos un conductor acoplado al transductor piezoeléctrico. Las realizaciones pueden utilizar dos conductores de este tipo. La base de sensor, el transductor piezoeléctrico y el peso sísmico están dispuestos de modo que el movimiento relativo entre la base de sensor y el peso sísmico derivado de una fuente de vibración a través de la base de sensor provoque la generación de una corriente en el transductor piezoeléctrico y una señal de salida correspondiente a la corriente generada sea entonces detectable en el al menos un conductor. En las realizaciones de sensores de vibración 500, 800, 900, 1100 y 1200, el peso sísmico 510, 810, 910, 1110, 1210 es preferentemente axisimétrico en general y es coaxial y concéntrico con el transductor piezoeléctrico 535, 835, 935, 1135, 1235 alrededor del mismo eje central (longitudinal) definido a través del centro del sensor piezoeléctrico. Así, el peso sísmico 510, 810, 910, 1110, 1210 tiene preferentemente un perfil redondo en vista en planta (por ejemplo, como se ve en la figura 12C).

En la realización del sensor de vibraciones 1200, el peso sísmico 1210 está conectado a la base de sensor 1220, en este caso mediante el muelle 1230. Por otro lado, otras realizaciones, como los sensores de vibración 800, 900, 1100, no tienen el peso sísmico y la base de sensor conectados entre sí, sino que se mantienen en posición uno respecto al otro gracias a la carcasa. La compresión variable mediante un elemento de polarización flexible en los sensores 800, 900, 1100 y 1200, frente a la compresión estática mediante la precarga del eje de fijación 530 en el sensor 500 ayuda a conseguir una mayor sensibilidad en la detección de vibraciones.

Aparte de las diferencias señaladas anteriormente, el sensor de vibraciones 1200 está configurado y funciona de forma sustancialmente similar a los sensores de vibraciones 800, 900 y 1100 descritos en el presente documento.

Refiriéndonos ahora a las figuras 13 y 14, se describe con más detalle la disposición eléctrica empleada en los sensores de vibración 800, 900, 1100 y 1200. Las señales de corriente y/o tensión detectadas a través de los electrodos 815, 915, 1115, 1215 del transductor piezoeléctrico se reciben en el circuito frontal analógico 1310 mediante los conductores 925. El circuito frontal analógico 1310 proporciona un desplazamiento de medio carril y amplifica las señales en la región de frecuencia de interés (es decir, hasta 1 kHz, y posiblemente hasta 4 kHz en algunas realizaciones), mientras que sólo utiliza una única alimentación lateral. Para ello, las señales recibidas a través de los conductores 925 se polarizan primero con resistencias pull-up y pull-down de gran valor 1412a, 1412b y se introducen en el terminal positivo 1415a de un amplificador operacional 1415. El terminal negativo 1415b del amplificador operacional 1415 es accionado por la salida del amplificador operacional 1415 que ha sido alimentada primero a través de un filtro de paso bajo 1417. Debido a la naturaleza inversa de la relación realimentación-ganancia, el circuito frontal analógico (AFE) 1310 consigue una respuesta global de 1 para todas las señales de CC (compuesta únicamente por la desviación de CC introducida por las resistencias de polarización) y una ganancia que se aproxima rápidamente a una cantidad configurable para las frecuencias superiores a la CC.

Las señales de salida 1312 del circuito frontal analógico 1310 se reciben en un convertidor analógico-digital (ADC) 1325 que puede formar parte del microcontrolador 1320 que forma parte de la placa de circuito impreso 970 o puede estar separado y conectado al microcontrolador 1320. Así, las señales amplificadas y filtradas recibidas en los conductores 925 son convertidas por el ADC 1325 en señales digitales que se almacenan en una memoria 1335 del microcontrolador 1320. La memoria 1335 puede comprender una memoria flash y una memoria de acceso aleatorio (RAM), por ejemplo. Un ejemplo de

microcontrolador que puede utilizarse como microcontrolador 1320 es el microcontrolador STM32F091RB de STMicroelectronics™, por ejemplo.

El ADC 1325 muestrea la salida analógica del AFE 1310 a una frecuencia de muestreo que es el doble de la frecuencia máxima de interés durante un periodo de tiempo de muestreo predeterminado (establecido como parámetro de configuración del microcontrolador 1320). El periodo de tiempo de muestreo predeterminado puede establecerse como el número de frecuencias de muestreo FFT dividido por la frecuencia de muestreo. Las funciones de temporizador del microprocesador 1330 pueden utilizarse para controlar el intervalo de muestreo del ADC. El periodo de tiempo de muestreo predeterminado puede estar comprendido entre unos 0,05 segundos y unos 1,0 segundos, opcionalmente entre unos 0,05 segundos y unos 0,2 segundos, por ejemplo. En algunas realizaciones, el periodo de tiempo de muestreo predeterminado puede ser de unos 0,1 segundos, por ejemplo.

Las señales muestreadas del AFE 1310 se envían desde el ADC 1325 a un procesador 1330 del microcontrolador 1330 y se almacenan como muestras digitalizadas en la memoria 1335. Las muestras digitalizadas son procesadas por el procesador 1330 ejecutando un algoritmo de análisis de frecuencias almacenado en una parte no transitoria (es decir, flash) de la memoria 1335 del microcontrolador 1320. Este algoritmo implica que el procesador 1330 realice un cálculo de una transformada rápida de Fourier (FFT) sobre las muestras digitalizadas almacenadas. Utilizando los valores complejos de los resultados de los cálculos de la FFT realizados por el procesador 1330, la magnitud de cada una de las amplitudes complejas en cada frecuencia muestreada es almacenada entonces por el procesador 1330 en una matriz de la memoria 1335. A continuación, el procesador 1330 escanea la matriz de valores de amplitud para comparar los valores de amplitud de bandas de frecuencia específicas con umbrales de amplitud predefinidos (almacenados en la memoria 1335) para dichas bandas. Si la magnitud en una o más bandas de frecuencia específicas está por encima de los umbrales predefinidos para la banda respectiva y de los umbrales de amplitud de cualquier otra banda que coincida con un determinado perfil de frecuencia de un tipo concreto de fuga de fluido, entonces el microcontrolador 1320 establece un indicador o indicación de alarma para señalar que las vibraciones detectadas indican la presencia de una fuga de fluido en las proximidades del sensor de vibraciones 900.

En algunas realizaciones, el procesador 1330 lleva a cabo un único conjunto (uno o más) de comparaciones para buscar un patrón de frecuencia específico asociado a una firma de frecuencia conocida (previamente determinada experimentalmente, aprendida por máquina o determinada de otro modo) para una fuga concreta. Este conjunto de comparaciones puede implicar la comparación de la amplitud detectada en una única banda de frecuencia con un único valor umbral de amplitud o puede implicar la comparación de la amplitud detectada en múltiples bandas de frecuencia con múltiples valores umbrales de amplitud respectivos. En algunas realizaciones, el procesador 1330 lleva a cabo una serie de comparaciones para cotejar los datos de la muestra con una serie de perfiles de frecuencia diferentes asociados a una serie de tipos distintos de fugas de fluido. En algunas realizaciones, pueden aplicarse múltiples valores de amplitud umbral a la misma banda de frecuencia, por ejemplo, cuando una amplitud por encima de un umbral inferior puede indicar la presencia probable de una fuga y una amplitud por encima de una amplitud superior en la misma banda de frecuencia puede indicar una fuga de cierta magnitud (por ejemplo, por encima de un orificio de 3 mm de diámetro en un conducto situado a 10 metros de la ubicación del sensor de vibraciones).

Una vez que el procesador 1330 determina que debe activarse un indicador de alarma, el procesador 1330 almacena una indicación apropiada de ello en la memoria 1335 y, a continuación, prepara una carga útil de datos de salida para su almacenamiento y/o transmisión inmediata al dispositivo externo 120 a través del conector de salida 967. La carga útil de datos de salida incluye información temporal, como una marca de tiempo de cuando se recibieron las señales del sensor de vibraciones, cualquier indicador de estado operativo en cuanto al funcionamiento de la placa de circuito impreso 970 y, opcionalmente, una indicación del tipo de fuga detectada (si el sensor de vibraciones está configurado para detectar más de un tipo de fuga). En algunas realizaciones, la carga útil de datos puede incluir la matriz almacenada de valores de amplitud de las señales recibidas en cada frecuencia dentro del rango de interés. El procesador 1330 está configurado para recibir alimentación (por ejemplo, 3,3 V CC) a través del conector 967 y para recibir órdenes, como una orden de funcionamiento (por ejemplo, de activación). Las comunicaciones en serie entre la placa de circuito impreso 970 y la unidad externa 120 también pueden realizarse mediante el conector 967.

En algunas realizaciones, el procesador 1330 puede efectuar efectivamente un análisis aproximado de las señales recibidas para señalar una posible fuga u otra condición, y la carga útil de datos puede proporcionarse a un dispositivo de procesamiento externo, como un servidor 210, de modo que pueda efectuarse una determinación final (o posiblemente más precisa) sobre la posible presencia de una fuga en las proximidades del sensor de vibraciones. Por ejemplo, el servidor 210 puede utilizar las cargas útiles de datos recibidas de múltiples sensores de vibración para determinar la probable presencia o ausencia de una fuga. Si el servidor 210 recibe múltiples señales de alarma de contadores u otros dispositivos

acoplados a sensores de vibración vecinos o muy próximos entre sí, entonces el servidor 210 puede tomar la determinación final de que existe una fuga en las proximidades de dichos sensores de vibración.

En referencia a las figuras 15A y 15B, algunas realizaciones se refieren a un método de detección de fugas 1500 que utiliza los sensores de vibración 500, 800, 900, 1100, 1200 y 1700 (descritos a continuación). El método 1500 comprende el suministro de energía al sensor de vibraciones 500, 800, 900, 1100, 1200 y 1700 para permitir la realización de mediciones, en 1501. El método 1500 comprende además inicializar un valor del contador de iteraciones y un valor del contador de fugas, en 1502. Por ejemplo, el valor del contador de iteraciones y el valor del contador de fugas pueden ser fijados por el procesador 151, 1330 a un valor inicial de 0.

En 1504, el valor del contador de iteraciones se compara con un límite de iteración predeterminado. Si el valor del contador de iteración es menor o igual que el límite de iteración predeterminado, el valor del contador de iteración se incrementa, en 1506. El valor del contador de iteraciones puede, por ejemplo, incrementarse añadiendo un valor de 1 al valor del contador de iteraciones. Si el valor del contador de iteración es superior al límite de iteración predeterminado, el método 1500 se detiene. Por lo tanto, el método 1500 puede repetirse una pluralidad de veces igual al límite de iteración. El límite de iteración puede fijarse en un valor entre 7 y 10 iteraciones, por ejemplo, pero puede configurarse para que tenga un valor diferente.

Las vibraciones propagadas a través de los materiales del conducto de fluido desde ubicaciones situadas aguas arriba son detectadas por un transductor piezoeléctrico y las señales eléctricas correspondientes son recibidas en el circuito frontal analógico 1310 por los conductores 925. Se recibe una señal de tensión analógica 1312 procedente del circuito frontal analógico 1310 y se registran los datos de vibración, en 1508. Como se ha comentado anteriormente, las señales pueden muestrearse y convertirse en datos digitalizados y los datos de vibración pueden almacenarse en la memoria 1335. Los datos de vibración pueden comprender, por ejemplo, datos de amplitud de tensión y de frecuencia.

En algunas realizaciones, al menos uno de los valores del contador de iteraciones, el valor del contador de fugas y los datos de vibración pueden almacenarse en una o varias de las memorias 152, 1335, memoria volátil o memoria no volátil.

La señal analógica de tensión 1312 se hace pasar por un filtro de paso bajo para reducir o eliminar las señales de alta frecuencia. Por ejemplo, pueden filtrarse las frecuencias superiores a 1,2 kHz.

En algunas realizaciones, la señal de tensión analógica 1312 puede pasar por un filtro de paso alto para reducir o eliminar las señales de baja frecuencia, en 1509. Por ejemplo, pueden filtrarse las frecuencias inferiores a unos 360 Hz.

A continuación, se aplica una transformada rápida de Fourier (FFT) a los datos registrados para separar un conjunto de bandas de frecuencia que aproximen el espectro de frecuencias de las señales filtradas con paso bajo, en 1510.

En algunas realizaciones, los datos transformados por FFT se filtran para eliminar los datos de baja frecuencia, en 1511. Por ejemplo, pueden suprimirse las frecuencias inferiores a unos 360 Hz. En otras realizaciones, los datos de baja frecuencia (por ejemplo, los relativos a frecuencias inferiores a 360 Hz) pueden almacenarse pero ignorarse cuando se aplica la FFT. En algunas realizaciones, la FFT se aplica a los datos registrados en un rango de frecuencias de interés. Por ejemplo, la gama de frecuencias de interés puede estar comprendida entre unos 360 Hz y 1,2 kHz.

La amplitud de los datos de la FFT en cada frecuencia se compara con un umbral de amplitud, en 1513. Si un número umbral de las amplitudes en los datos de la FFT es mayor o igual que el umbral de amplitud, entonces el valor del contador de fugas se incrementa, en 1514. El valor del contador de fugas puede, por ejemplo, incrementarse añadiendo un valor de 1 al valor del contador de fugas. En algunas realizaciones, el número umbral de amplitudes necesario para incrementar el contador de fugas puede ser de una amplitud, es decir, si la amplitud en cualquier frecuencia es mayor o igual que el umbral de amplitud, entonces esto indica una posible fuga aguas arriba (o posiblemente aguas abajo) y el valor del contador de fugas se incrementa.

El umbral de amplitud puede situarse, por ejemplo, entre unos 200 microvoltios-segundo y unos 500 microvoltios-segundo, opcionalmente entre unos 200 $\mu\text{V.s}$ y unos 400 $\mu\text{V.s}$, y opcionalmente entre unos 250 $\mu\text{V.s}$ y unos 350 $\mu\text{V.s}$. En algunas realizaciones, el umbral de amplitud es de unos 300 microvoltios segundos.

En algunas realizaciones, sólo los datos de la FFT sobre un rango de frecuencias de interés se comparan con el umbral de amplitud. Por ejemplo, la gama de frecuencias de interés puede estar comprendida entre

unos 360 Hz y 1,2 kHz. La gama de frecuencias de interés puede dividirse en bandas de frecuencias de igual rango, por ejemplo, bandas de 10 Hz o 20 Hz.

En 1520, el valor del contador de fugas se compara con un nivel de alarma. Si el valor del contador de fugas es mayor o igual que el nivel de alarma, se pone un indicador de detección en estado "sí" para indicar que se ha detectado una fuga, en 1522. El estado "sí" puede corresponder, por ejemplo, a un valor de indicador binario binaria de 1. El método 1500 se detiene entonces. El requisito de que el contador de fugas sea mayor que el nivel de alarma puede reducir ventajosamente la aparición de falsas alarmas, ya que la amplitud debe ser mayor o igual que el umbral de amplitud un número de veces antes de que se active una alarma. En algunas realizaciones, el nivel de alarma puede estar entre 3 y 10 recuentos, opcionalmente entre 4 y 6 recuentos. En algunas realizaciones, el nivel de alarma puede ser de 5 cuentas. El nivel de alarma es inferior al límite de iteración.

En algunas realizaciones, se puede enviar una señal de alarma a un servidor 210 si se establece el indicador de detección (pero antes de que se detenga el método 1500) para indicar que se ha establecido el indicador de detección. En otras realizaciones, el estado del indicador de detección se almacena para su posterior recuperación en una carga útil de datos por el servidor 210. La señal de alarma puede enviarse antes, después o mientras esté activada el indicador de detección.

Si el valor del contador de fugas es inferior al nivel de alarma, se espera un periodo de iteración, en 1524, antes de volver al paso 1504. El periodo de iteración puede estar comprendido entre unos 10 y unos 20 minutos, por ejemplo. En algunas realizaciones, el periodo de iteración es de unos 15 minutos.

En referencia a las figuras 16A y 16B, algunas realizaciones se refieren a un método de detección de fugas 1600 que utiliza los sensores de vibración 500, 800, 900, 1100, 1200 y 1700 (descritos a continuación). El método 1600 comprende el suministro de energía al sensor de vibraciones 500, 800, 900, 1100, 1200 y 1700 para permitir la realización de mediciones, en 1601. El método 1600 comprende además inicializar un valor de contador de iteración, un valor de contador de fugas y, en algunas realizaciones, un valor de contador de ráfagas, en 1602. Por ejemplo, el valor del contador de iteraciones, el valor del contador de fugas y el valor del contador de ráfagas pueden ser ajustados por el procesador 151, 1330 a un valor inicial de 0.

En 1604, el valor del contador de iteraciones se compara con un límite de iteración predeterminado. Si el valor del contador de iteración es menor o igual que el límite de iteración predeterminado, el valor del contador de iteración se incrementa, en 1606. El valor del contador de iteraciones puede, por ejemplo, incrementarse añadiendo un valor de 1 al valor del contador de iteraciones. Si el valor del contador de iteración es superior al límite de iteración predeterminado, el método 1600 se detiene. Por lo tanto, el método 1600 puede repetirse una pluralidad de veces igual al límite de iteración. El límite de iteración puede fijarse entre 7 y 10 iteraciones, por ejemplo, pero puede configurarse para que tenga un valor diferente.

Las vibraciones propagadas a través de los materiales del conducto de fluido desde ubicaciones situadas aguas arriba son detectadas por un transductor piezoeléctrico y las señales eléctricas correspondientes son recibidas en el circuito frontal analógico 1310 por los conductores 925. Se recibe una señal de tensión analógica 1312 procedente del circuito frontal analógico 1310 y se registran los datos de vibración, en 1608. Como se ha comentado anteriormente, las señales pueden muestrearse y convertirse en datos digitalizados y los datos de vibración pueden almacenarse en la memoria 1335. Los datos de vibración pueden comprender, por ejemplo, datos de amplitud de tensión y de frecuencia.

En algunas realizaciones, al menos uno de los valores del contador de iteraciones, el valor del contador de fugas, el valor del contador de ráfagas y los datos de vibración pueden almacenarse en una o varias de las memorias 152, 1335, memoria volátil o memoria no volátil.

La señal analógica de tensión 1312 se hace pasar por un filtro de paso bajo para reducir o eliminar las señales de alta frecuencia. Por ejemplo, pueden filtrarse las frecuencias superiores a 1,2 kHz.

En algunas realizaciones, la señal de tensión analógica 1312 puede pasar por un filtro de paso alto para reducir o eliminar las señales de baja frecuencia, en 1609. Por ejemplo, pueden filtrarse las frecuencias inferiores a unos 360 Hz.

A continuación, se aplica una transformada rápida de Fourier (FFT) a los datos registrados para separar un conjunto de bandas de frecuencia que aproximen el espectro de frecuencias de las señales filtradas con paso bajo, en 1610.

En algunas realizaciones, los datos transformados por FFT se filtran para eliminar los datos de baja frecuencia, en 1611. Por ejemplo, pueden suprimirse las frecuencias inferiores a unos 360 Hz. En otras realizaciones, los datos de baja frecuencia (por ejemplo, los relativos a frecuencias inferiores a 360 Hz)

pueden almacenarse pero ignorarse cuando se aplica la FFT. En algunas realizaciones, la FFT se aplica a los datos registrados en un rango de frecuencias de interés. Por ejemplo, la gama de frecuencias de interés puede estar comprendida entre unos 360 Hz y 1,2 kHz.

5 Los datos de la FFT pueden analizarse para calcular una métrica de amplitud en 1612. La métrica de amplitud puede calcularse sobre una gama de frecuencias de interés. Por ejemplo, la gama de frecuencias de interés puede estar comprendida entre unos 360 Hz y 1 kHz o entre 360 Hz y 1,2 kHz. La métrica de amplitud representa la potencia o fuerza de la señal detectada.

En algunas realizaciones, la métrica de amplitud puede ser, por ejemplo, una integración de los datos de la FFT (integración bajo la "curva").

10 En algunas realizaciones, la métrica de amplitud puede ser un valor cuadrático medio (RMS) para los datos FFT sobre el rango de frecuencias de interés.

15 Se calcula una relación de detección x dividiendo la métrica de amplitud por un valor de ruido, en 1613. El valor de ruido es indicativo de un valor de fondo para la métrica en el que no se consideraría que se está produciendo una fuga. El valor del ruido puede calibrarse para cada lugar en el que se coloque un sensor de vibraciones o puede generalizarse para una red de suministro de agua o una subred. Por ejemplo, el valor de ruido para la métrica de amplitud que es un valor eficaz puede ser de 40 microvoltios por segundo.

20 La proporción de detección x se compara entonces con un primer umbral de detección, en 1614. Si la proporción de detección x es mayor o igual que el primer umbral de detección, el valor del contador de fugas se incrementa, en 1618. El valor del contador de fugas puede, por ejemplo, incrementarse añadiendo un valor de 1 al valor del contador de fugas. En algunas realizaciones, el primer umbral de detección puede estar en el intervalo de aproximadamente 2 a 5, por ejemplo. En algunas realizaciones, el primer umbral de detección puede ser de aproximadamente 3,5.

25 La intensidad de la señal de vibración detectada puede correlacionarse con la gravedad de una fuga. Como la relación de detección x es indicativa de la intensidad de la señal, puede utilizarse ventajosamente para determinar si las vibraciones son indicativas de una fuga en ráfaga o muy grave. En algunas realizaciones, si la proporción de detección x es mayor o igual que el primer umbral de detección, entonces la proporción de detección x se compara además con un segundo umbral de detección, en 1615. El segundo umbral de detección es mayor que el primer umbral de detección. Si la relación de detección x es mayor o igual que el segundo umbral de detección, el valor del contador de ráfagas se incrementa, en 1616. El valor del contador de ráfagas puede, por ejemplo, incrementarse añadiendo un valor de 1 al valor del contador de ráfagas. En algunas realizaciones, el segundo umbral de detección puede estar en el intervalo de aproximadamente 5 a aproximadamente 30, opcionalmente de aproximadamente 15 a aproximadamente 25, por ejemplo. En algunas realizaciones, el primer umbral de detección puede ser de aproximadamente 20.

40 En 1619, el valor del contador de fugas se compara con un nivel de alarma de fugas. Si el valor del contador de fugas es mayor o igual que el nivel de alarma de fugas, se pone un indicador de detección de fugas en estado "sí" para indicar que se ha detectado una fuga, en 1621. Por ejemplo, fijar el indicador de detección de fugas en "sí" puede corresponder a fijar el valor de un indicador binario en 1. El método 1600 se detiene tras activarse un indicador de detección de fugas. Exigir un valor de contador de fugas puede reducir ventajosamente la aparición de falsas alarmas, ya que el índice de detección debe ser mayor o igual que el primer umbral de detección un número de veces antes de que se active la alarma. En algunas realizaciones, el nivel de alarma de fuga puede estar entre 3 y 10 recuentos, opcionalmente entre 4 y 6 recuentos. En algunas realizaciones, el nivel de alarma de fuga puede ser de 5 recuentos. El nivel de alarma de fuga es inferior al límite de iteración.

50 En algunas realizaciones, si el valor del contador de fugas es mayor o igual que el nivel de alarma de fugas, entonces el valor del contador de ráfagas se compara con un nivel de alarma de ráfagas (antes de detener el método), en 1620. Si el valor del contador de ráfagas es mayor o igual que el nivel de alarma de ráfagas, un indicador de detección de ráfagas se pone en estado "sí" para indicar que se ha detectado una ráfaga, en 1622. Por ejemplo, poner el indicador de detección de ráfagas en "sí" puede corresponder a poner un valor de indicador binario en 1. El método 1600 se detiene después de poner un indicador de detección de ráfagas en "sí". En algunas situaciones, el indicador de detección de fugas y el indicador de detección de ráfagas pueden estar ambos ajustados a "sí". En algunas realizaciones, el nivel de alarma de ráfaga puede estar entre 3 y 10 cuentas, opcionalmente entre 4 y 6 cuentas. En algunas realizaciones, el nivel de alarma de ráfaga puede ser de 5 recuentos. El nivel de alarma de ráfaga es inferior al límite de iteración.

En algunas realizaciones, puede enviarse una señal de alarma de fuga a un servidor 210 si el indicador de detección de fugas está activado (antes de que se detenga el método 1600) para indicar que el indicador de detección de fugas está activado. Se puede enviar una señal de alarma de ráfaga a un servidor 210 si se activa el indicador de detección de ráfagas (pero antes de que se detenga el método 1600) para indicar que se ha activado el indicador de detección de ráfagas. Las señales de alarma de fuga y de estallido pueden enviarse antes, después o mientras esté activada el indicador de detección de fugas.

En otras realizaciones, el estado de los indicadores de detección de fugas y/o ráfagas se almacenan para su posterior recuperación en una carga útil de datos por el servidor 210. En algunas realizaciones, sólo se envía una señal de alarma de fuga al servidor 210, mientras que el indicador de detección de fuga se almacena para su posterior recuperación.

Si el valor del contador de fugas es inferior al nivel de alarma, se espera un periodo de iteración, en 1624, antes de volver al paso 1604. El periodo de iteración puede estar comprendido entre unos 10 y unos 20 minutos, por ejemplo. En algunas realizaciones, el periodo de iteración es de unos 15 minutos.

Como el método 1500, 1600 está limitado a un número determinado de iteraciones, la detección y la detección de fugas también están limitadas a un periodo de tiempo determinado. Esto impide que la detección y la detección de fugas se produzcan durante todo el periodo de tiempo predeterminado. Esto es ventajoso, ya que reduce el consumo de energía y se puede seleccionar el momento adecuado para evitar los periodos ruidosos que corresponden a los picos de consumo de agua. Al limitar el tiempo durante el que se produce el método 1500, 1600, pueden reducirse las alarmas espurias y reducirse o evitarse las alarmas por fugas lentas e intermitentes.

En algunas realizaciones, las vibraciones se detectan y los datos de vibración se registran durante un periodo de tiempo predeterminado en el método 1500, 1600. La duración predeterminada puede estar comprendida entre 0,05 segundos y 0,2 segundos, opcionalmente alrededor de 0,1 segundos, por ejemplo.

En algunas realizaciones, las vibraciones se detectan y los datos de vibración se registran entre un periodo de tiempo predeterminado. El periodo de tiempo predeterminado puede ser, por ejemplo, entre medianoche y las 6 de la mañana. El periodo de tiempo predeterminado puede corresponderse con momentos en los que haya poco ruido de fondo (ambiental) acústico y/o vibratorio. Por lo tanto, la detección y el registro durante el periodo de tiempo predeterminado pueden dar lugar ventajosamente a mejores relaciones señal-ruido para las mediciones de vibraciones registradas.

En algunas realizaciones, los métodos 1500, 1600 se aplican a la detección de fugas en diferentes lugares utilizando varios sensores de vibración independientes, ya estén integrados en un contador de agua 100 o conectados a él. Diferentes sensores de vibración pueden detectar y registrar datos obtenidos en diferentes lugares. Las señales procedentes de cada uno de los diferentes sensores de vibración pueden enviarse a un servidor 210 y sólo puede activarse una alarma si se recibe una señal de alarma, una señal de alarma de fuga o una señal de alarma de estallido procedente de varios sensores de vibración.

La carcasa del sensor de las diversas realizaciones de sensores de vibración descritas anteriormente (por ejemplo, los sensores 800, 900, 1100) puede estar formada por un material plástico o un material metálico adecuado. Por lo general, se prefiere que la carcasa del sensor esté sellada, por ejemplo mediante una junta estanca como un anillo de sellado 943. Para el elemento de polarización aplicado en los sensores de vibración 800, 900, 1100 y 1200, se considera adecuado un muelle de acero inoxidable o de acero para muelles (o múltiples muelles de este tipo). El elemento de polarización puede tener una constante de resorte en el rango de 1 a 15 N/mm, opcionalmente de 2 a 15 N/mm o de 3 a 12 N/mm, por ejemplo. Una fuerza adecuada sobre el peso sísmico puede estar en el rango de unos 45 a unos 60 newtons, por ejemplo.

El peso sísmico puede comprender o consistir en una aleación de bronce o bronce al manganeso u otro material de densidad adecuada. La masa del peso sísmico puede estar comprendida entre 50 gramos y unos 200 gramos, por ejemplo. Opcionalmente, la masa del peso sísmico puede estar comprendida entre 100 gramos y 175 gramos, por ejemplo.

Los electrodos situados en cada extremo opuesto del transductor piezoeléctrico de los sensores, 800, 900, 1100 y 1200 pueden estar formados por un material rígido o flexible, con un grosor que oscile entre 0,2 mm y 1,6 mm, por ejemplo. Las pistas conductoras pueden imprimirse en una cara (la cara que mira hacia el transductor piezoeléctrico) del material flexible, mientras que la otra cara comprende un material sustancialmente aislante, por ejemplo.

Aunque el transductor piezoeléctrico de varias realizaciones puede comprender un material PVDF, un material PZT puede funcionar mejor en determinadas circunstancias. Por ejemplo, el material piezocerámico en forma de columna PZT utilizado para el transductor piezoeléctrico puede tener un diámetro de columna de ejemplo de unos 6,35 mm. El material piezoeléctrico puede tener una constante de tensión piezoeléctrica (g33) en el rango de aproximadamente 0,02 a aproximadamente 0,03Vm/N, por ejemplo.

La base de sensor puede comprender una aleación de bronce u otro metal que puede ser convenientemente plano y liso, con un acabado superficial adecuado para una transferencia óptima de las vibraciones entre el conducto de flujo 310 y el fondo o el transductor piezoeléctrico. En algunas realizaciones, los elementos de fijación 929 utilizados para acoplar la carcasa a la base de sensor pueden incluir, por ejemplo, remaches ciegos a presión, tornillos autorroscantes para termoplásticos o tornillos de máquina y tuercas. Los elementos de fijación 929 deben ser capaces de sujetar el alojamiento del sensor y la base entre sí contra la fuerza del muelle (por ejemplo, de 45 a 60 newtons) y la fuerza de sellado combinadas, y ser resistentes al aflojamiento debido a las vibraciones.

En referencia a las figuras 17 a 22, se muestran y describen otras realizaciones de un sensor de vibraciones 1700. El sensor de vibraciones 1700 es sustancialmente el mismo en funcionamiento, estructura y función que el sensor de vibraciones 900, con la diferencia principal de que se utiliza una configuración de conductor eléctrico diferente para detectar la salida eléctrica del transductor piezoeléctrico 935. En los dibujos se utilizan números de referencia similares para indicar las mismas características físicas o funciones entre el sensor de vibraciones 1700 y el sensor de vibraciones 900.

El sensor de vibraciones 1700 utiliza una placa de circuito impreso 1765 que tiene un componente rígido 1770 y un componente flexible 1780. El componente flexible 1780 comprende una porción de acoplamiento flexible 1775 que actúa como puente entre el componente de circuito impreso rígido 1770 (que aloja los circuitos eléctricos principales como se muestra en la figura 22) y una porción plegable del circuito impreso flexible 1780. La porción plegable está dispuesta para rodear parcialmente y entrar en contacto con las superficies superior e inferior del transductor piezoeléctrico 935 con el fin de percibir la salida eléctrica del mismo. Además de las diferencias mencionadas con respecto al sensor de vibraciones 900, el sensor de vibraciones 1700 puede emplear una junta 1743 (en lugar del anillo de estanqueidad 943) para sellar la cámara interna del sensor de vibraciones 1700 contra la entrada de agua o gas. Además, la parte superior de la carcasa 1740 es ligeramente diferente de la parte de la carcasa 940, con un paso de conector eléctrico definido en un extremo para extenderse cerca de la placa base 920. También pueden emplearse otros elementos de fijación, como pernos o tornillos 1729.

Las figuras 20A, 20B, 21A y 21B ilustran con más detalle el componente de circuito impreso 1765. La figura 20B muestra la porción de circuito impreso flexible 1780 en una configuración plegada y la figura 18 muestra cómo se sitúa el transductor piezoeléctrico 935 para que quede parcialmente envuelto por el componente de circuito impreso flexible 1780. La porción de circuito impreso flexible 1780 comprende una porción inferior 1781 y una porción superior 1791 unidas por una segunda porción de acoplamiento 1785 que se extiende entre la porción inferior 1781 y la porción superior 1791.

La parte inferior del circuito impreso flexible 1781 tiene una base 1784 con un lado superior 1784a que tiene material conductor expuesto (que puede estar chapado en oro, por ejemplo) en ella para recibir las variaciones de potencial eléctrico (en forma de corriente y voltaje) que surgen del contacto eléctrico con la parte inferior de los transductores piezoeléctricos 935. La base 1784 también tiene un disco inferior rígido o porción de placa 1784b (por ejemplo, formado de fibra de vidrio "FR-4") que es un aislante eléctrico pero que es lo suficientemente rígido como para transmitir las vibraciones propagadas a través de la base de sensor 920 sin atenuación sustancial. La parte inferior de circuito impreso flexible 1781 también tiene dedos o alas plegables 1783 que son deformables desde una configuración plana (véase la figura 20A) a una configuración plegada (véase la figura 20B) para proteger una parte inferior del transductor piezoeléctrico 935 del contacto con una superficie interior del peso sísmico 910.

La parte superior del circuito impreso flexible 1791 tiene una porción superior generalmente plana 1794, que tiene una superficie inferior (interior) 1794A con material conductor de la electricidad expuesto (por ejemplo, chapado en oro) y tiene un disco aislante rígido o porción de placa 1794b en la cara superior (exterior) del mismo. De forma similar a la porción inferior 1781, la porción superior 1791 tiene una pluralidad de dedos o alas 1793 que pueden plegarse doblandose o deformándose para cubrir al menos parcialmente una parte superior de la pared cilíndrica exterior del transductor piezoeléctrico 935 para protegerlo del contacto eléctrico con una pared interior del peso sísmico 910.

Como se ve mejor en las figuras 21A y 21B, el circuito impreso flexible 1780 tiene conductores impresos en él y que se extienden desde la porción superior 1791 y la porción inferior 1781 hasta el componente rígido del circuito impreso 1770. Para evitar que los conductores de la porción superior 1791 interfieran o se crucen con los conductores de la porción inferior 1781, se acopla un primer conductor (o conjunto de

conductores) 1796a a la zona conductora de la superficie inferior conductora 1794a de la porción superior 1794. El primer conductor 1796a se extiende a lo largo de una pared interior de las porciones de acoplamiento 1785 sin llegar hasta la porción inferior 1781. En su lugar, para seguir conduciendo señales eléctricas, el primer conductor 1796a se acopla a otros primeros conductores 1796b en un lado opuesto de la segunda porción de acoplamiento 1785 mediante orificios pasantes conductores (no mostrados). A continuación, los primeros conductores 1796B pasan entre la placa o disco 1784b y la superficie conductora superior 1784a de la porción inferior 1784, continuando el primer conductor 1796b por la cara inferior de la primera porción de acoplamiento 1775 para acoplarse finalmente (a través de orificios pasantes) a los electrodos 1797 transportados en el sustrato relativamente rígido 1772 de la porción PCV rígida 1770. Los segundos conductores 1776 se extienden por un lado de la porción de acoplamiento 1175 opuesto a los conductores 1796 directamente desde la superficie conductora superior 1784a de la porción inferior 1784 hasta los electrodos u otros componentes del circuito en el sustrato relativamente rígido 1772.

Como se muestra en los dibujos, el conjunto superior de dedos 1793 está dispuesto en una disposición espaciada que, junto con la segunda porción de acoplamiento 1785 que se extiende como una tira entre la porción superior 1791 y la porción inferior 1781, sirve para evitar en general el contacto entre el material del transductor piezoeléctrico 935 y la pared interior de la pesa sísmica 910 (u otras pesas sísmicas descritas en el presente documento). Se proporciona una disposición diferente de dedos o alas protectoras 1783 que se extienden desde la porción inferior 1781 y que, junto con el material en tiras de la porción de acoplamiento 1785, también sirven para proteger los transductores piezoeléctricos 935 del contacto con el peso sísmico 910.

El uso de una única placa de circuito impreso 1765 que tiene un componente flexible 1780 y un componente rígido 1770 permite mejorar la facilidad y la eficacia del montaje del transductor piezoeléctrico y del circuito electrónico de interfaz con el peso sísmico 910 y la carcasa 1740 y la base de sensor 920. Tanto los discos o placas aislantes inferior y superior 1784B y 1794B se seleccionan para que sean de un material suficientemente rígido para evitar sustancialmente la amortiguación de las vibraciones transmitidas a través de la placa base 920 y evitar así sustancialmente la amortiguación del movimiento relativo entre el transductor piezoeléctrico y el peso sísmico 910.

La figura 22 muestra otro diagrama de circuito esquemático para ilustrar una disposición de circuito alternativa para el conjunto de placa de circuito impreso 970, mostrado en la realización de la figura 22 como conjunto de placa de circuito impreso 2270. El frontal analógico 2210 de la figura 22 es, en general, análogo al frontal analógico 1310 de las figuras 13 y 14, pero con una ligera diferencia en la disposición (y los valores) de las resistencias y los condensadores de salida. Los conductores eléctricos 1776 y 1796 mostrados en las figuras 21A y 21B proporcionan la entrada al extremo frontal analógico 2210. Se proporciona una unidad de microcontrolador 2220 en el conjunto de placa de circuito impreso 2270 y su función es similar a la del microcontrolador 1320 descrito anteriormente. La circuitería de control de potencia 2267 está comprendida además en el conjunto de placa de circuito impreso 2270 y permite la recepción de una señal de activación procedente de un controlador externo, como el controlador del contador de agua 120. Se pueden proporcionar circuitos independientes (no mostrados) para permitir la comunicación entre el microcontrolador 2220 y un controlador externo.

REIVINDICACIONES

1. Un sensor de vibraciones (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700), que comprende:
una base de sensor (520, 820, 920, 1120, 1220) para acoplarse a una fuente de vibraciones;
5 un transductor piezoeléctrico (535, 835, 935, 1135, 1235) acoplado por un primer lado del transductor a la base de sensor (520, 820, 920, 1120, 1220);
al menos un conductor (525, 825, 925) acoplado al transductor piezoeléctrico (535, 835, 935, 1135, 1235);
10 un peso sísmico (510, 810, 910, 1110, 1210) que define una cavidad en la que el transductor piezoeléctrico (535, 835, 935, 1135, 1235) está parcialmente dispuesto de forma que el peso sísmico (510, 810, 910, 1110, 1210) está situado en un segundo lado del transductor piezoeléctrico (535, 835, 935, 1135, 1235); y
un componente de compresión (830) dispuesto para sesgar el peso sísmico (510, 810, 910, 1110, 1210) hacia la base de sensor (520, 820, 920, 1120, 1220);
15 caracterizado porque hay un hueco (816) entre una pared interior que define la cavidad del peso sísmico (510, 810, 910, 1110, 1210) y una superficie exterior del transductor piezoeléctrico (535, 835, 935, 1135, 1235); y la base de sensor (520, 820, 920, 1120, 1220), el transductor piezoeléctrico (535, 835, 935, 1135, 1235) y el peso sísmico (510, 810, 910, 1110, 1210) están alineados a lo largo de un eje y dispuestos de forma que el movimiento relativo entre la base de sensor (520, 820, 920, 1120, 1220) y el
20 peso sísmico derivado de las vibraciones transmitidas a través de la base de sensor (520, 820, 920, 1120, 1220), hace que se genere una corriente en el transductor piezoeléctrico (535, 835, 935, 1135, 1235) y que una señal de salida correspondiente a la corriente generada sea detectable en el al menos un conductor (525, 825, 925).
25
2. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de la reivindicación 1, en el que el componente de compresión (830) comprende un muelle (830).
3. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de la reivindicación 2, en el que un extremo del muelle está acoplado a la base de sensor (520, 820, 920, 1120, 1220) y un extremo opuesto del muelle está
30 acoplado al peso sísmico (510, 810, 910, 1110, 1210).
4. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de la reivindicación 2, en el que el muelle está dispuesto en un lado del peso sísmico (510, 810, 910, 1110, 1210) opuesto a la base de sensor (520, 820, 920, 1120, 1220) y está dispuesto para que un primer extremo del muelle soporte una superficie de apoyo del sensor y para que un segundo extremo del muelle soporte el peso sísmico (510, 810, 910, 1110, 1210).
35
5. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que una constante elástica del muelle está comprendida entre aproximadamente 1 N/mm y aproximadamente 15 N/mm, opcionalmente entre aproximadamente 2 N/mm y aproximadamente 10 N/mm.
40
6. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que, en un estado de reposo del sensor, el transductor piezoeléctrico (535, 835, 935, 1135, 1235) está comprimido entre la base de sensor (520, 820, 920, 1120, 1220) y el peso sísmico (510, 810, 910, 1110, 1210).
45

7. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además una interfaz electrónica acoplada al menos un conductor (525, 825, 925) y dispuesta para comunicarse con un controlador externo.
- 5 8. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de la reivindicación 7, en el que la interfaz electrónica está configurada para procesar las señales de entrada basándose en la señal de salida recibida a través del al menos un conductor para determinar una transformada rápida de Fourier (FFT) de las señales de entrada.
- 10 9. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de la reivindicación 8, en el que la interfaz electrónica está configurada para realizar una comparación de al menos un umbral específico de frecuencia contra al menos una sección del espectro de frecuencias de la FFT y para establecer un indicador de detección cuando la comparación indique que una amplitud del espectro de frecuencias en la al menos una sección supera el respectivo al menos un umbral del espectro de frecuencias.
- 15 10. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de la reivindicación 9, en el que la comparación se realiza múltiples veces para diferentes umbrales específicos de frecuencia y respectivas secciones diferentes del espectro de frecuencias para establecer o no al menos un indicador de detección basada en las múltiples comparaciones.
- 20 11. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que la interfaz electrónica está configurada para muestrear la señal de salida durante un breve periodo de tiempo en respuesta a una señal de funcionamiento recibida del controlador externo, en el que el breve periodo de tiempo está comprendido entre 0,05 segundos y 1,0 segundo, y preferentemente en el que el breve periodo de tiempo está comprendido entre 0,05 segundos y 0,2 segundos.
- 25 12. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el al menos un conductor (525, 825, 925) comprende un primer conductor acoplado a un primer extremo del transductor piezoeléctrico (535, 835, 935, 1135, 1235) y un segundo conductor acoplado a un segundo extremo opuesto del transductor piezoeléctrico (535, 835, 935, 1135, 1235), en el que la señal de salida es detectable en el primer y segundo conductores.
- 30 13. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el peso sísmico (510, 810, 910, 1110, 1210) tiene una masa de entre unos 20 gramos y unos 250 gramos.
- 35 14. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que el peso sísmico (510, 810, 910, 1110, 1210) es axi-simétrico respecto al eje.
- 40 15. El sensor (500, 800, 900, 1100, 1200, 1700) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, en el que el peso sísmico (510, 810, 910, 1110, 1210) es inclinable angularmente con respecto a la base de sensor (520, 820, 920, 1120, 1220).

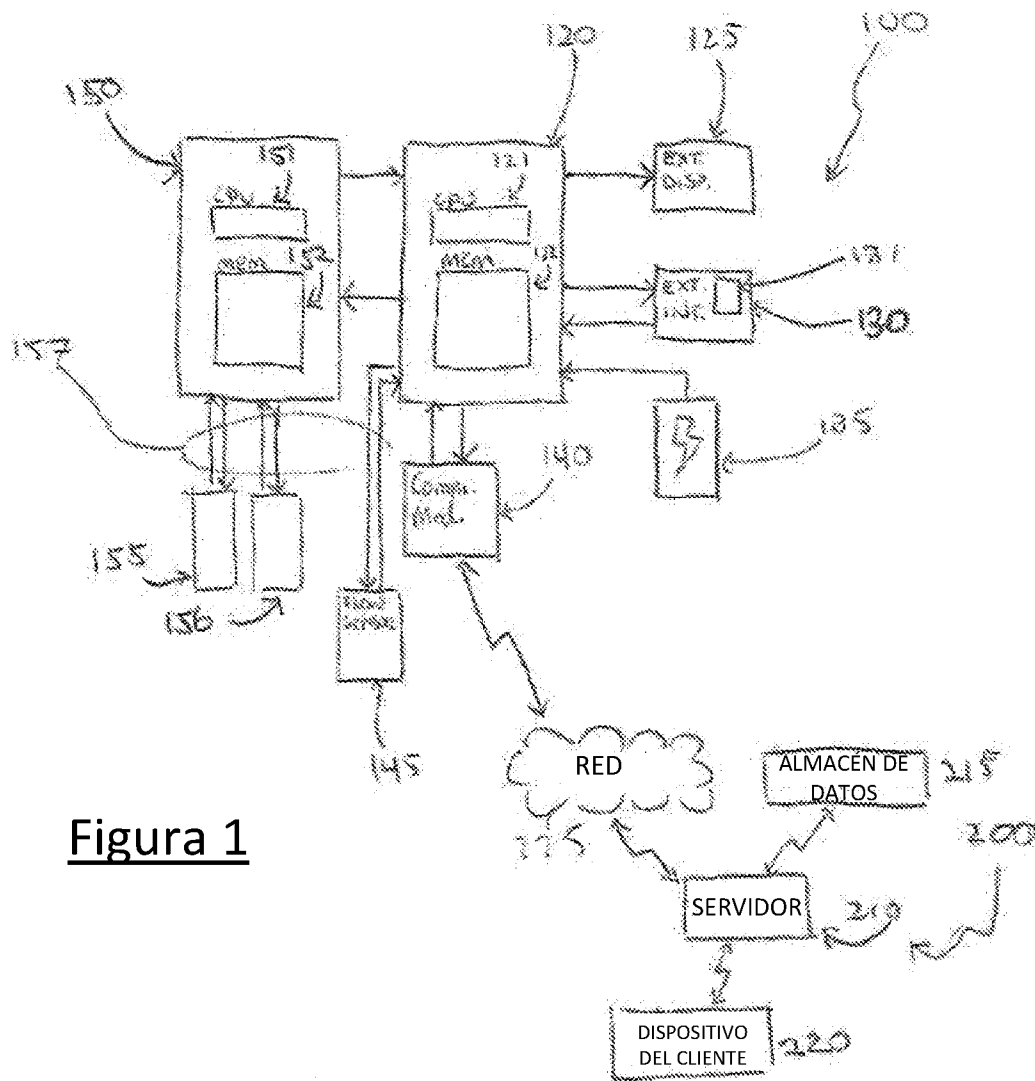


Figura 1

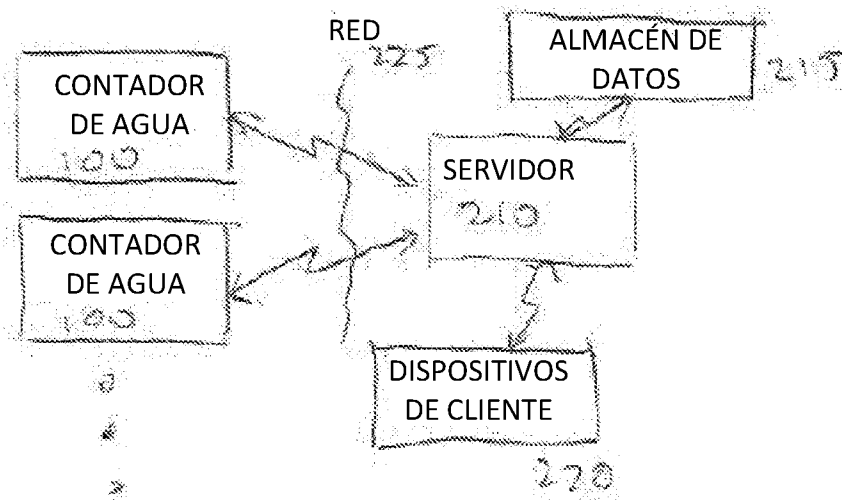
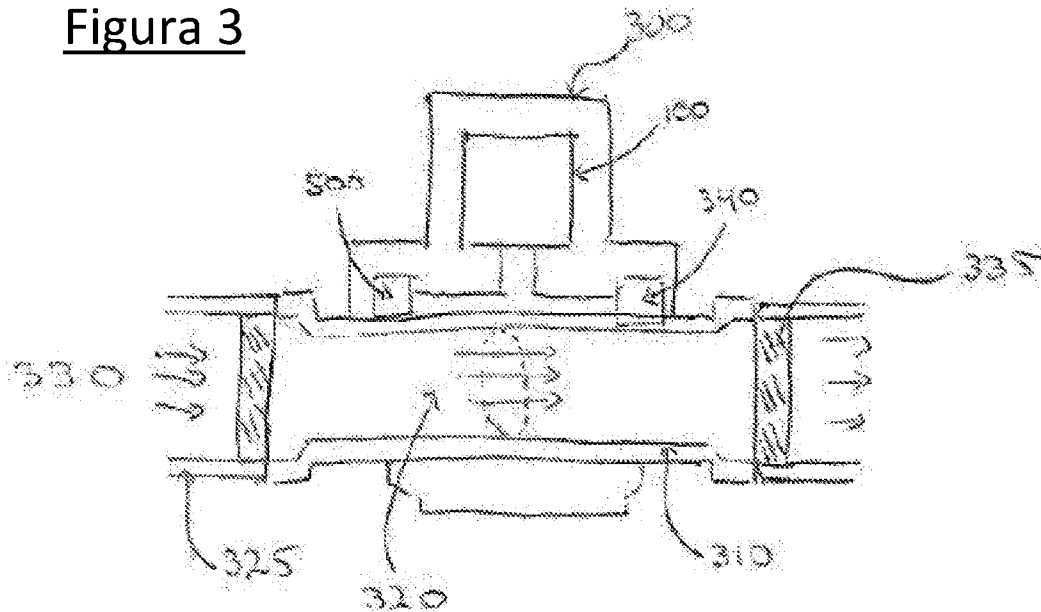


Figura 2

Figura 3



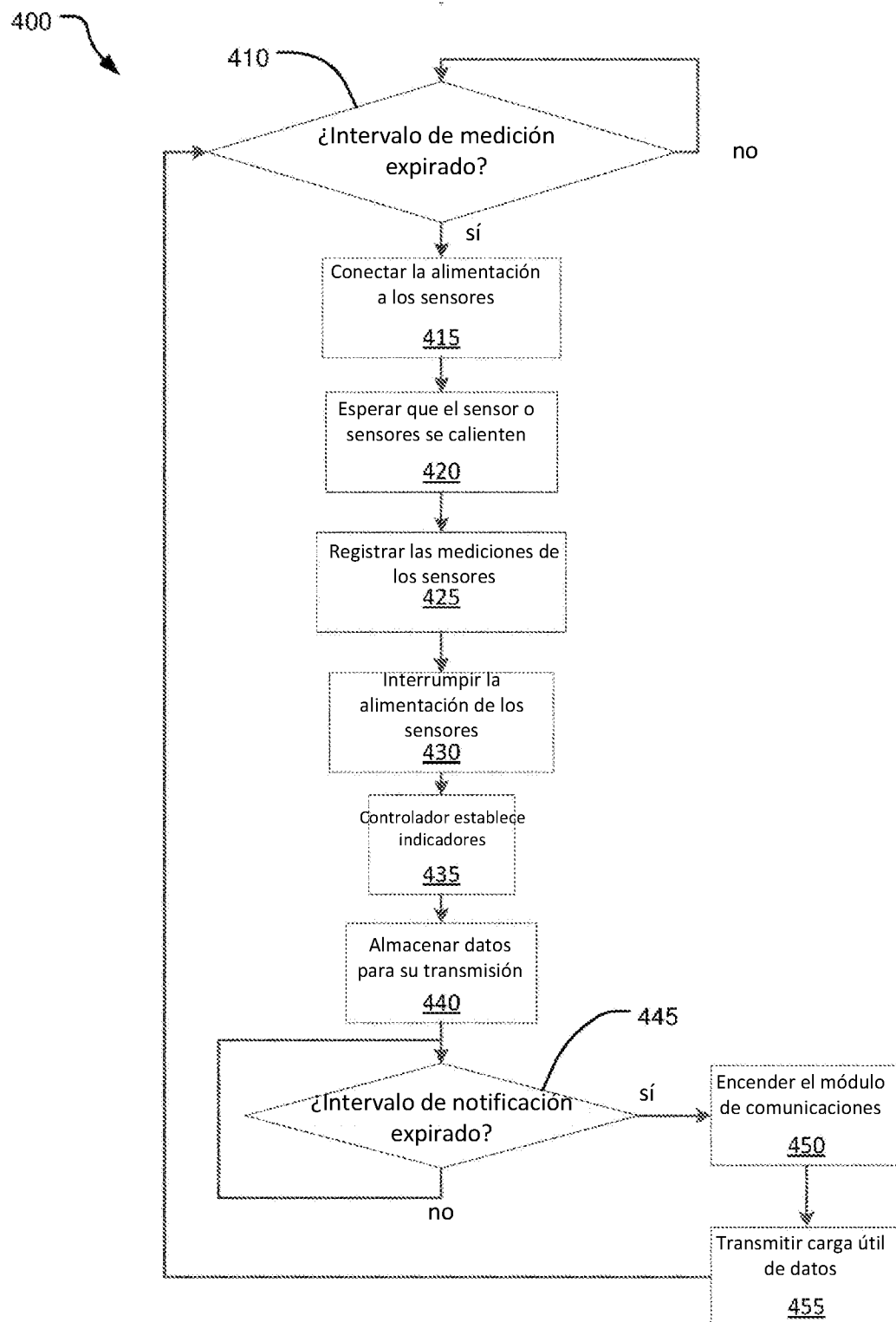
Figura 4

Figura 5

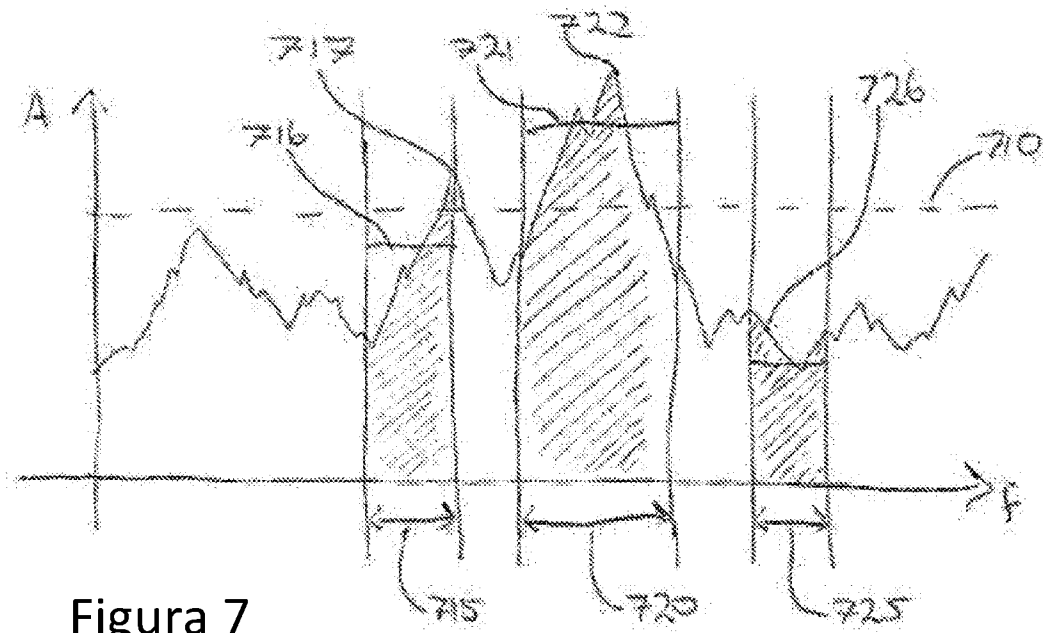
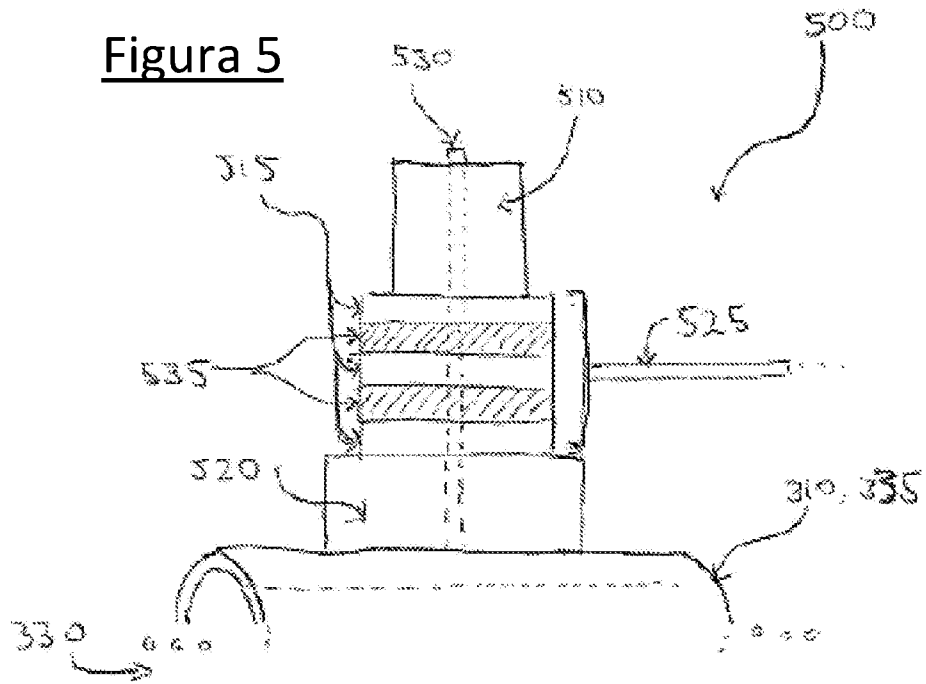


Figura 7

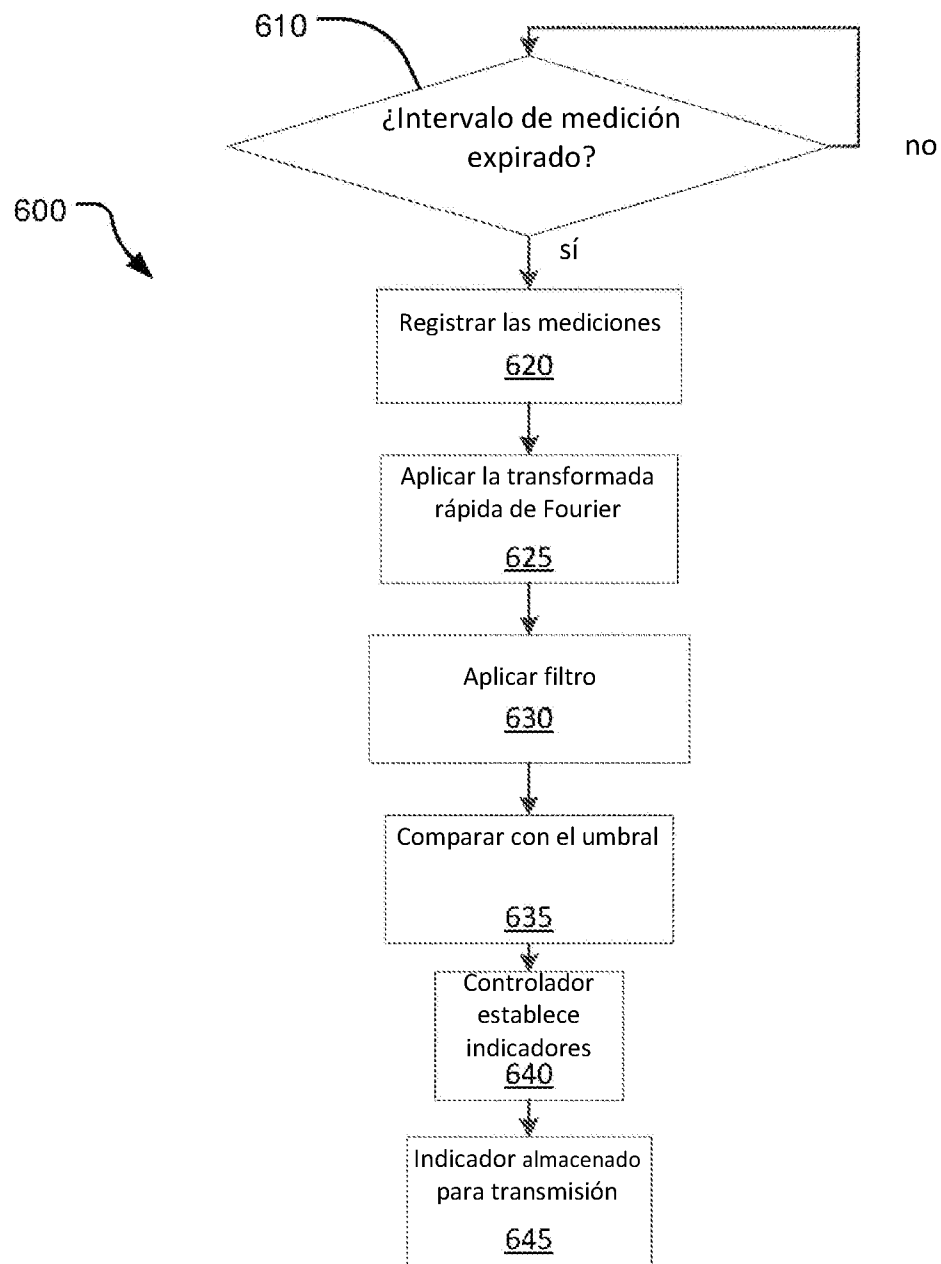


Figura 6

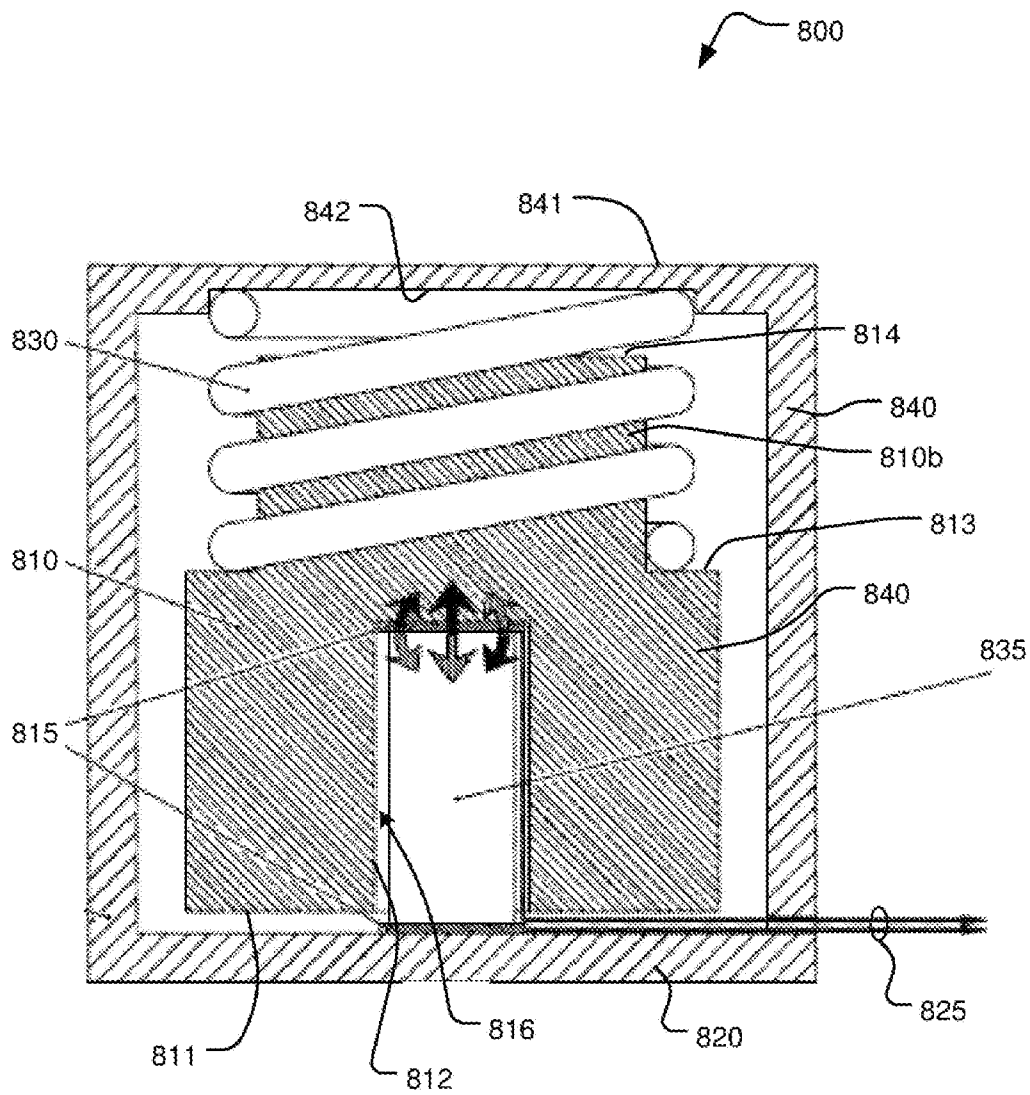


Figura 8

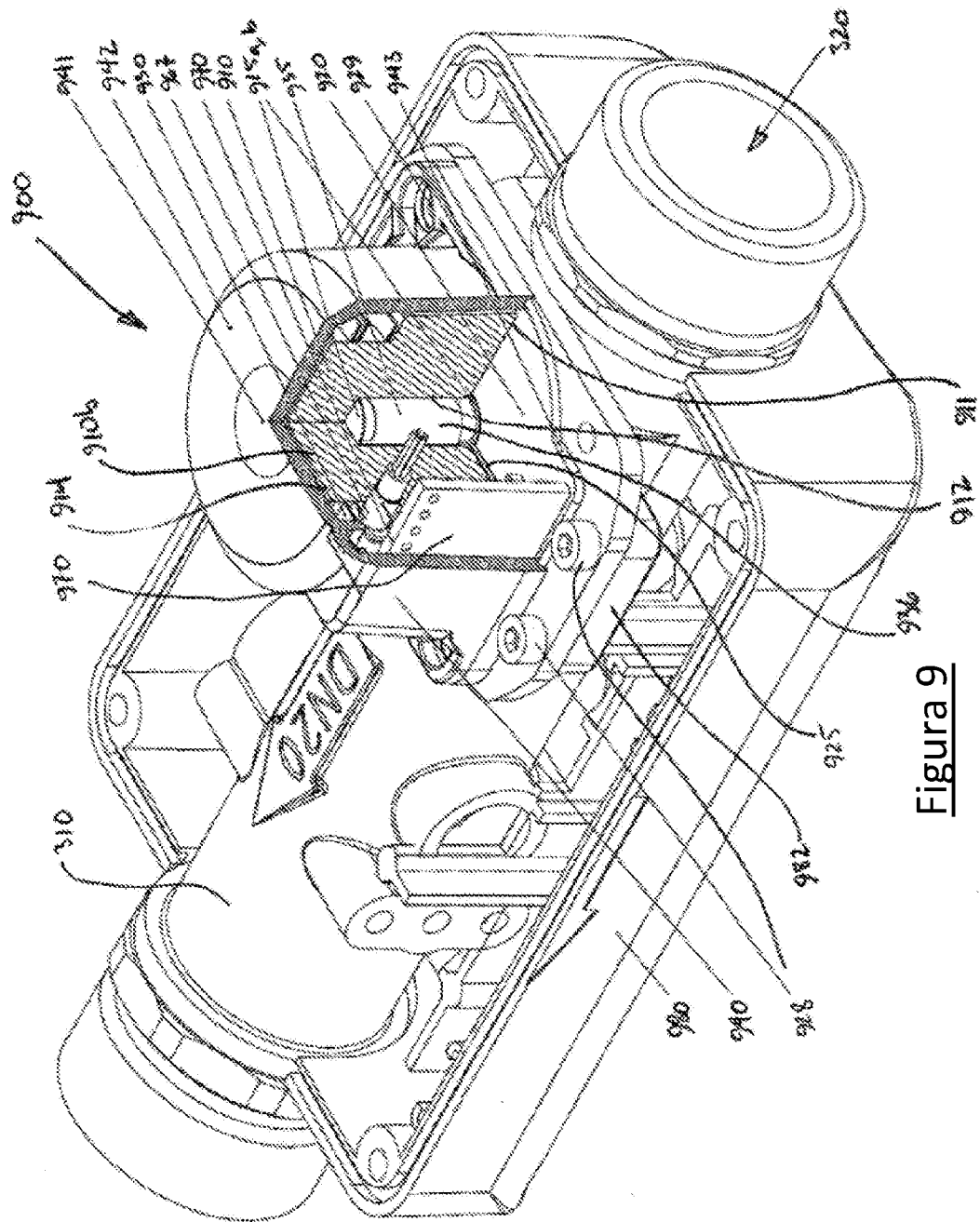


Figure 9

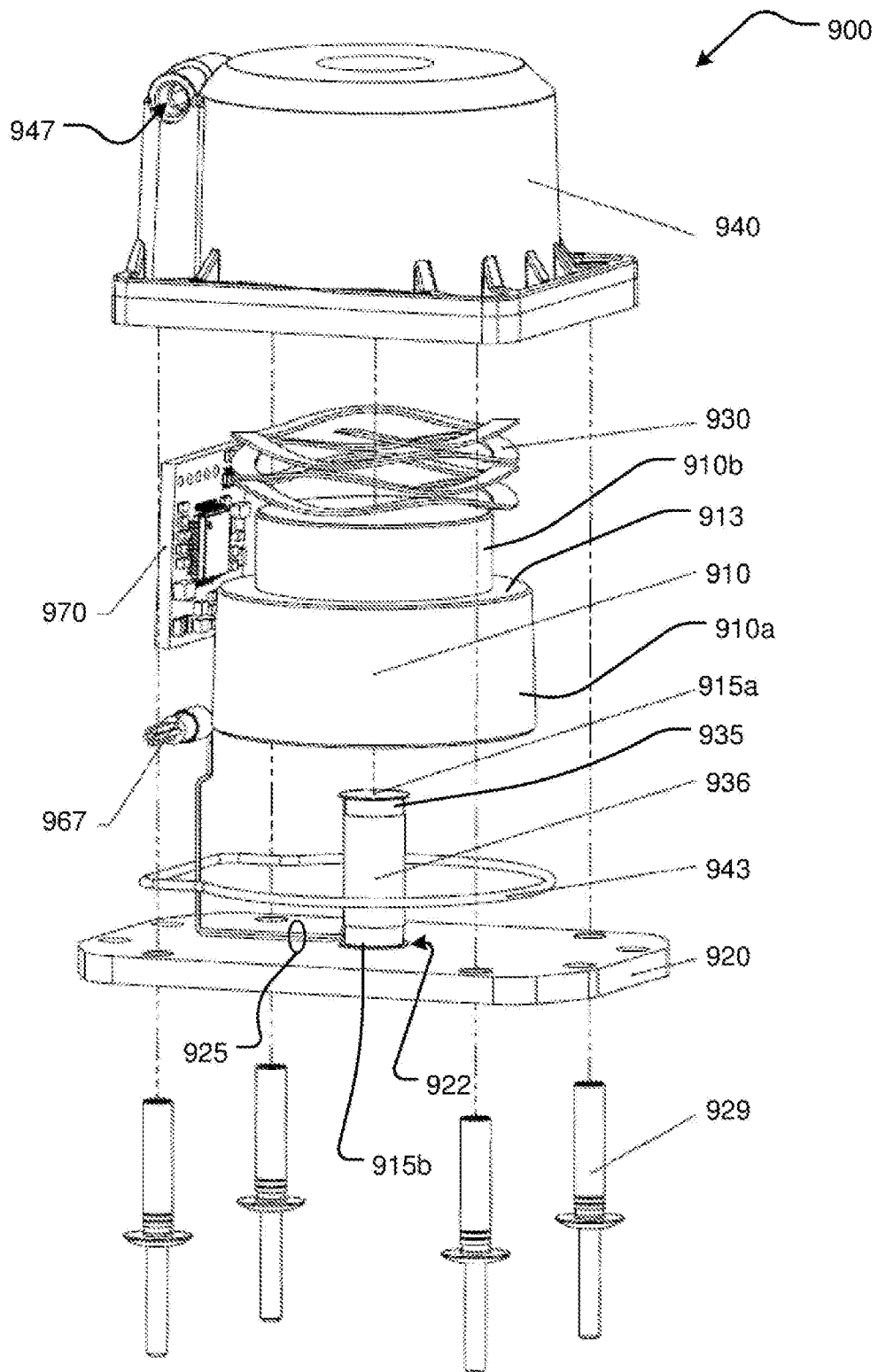


Figura 10

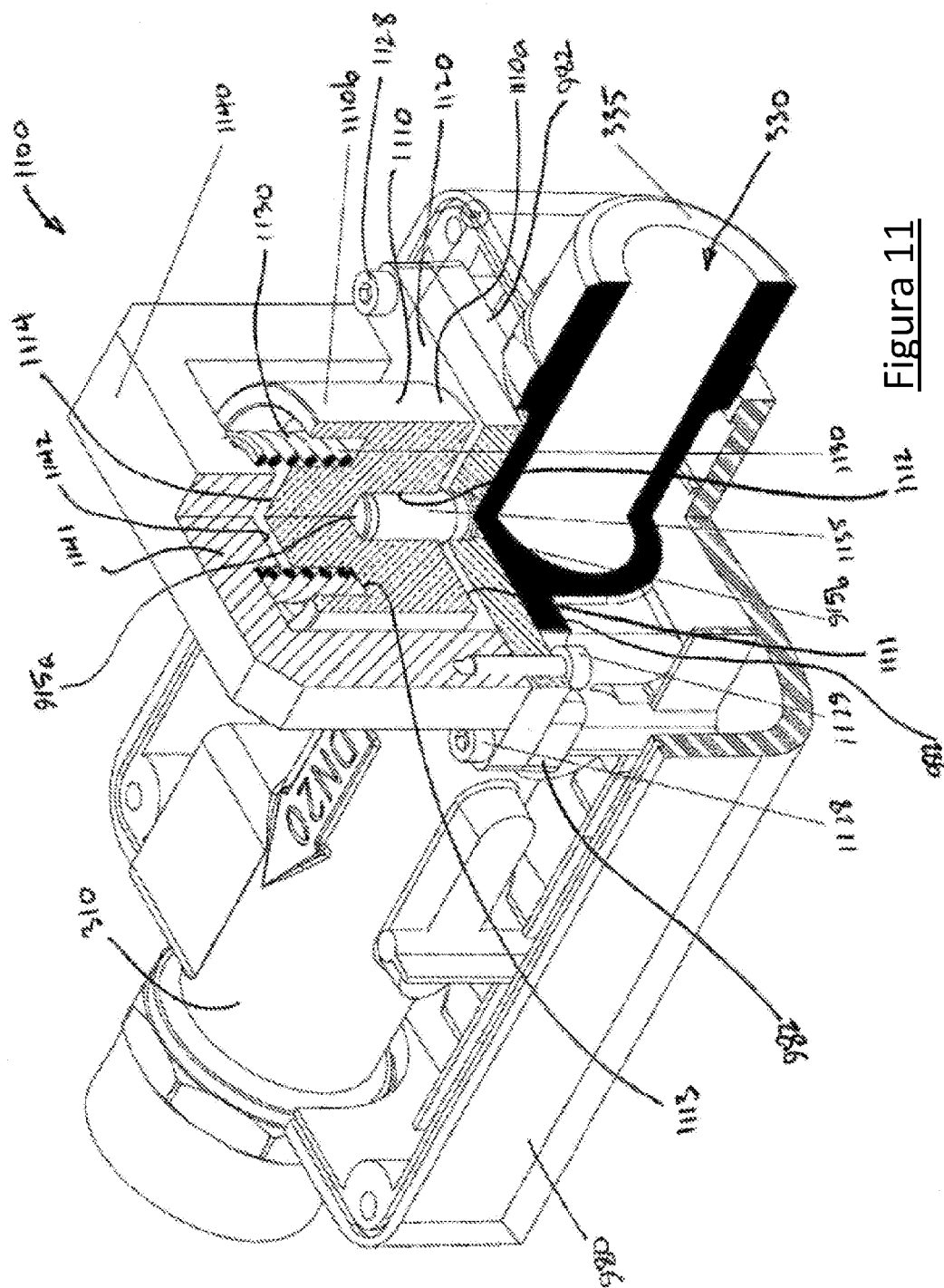


Figura 11

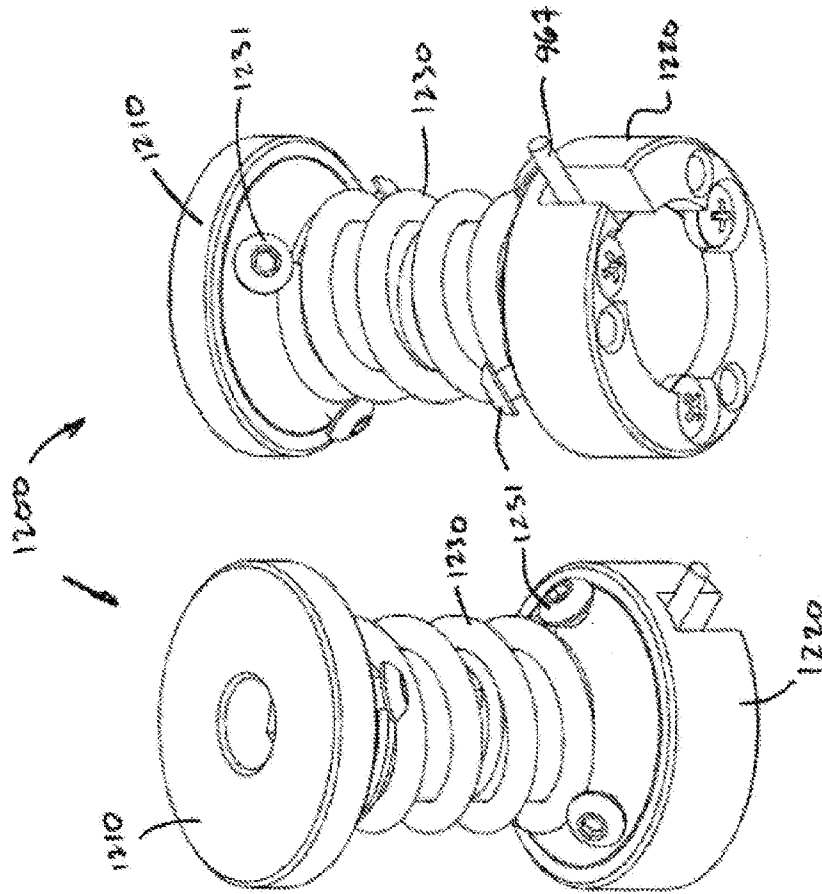


Figura 12A

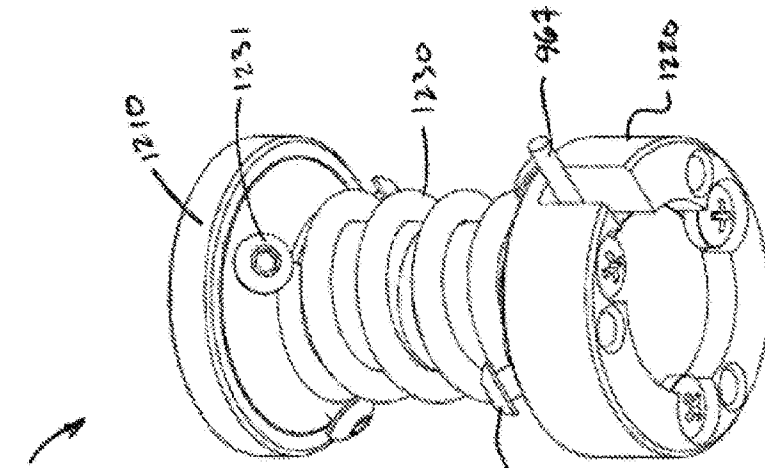


Figura 12B

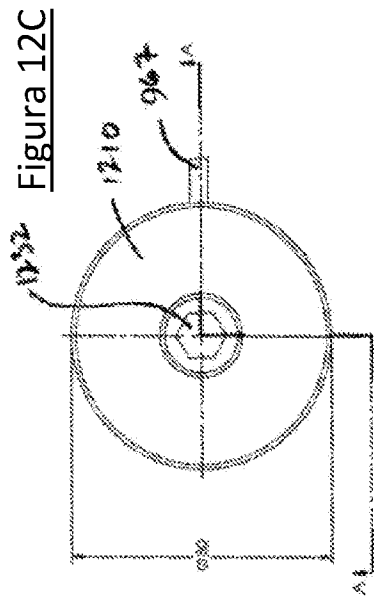


Figura 12C

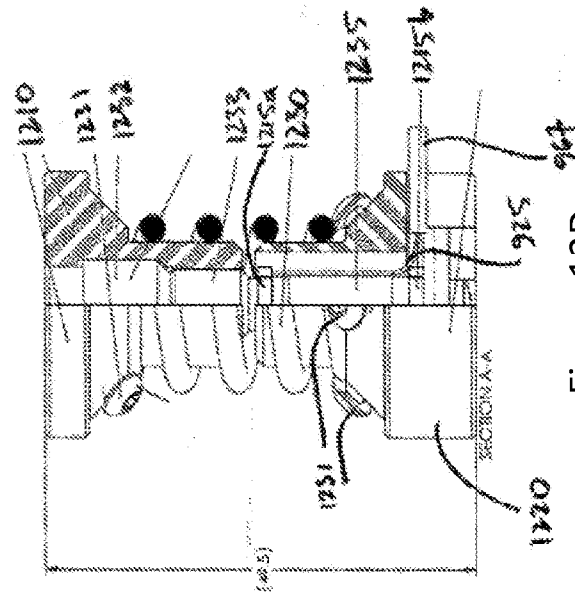


Figura 12D

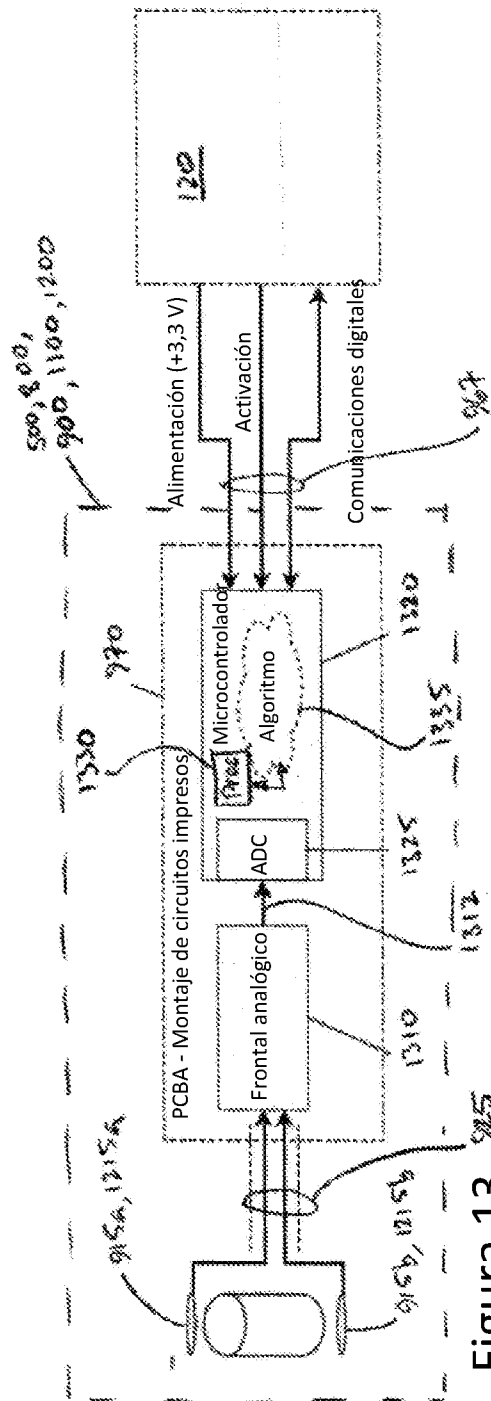


Figura 13

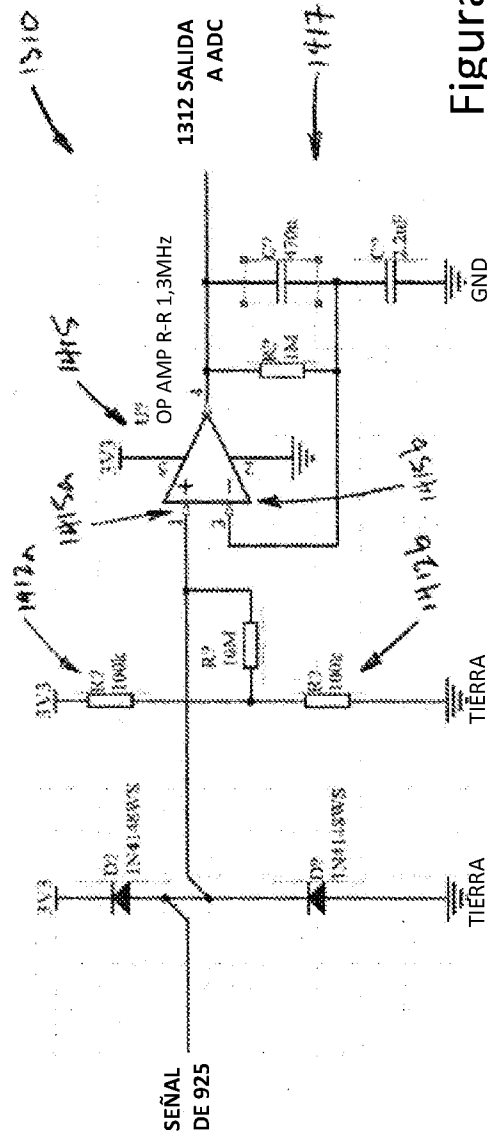
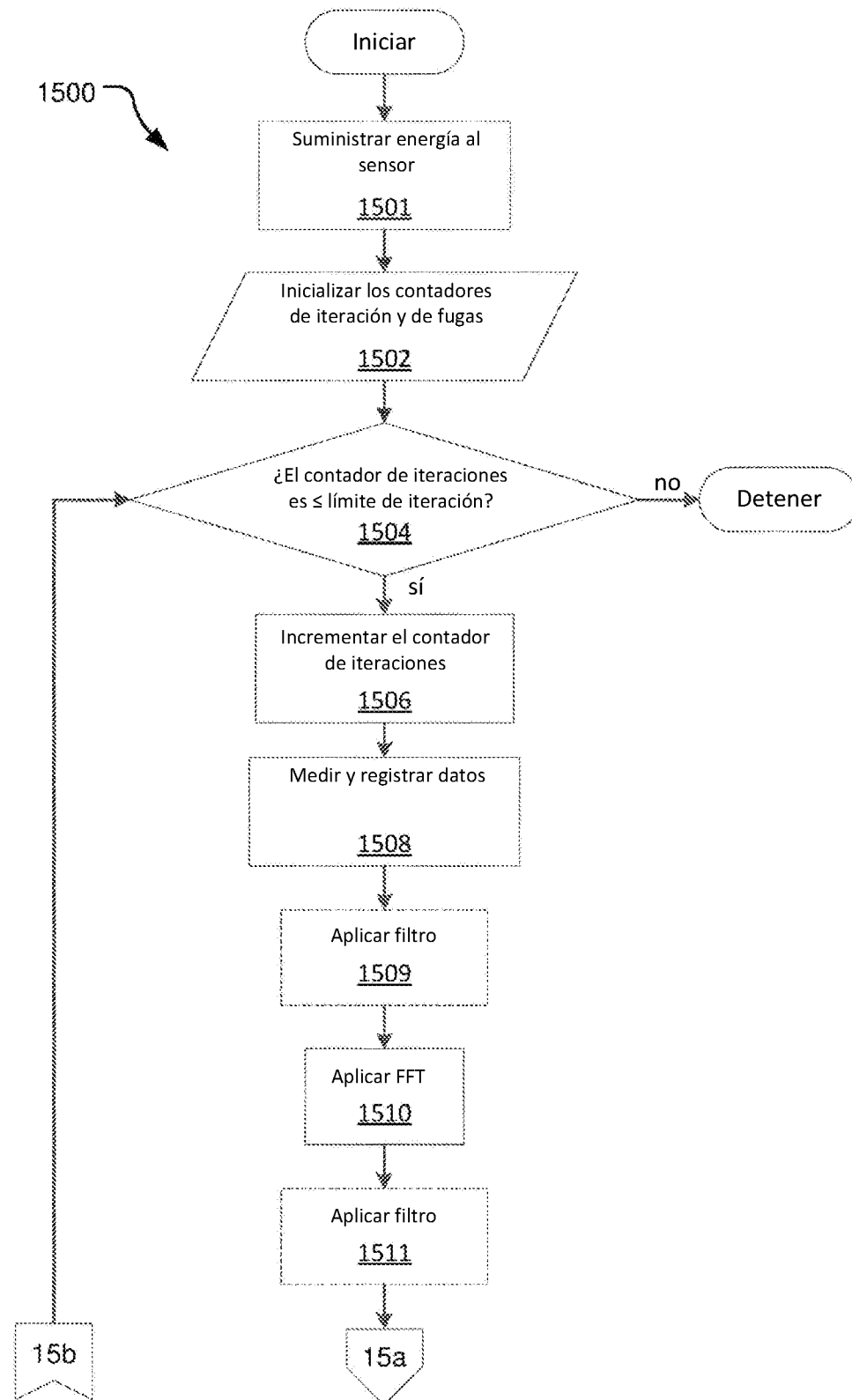
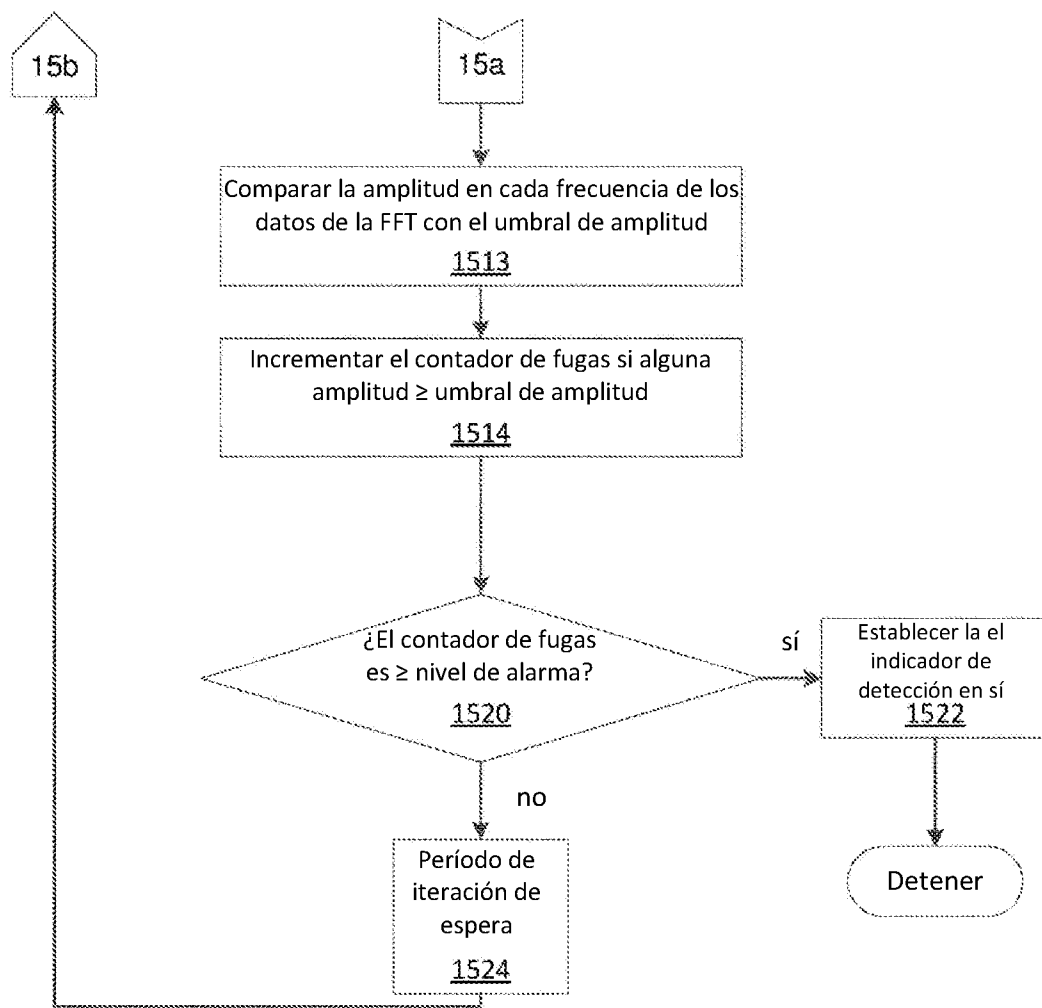
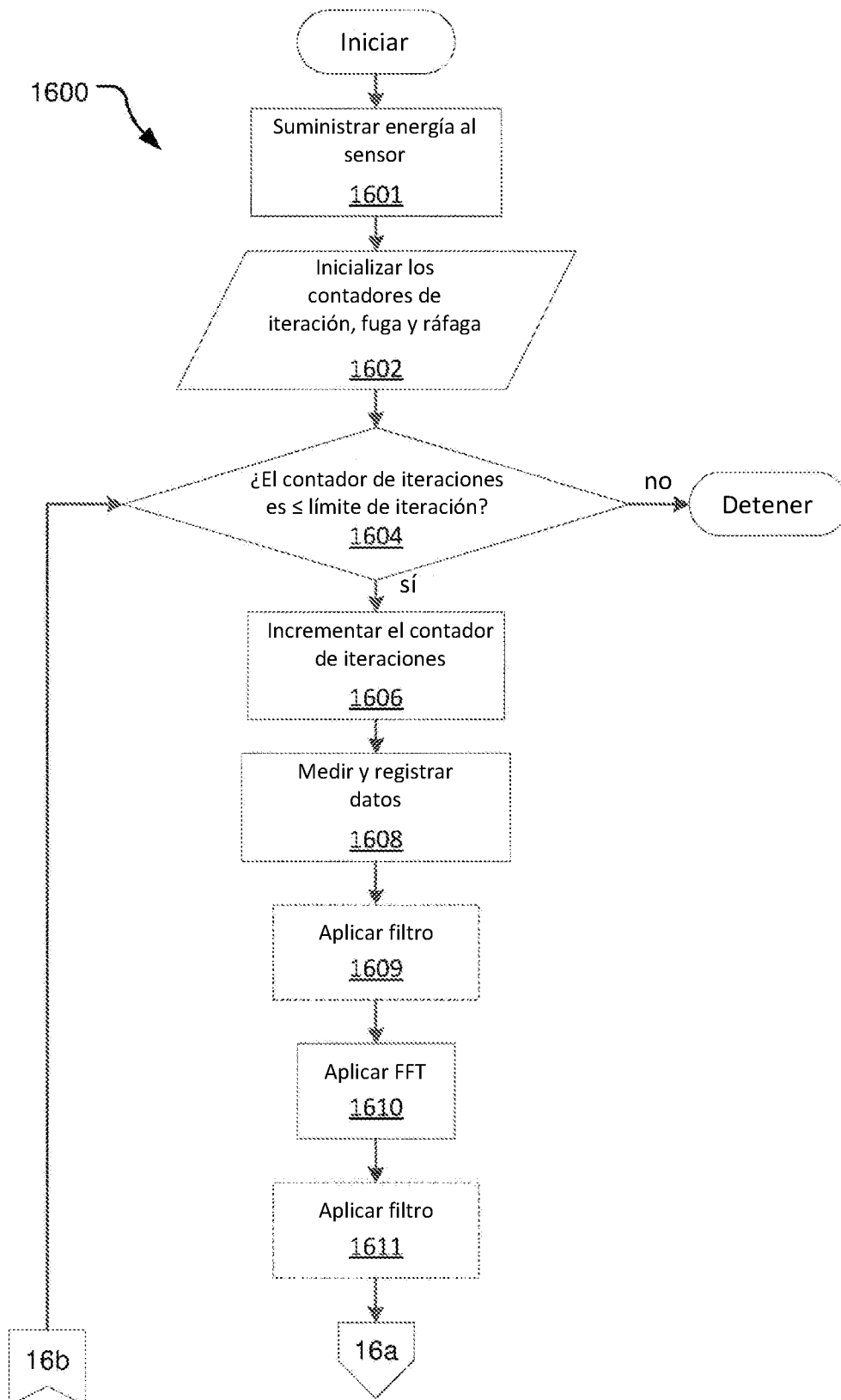
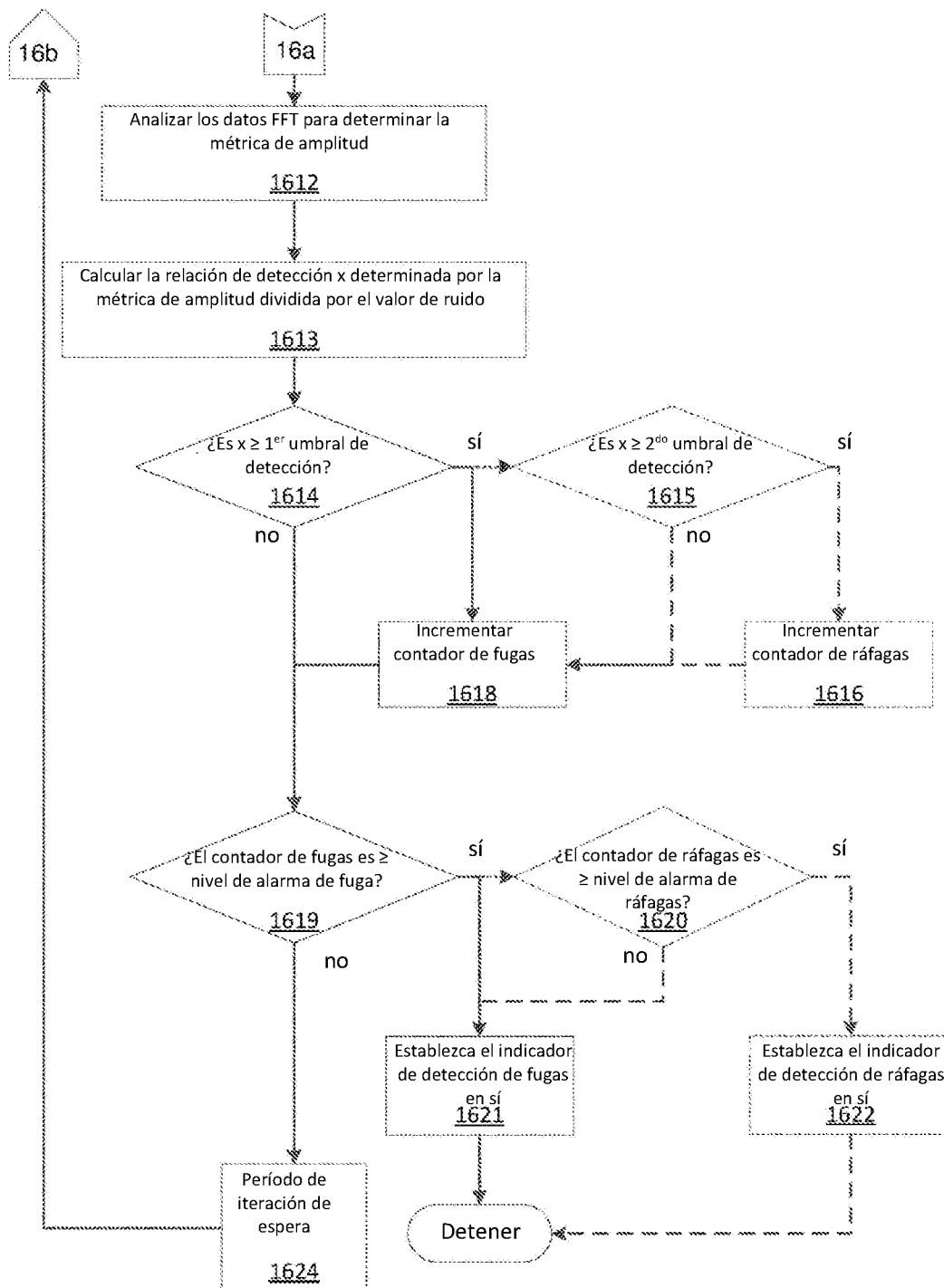


Figura 14

**Figura 15A**

Figura 15B

**Figura 16A**

**Figura 16B**

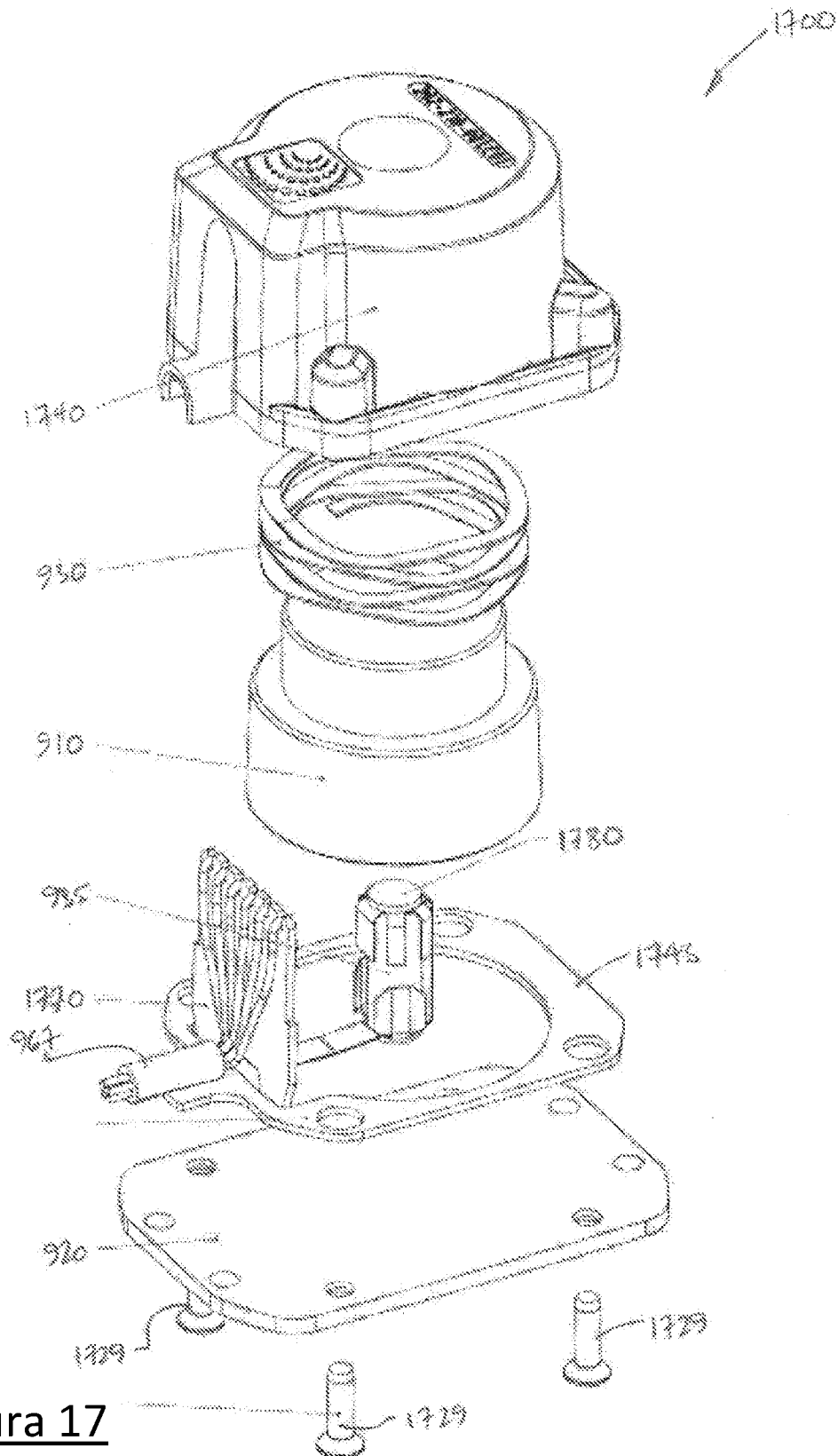


Figura 17

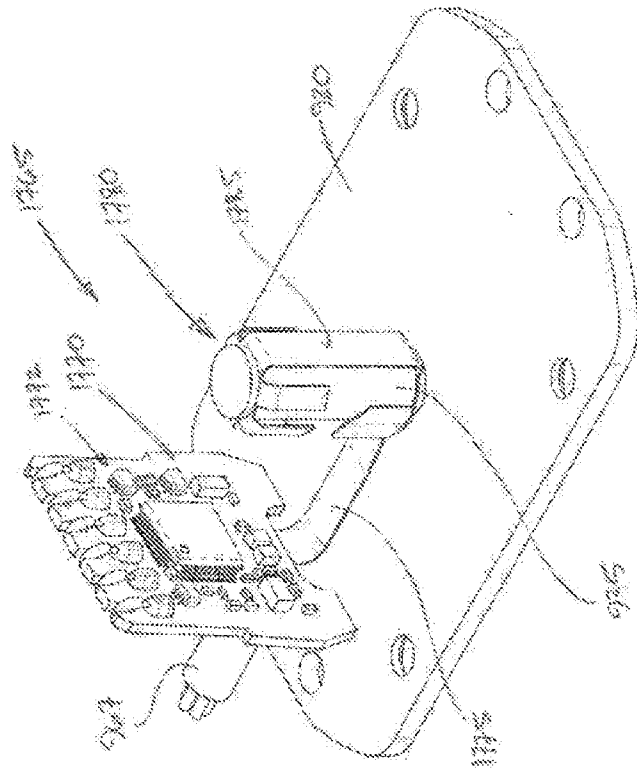


Figura 18

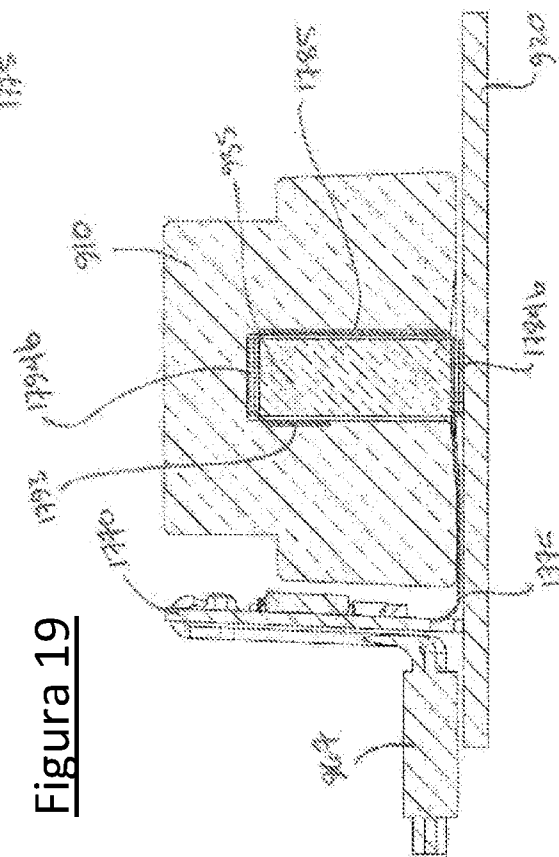


Figura 19

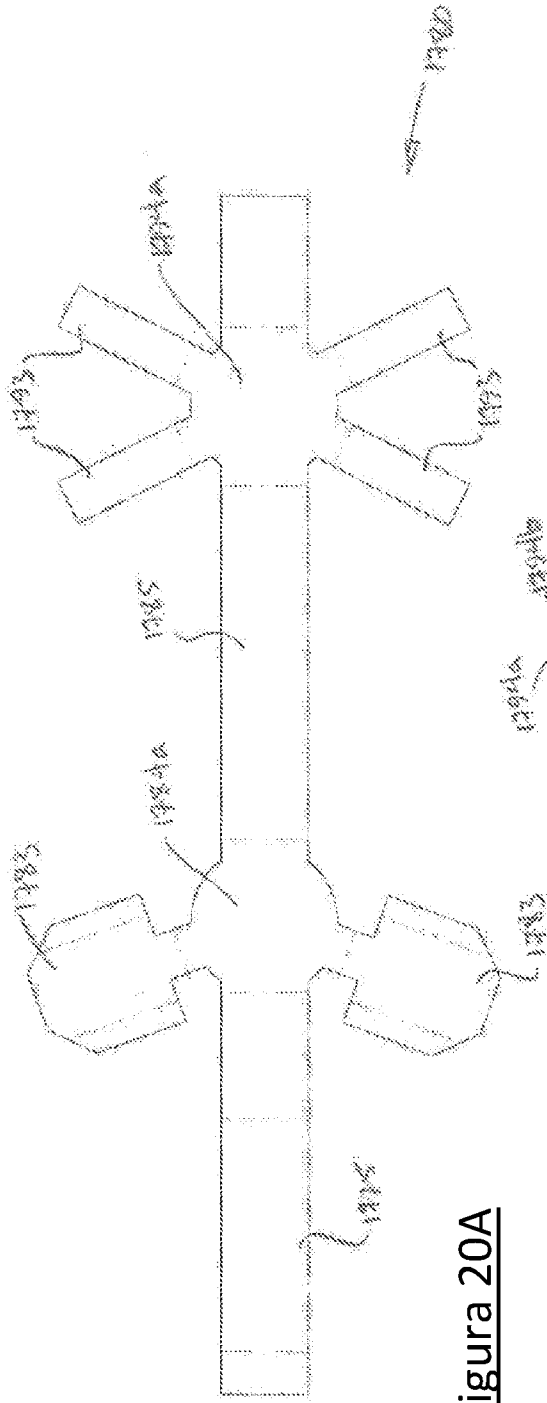


Figura 20A

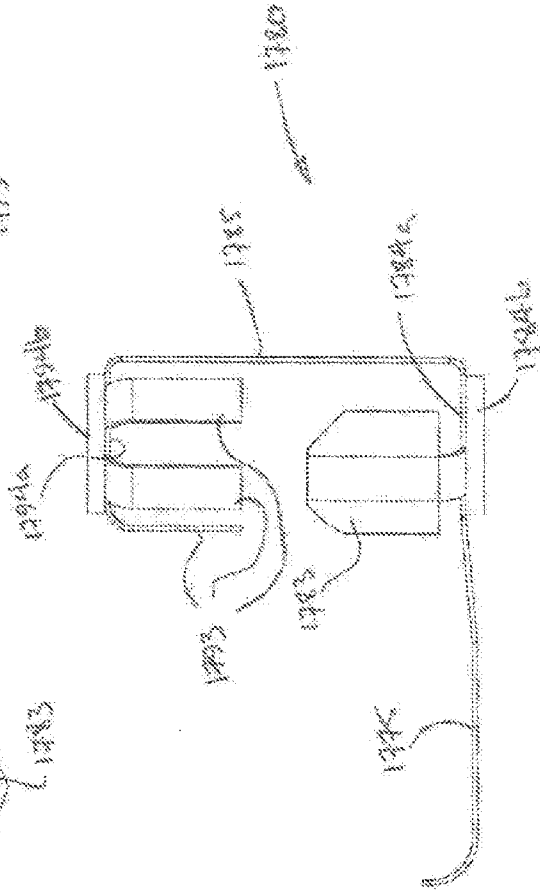


Figura 20B

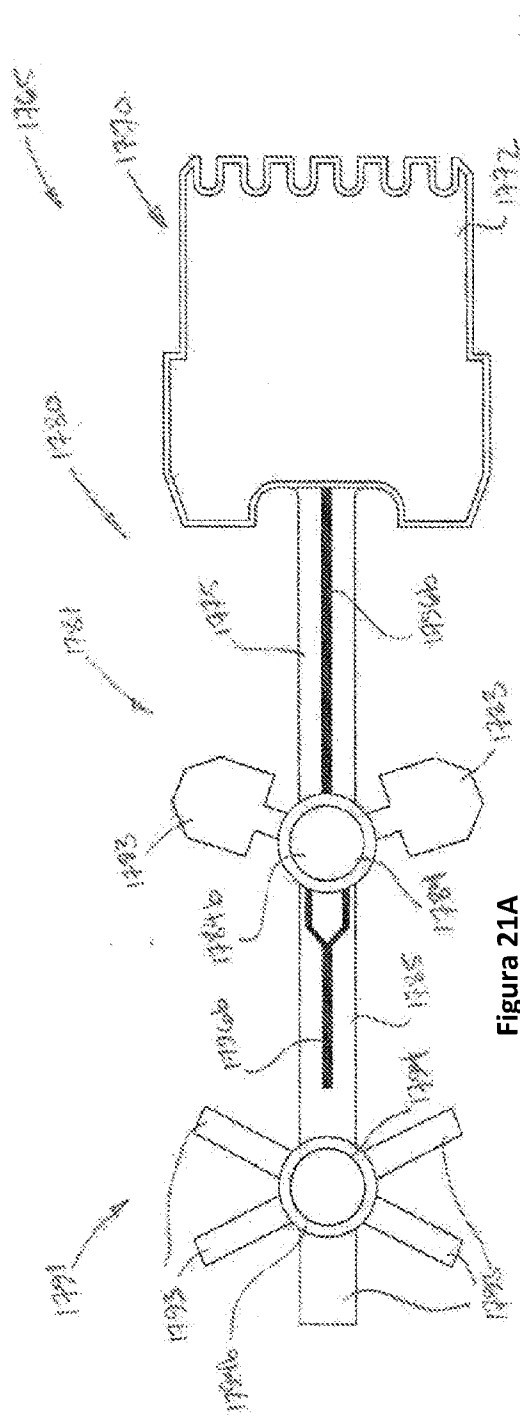


Figure 21A

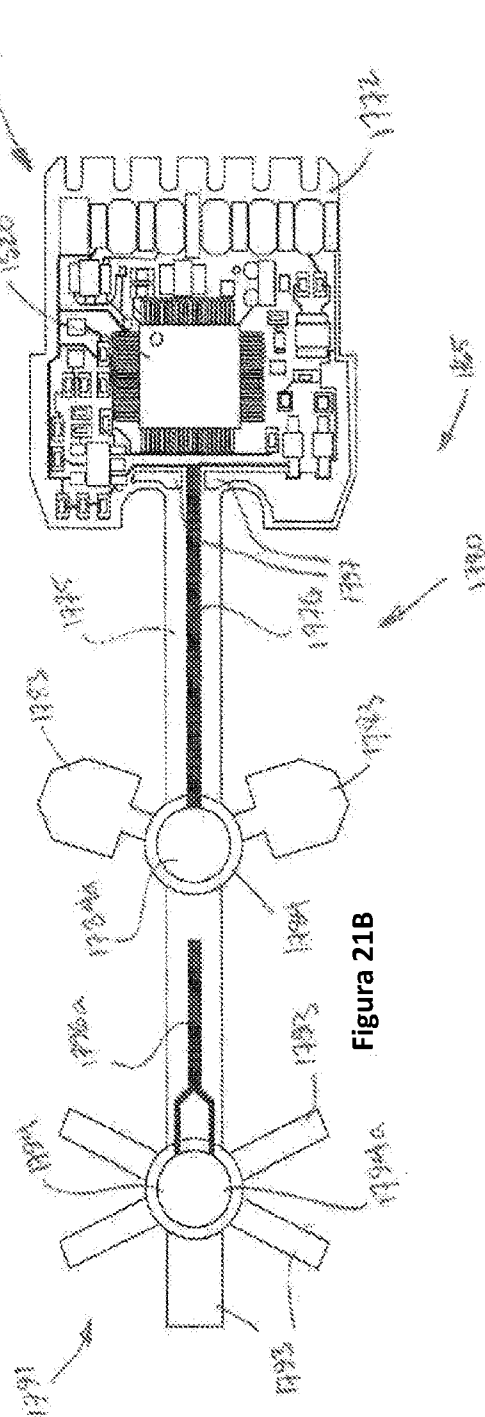


Figure 21B

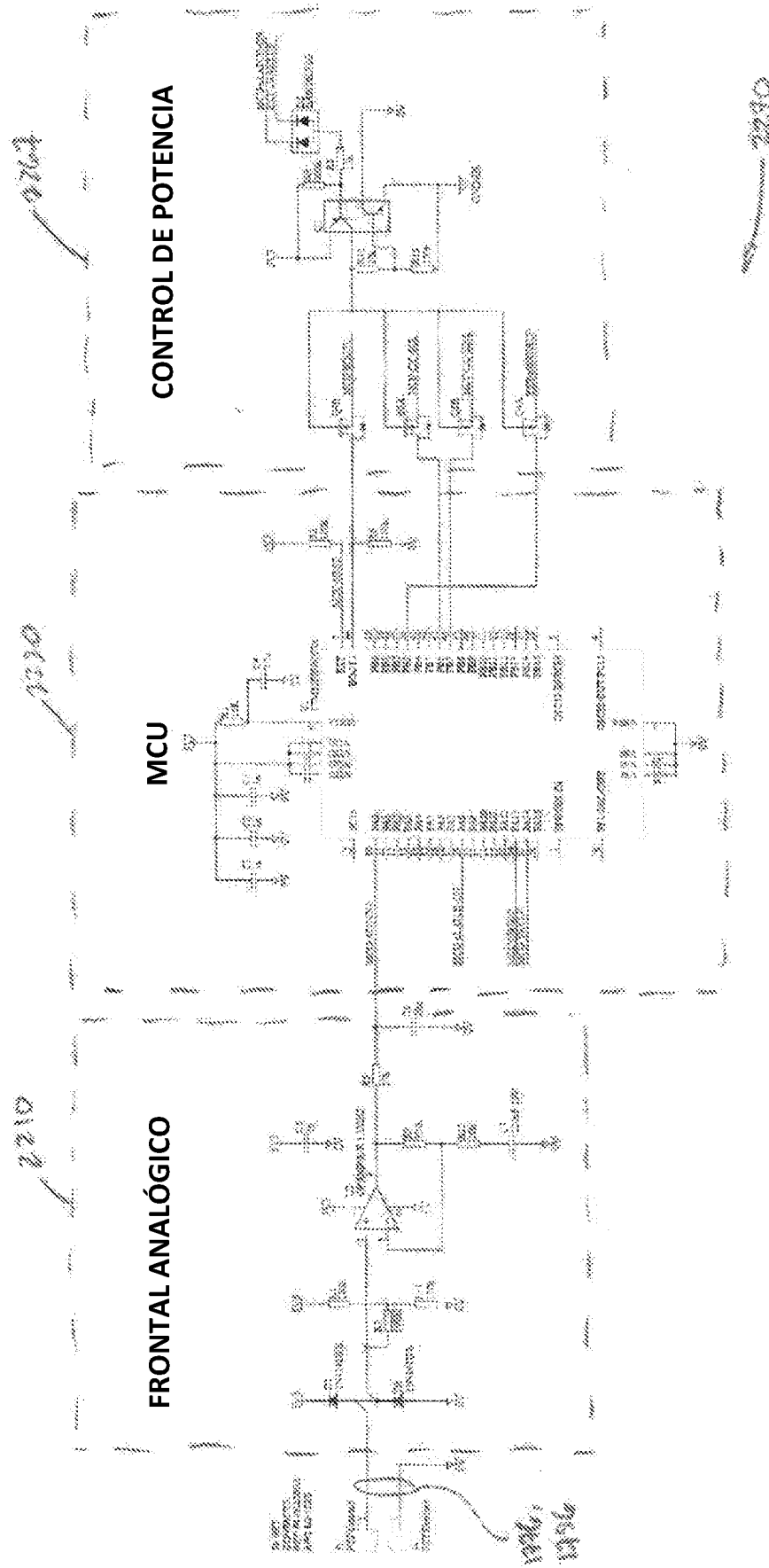


Figura 22