

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 725 534**

51 Int. Cl.:

**G01F 1/66** (2006.01)

**F17D 5/06** (2006.01)

**G01M 3/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.12.2013 PCT/US2013/073200**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.06.2014 WO14089249**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.12.2013 E 13860742 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 2929300**

54 Título: **Dispositivo y sistema de detección y análisis de flujo de fluidos**

30 Prioridad:

**04.12.2012 US 201261733207 P**

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

**24.09.2019**

73 Titular/es:

**HORNE, STEPHEN J. (50.0%)  
254 Avenue Balboa, Box 2082  
El Granada, California 94018, US y  
MACDONALD, ROBERT L. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**HORNE, STEPHEN J. y  
MACDONALD, ROBERT L.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 725 534 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Dispositivo y sistema de detección y análisis de flujo de fluidos

Solicitudes relacionadas

5 Esta solicitud reivindica prioridad a la solicitud de patente provisional de Estados Unidos No. 61/733,207, titulada "Detección y análisis de fluidos" y presentada el 4 de diciembre de 2012.

Antecedentes de la invención

10 Los sistemas de detección de fugas y flujo de fluidos para sistemas de plomería proporcionan una función valiosa al proteger el entorno (interior o exterior) contra daños debidos a fugas de fluidos. Dichos daños pueden exceder en gran medida el coste del fluido filtrado, y el coste anual combinado de daños en la construcción a causa de fugas en los sistemas de tuberías supera los \$1B en los Estados Unidos. Las fugas en los sistemas de plomería exteriores también son un problema generalizado, ya que los analistas de la industria estiman que el 30% del agua potable tratada se pierde por fugas.

A pesar de la naturaleza generalizada y el alto coste consecuente de las fugas de plomería, los productos capaces de detectar fugas que han estado en el mercado durante muchos años han visto una penetración limitada en el mercado.

15 Los sistemas diseñados para identificar fugas en sistemas de plomería interiores son actualmente demasiado costosos, demasiado difíciles de instalar o proporcionan una protección limitada. El enfoque dominante para dichos sistemas se basa en los sensores de humedad que se activan al entrar en contacto con la acumulación de agua debajo o cerca de la fuga.

20 Es común ver aparatos que emplean un interruptor de flotador o un sensor de humedad electrónico como el aparato de detección. Estos aparatos, un ejemplo dado por el detector de agua de Leak Alert por Zircon, se asemejan a un disco de goma o caja pequeña la cual se coloca en un área donde se espera la acumulación de fluido ante la falla de un sistema de tuberías local. Un ejemplo sería en el punto más bajo del piso debajo del circuito de agua de un sistema de aire acondicionado. Otro ejemplo de esta categoría emplea el uso de la reflectometría de dominio de tiempo (TDR) o los cambios de impedancia para detectar la humedad en contacto con un cable o una malla de cables. Estos aparatos, por ejemplo, el sistema ProH2O de Safe Fire Detection, Inc., tienen una pequeña unidad de detección conectada a una longitud de cable o alambre de detección, el cual se encadena en un área donde se espera que se moje cuando falla un sistema de tuberías local.

25 El uso de aparatos de esta categoría requiere un conocimiento preciso de dónde fluirá el fluido fugado y requiere un volumen suficiente, a veces significativo, de fluido fugado para acumularse en el aparato a fin de detectar una fuga. Además, debido a que detectan fluido solo localmente, se necesita un gran número de dichos aparatos para la vigilancia adecuada de una red de tuberías significativa, por ejemplo, la que se encuentra en un edificio residencial o comercial.

35 Las fugas en los sistemas de plomería exteriores en general se detectan utilizando profesionales altamente capacitados con equipos de monitorización acústica portátiles sofisticados y costosos. Estas unidades están fijadas a elementos de la red de plomería, tal como las bocas de incendio, y el equipo capta sonidos que el personal capacitado puede reconocer como provenientes de fugas subterráneas. Si bien se ha comprobado que es efectivo, este enfoque de trabajo intensivo resulta demasiado costoso para un uso continuo o generalizado. Además, la naturaleza especializada de la identificación limita la escalabilidad de este enfoque.

40 Otro enfoque para la detección de fugas utiliza medidores de flujo altamente precisos que permiten a los operadores del sistema identificar las fugas a través de cálculos de balance de masa. Los sensores utilizados en estos sistemas requieren una alta precisión y, como resultado, se centran solo en las condiciones de flujo en la tubería a la cual están conectados. Además, su alta precisión por lo general viene con requisitos de potencia moderados a altos, alto coste y, a veces, dificultad de instalación. El requerimiento de alta potencia puede ser especialmente problemático debido a que este imposibilita el funcionamiento de la batería o el producto tiene una vida útil corta entre los reemplazos de la batería.

45 El documento US 2003/0167847 divulga un aparato y un método para detectar una fuga en una tubería utilizando un sensor ubicado en la tubería para detectar una señal de la tubería. El documento US 5 974 862 divulga un método para detectar fugas en una tubería utilizando detección de datos, transmisión codificada digitalmente y correlación cruzada. El documento US 2005/0279169 divulga un grabador de vibración para detectar fugas en una red de tuberías.

50 Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 muestra una vista en perspectiva en corte de una realización de un dispositivo sensor acústico;

la Figura 2 es un esquema detallado de ejemplo del dispositivo sensor de la Figura 1;

la Figura 3 es un esquema de una red de comunicaciones de ejemplo para usar con el dispositivo de la Figura 1; y

la Figura 4 es un diagrama de flujo del funcionamiento de un sensor en un sistema de detección acústico, en una realización.

Descripción detallada de las realizaciones

5 Los sistemas de detección de flujo para monitorizar sistemas de agua, tales como en un hogar residencial, pueden ser costosos y difíciles de instalar. En la presente divulgación, se describirán las realizaciones de un elemento sensor, un sistema de captura acústica y un sistema de análisis de datos para uso en la monitorización de fluidos. Los sistemas son capaces de detectar fugas en los sistemas de plomería, incluso a gran escala, con un coste reducido y facilidad de uso.

Captura acústica y análisis de señales de fluido en una tubería

10 Existe una gran necesidad de sensores de flujo que sean simples, de bajo coste, no invasivos y fáciles de instalar. La mayoría de los medidores de flujo convencionales requieren contacto físico con el fluido, lo cual en general requiere la instalación de un plomero profesional. Los sensores de flujo sin contacto (o no invasivos) se han comercializado utilizando sensores acústicos. Los dispositivos de medición de flujo acústico existentes utilizan técnicas activas, ya sea con análisis Doppler o mediante análisis diferencial de tiempo de vuelo. Estos enfoques requieren una  
 15 combinación de transductores acústicos y uno o más sensores acústicos. Actualmente, para mantener a fondo la vigilancia de la integridad del sistema de agua en una casa o edificio, se necesita una pluralidad de estos dispositivos sensores de flujo, al menos uno de los cuales se observa por ramificación; sin embargo, el coste de los sensores de flujo múltiple puede tener un coste prohibitivo. Las técnicas actuales se centran en proporcionar información precisa del caudal en la tubería local y, por lo tanto, utilizan técnicas más complejas, posiblemente intrusivas y mecánicas, y costosas. Los sensores de flujo fáciles de instalar y operar son infrecuentes. La mayoría no están habilitados con baterías y tampoco tienen medios simples para conectarse a un enlace de comunicación. El proceso de instalación de los sensores de corriente incluye la conexión física del(os) sensor(es), la conexión del(os) sensor(es) a una fuente de alimentación y el suministro de un enlace de comunicación. Una solución alimentada por batería (inalámbrica) tendría una gran ventaja a este respecto, ya que las tomas de corriente eléctrica no siempre están cerca de las ubicaciones de montaje del sensor deseadas. Para maximizar la vida útil de dicho dispositivo, se debe prestar mucha atención al  
 20 uso de la energía eléctrica.

Otra característica común a los sensores de flujo disponibles en el mercado es que están diseñados para funcionar de forma aislada. Si bien un sensor de flujo puede estar diseñado específicamente para su uso en un sistema con otros sensores de flujo, cada sensor funciona como un dispositivo independiente, diseñado para determinar con  
 30 precisión solo el caudal de la tubería a la cual está conectado. La recopilación de información de múltiples sensores sobre un sistema de tuberías complejo no es posible con los sistemas disponibles actualmente.

En la presente divulgación, un sistema de monitorización de flujo tiene un coste y conectividad que permite el despliegue de una pequeña flota de sensores en cada sitio, a la vez que mantiene la suficiente precisión para el usuario. Las unidades de sensores individuales utilizadas en este sistema no son invasivas y funcionan con batería, con una vida útil prolongada con una sola carga de batería. Las unidades de sensor están configuradas para ser programadas de manera adaptativa para mejorar los parámetros de rendimiento del sistema. Estos parámetros pueden incluir la vida útil de la batería, la sensibilidad acústica, la localización de fugas y la tasa de falsas alarmas. La programación adaptativa del sistema de monitorización de flujo de fluidos puede realizarse mediante un sistema de análisis alojado con al menos una unidad central de procesamiento.

40 La Figura 1 proporciona una vista en corte de una realización de un dispositivo 100 sensor representativo, el cual es una pequeña placa electrónica y un sensor que está acoplado acústicamente a una tubería y encerrado dentro de un alojamiento de bajo coste. La tubería 101 es la tubería que se está monitorizando. El dispositivo 100 sensor de flujo incluye un alojamiento 102 del dispositivo, el cual puede estar hecho de un material conforme, y una correa 103 con una abrazadera para el montaje. La correa 103 es integral al alojamiento 102 para fijar el dispositivo a la tubería 101.  
 45 El corte 104 expone el paquete 105 de instrumentos, el cual se describe con más detalle en la vista 110 detallada. En esta realización, el paquete 105 de instrumentos incluye un sensor 106 acústico, un microcontrolador 107 para el sensor 106 acústico, la batería 108 para alimentar el paquete 105 de instrumentos y una placa 109 de circuito impreso u otros medios de montaje para el paquete 105 de instrumentos. En esta realización, el microcontrolador 107 incluye comunicación inalámbrica integrada y un convertidor de analógico a digital, aunque son posibles otras configuraciones.  
 50 La batería 108 puede o no ser recargable. El paquete 105 puede o no permitir el reemplazo de la batería. El diseño con la menor carga de mantenimiento para el usuario final tendrá una larga vida útil (por ejemplo, de 3 a 5 años) con una sola carga de batería. El dispositivo 100 acopla acústicamente el sensor 106, tal como un acelerómetro o un micrófono, a la pared de una tubería que lleva un fluido. El micrófono puede ser, por ejemplo, una pieza de material piezoeléctrico íntimamente conectado o un dispositivo de sistema micro electromecánico íntimamente conectado (MEMS). El sensor 106 puede ser estándar o hecho a medida. El dispositivo 100 registra la señal acústica causada por el fluido que fluye y los accesorios asociados (fregaderos, inodoros, duchas, lavavajillas, rociadores, etc.). También registrará la acústica cuando no haya fluido en ejecución, como una referencia. En una realización, los valores de referencia pueden basarse en tomar muestras en momentos de alta probabilidad de que no haya flujo de fluido, por ejemplo, en horas de la noche.

Se desea una vida útil prolongada de la batería, por ejemplo 2 años o más, pero la capacidad de la batería se ve limitada por consideraciones de tamaño y coste. Las baterías de celda de moneda son una opción compacta y de bajo coste. Estas baterías normalmente funcionan entre 1.8V y 3V y tienen una capacidad limitada. Por ejemplo, una batería común es la Panasonic CR2025, con salida de 3V y capacidad de 165mAh. Hay muchas otras opciones de batería disponibles, pero las consideraciones de tamaño y coste favorecen a las baterías con una capacidad relativamente pequeña (por ejemplo, <1000mAh). La vida útil deseada de la batería se debe obtener a través de la selección de los componentes adecuados de baja potencia, especialmente el micrófono, el amplificador, el convertidor analógico a digital, el microcontrolador y los chips de comunicación.

Los micrófonos y acelerómetros que están diseñados para muchas aplicaciones en productos de consumo, tal como los teléfonos móviles, son particularmente apropiados para su uso en los dispositivos de detección acústica actuales debido a su bajo consumo de energía y tamaño compacto (por ejemplo, <10 mm de longitud y anchura, <5mm de espesor). Un ejemplo es el acelerómetro ADXL335 de Analog Devices, el cual es de 4 mm x 4 mm x 1,45 mm, incluye un amplificador incorporado, puede funcionar a voltajes de hasta 1.8 V y tiene un consumo de corriente típico de 300 microamperios. Sin embargo, incluso este dispositivo de bajo consumo de energía requiere una optimización adicional del sistema para lograr una larga duración de la batería. Si el acelerómetro se monitorizará continuamente a 300 microamperios, la capacidad total de la batería se usaría dentro de los 21 días. Esto aún no incluye la potencia necesaria para almacenar y transmitir los datos.

De forma similar, los elementos de conversión y micro procesamiento analógico a digital están limitados por consideraciones de potencia. El convertidor analógico a digital (ADC) puede ser un componente discreto o puede estar incluido en el microcontrolador o en el dispositivo de detección acústica. En cualquier caso, el consumo de corriente para el ADC será típicamente de 30 microamperios o más, para frecuencias de muestreo en el rango acústico (por ejemplo, 400 a 10,000 muestras/segundo). A través de la programación especializada de los métodos actuales, el microcontrolador debe limitar el tiempo activo para las lecturas del sensor del micrófono o del acelerómetro para prolongar la vida útil de la batería, y debe ser capaz de operar con una potencia significativamente reducida entre los estados activos. Un ejemplo de dicho microcontrolador es la familia MSP430 de Texas Instruments. Estos micro controladores incluyen diversos modos de operación diferentes con una potencia y funcionalidad sucesivamente reducidas. Por ejemplo, está disponible un modo de espera con un consumo de corriente típico de 1 microamperio.

El tamaño compacto del sensor es deseable para diversas aplicaciones, tal como el uso en edificios residenciales y comerciales. Los diámetros típicos de tubería están en el rango de 12 mm a 25 mm, y es deseable un sensor de dimensiones similares. La selección del micrófono compacto o el sensor del acelerómetro y la batería suelen ser los más difíciles, ya que los micro controladores pequeños y los dispositivos de comunicación inalámbricos están ampliamente disponibles. Las baterías de celda de moneda están disponibles con diámetros de 25 mm o menos. Las baterías de polímero de litio también están disponibles con una huella inferior a 25 mm y un espesor inferior a 5 mm. Los micrófonos o acelerómetros de alta sensibilidad (por ejemplo, la sensibilidad del acelerómetro >4000mV/g, o la sensibilidad del micrófono >-30dBV/Pa) en general no están disponibles en dimensiones tan pequeñas. Los acelerómetros compactos están disponibles, tal como el ADXL335 mencionado anteriormente, pero la sensibilidad es en general de 1000mV/g o menos. Al usar los micro controladores mencionados anteriormente, que permiten un consumo de energía promedio muy bajo, pueden seleccionarse estos dispositivos compactos y baterías.

La Figura 2 es un esquema de un dispositivo 200 de detección de ejemplo. El dispositivo 200 de detección incluye el sensor 210 acústico, la batería 220, el convertidor 230 analógico a digital, el microcontrolador 240 y el dispositivo 250 de comunicación. El microcontrolador 240 proporciona control local al dispositivo 200 de detección individual. El microcontrolador 240 puede o no incluir un convertidor 230 integrado analógico a digital o un dispositivo 250 de comunicación integrado. El sensor 210 acústico puede ser, por ejemplo, un micrófono o un componente piezoeléctrico como se describió anteriormente. El sensor 210 puede ser, por ejemplo, un acelerómetro con una sensibilidad inferior a 4000 mV/g, o un micrófono con una sensibilidad inferior a 30dBV/Pa. La batería 220 es un tipo compacto de baja potencia como se describió anteriormente, tal como que tiene una capacidad inferior a 1000mAh. La batería 220 proporciona energía al microcontrolador 240 directamente o a través de un circuito de acondicionamiento de energía. El sensor 210 acústico, el convertidor 230 analógico a digital y el dispositivo 250 de comunicación también reciben energía de la batería 220 directamente, a través de circuitos de acondicionamiento de energía o del microcontrolador 240. El microcontrolador 240 lee la señal acústica del sensor 210 acústico directamente o indirectamente. La medición directa puede ser analógica, lectura en un convertidor analógico a digital integrado en el microcontrolador 240, o digital, lectura a partir de un convertidor analógico a digital integrado en el sensor. La medición indirecta puede ser analógica, donde la señal del sensor 210 acústico pasa primero a través de circuitos de acondicionamiento de señal analógica, o digital, donde la señal del sensor 210 acústico pasa a través de un convertidor externo analógico a digital. El microcontrolador 240 envía y recibe información a través del dispositivo 250 de comunicaciones.

El sensor de la presente divulgación está diseñado para ser instalado en la tubería sin el uso de herramientas, de tal manera que se adjunte y se separe de la tubería de manera eficiente. Para este propósito, el alojamiento (por ejemplo, el alojamiento 102 de la Figura 1) se puede construir de materiales conformes, por ejemplo, un caucho o plástico de bajo durómetro. El material conforme se adapta a una diversidad de tamaños de tubería a la vez que mantiene el contacto acústico. Puede haber una correa o abrazadera integral que se utilizará para fijar el dispositivo. Alternativamente, el dispositivo puede estar unido a la tubería con, por ejemplo, un adhesivo tal como un adhesivo sensible a la presión. La operación de colocar el dispositivo puede energizarlo por primera vez. Esto se puede hacer

tirando de una pestaña en la superficie de detección del dispositivo, haciendo que la tensión de la correa haga que se cierre un interruptor, o por diversas otras técnicas conocidas en la técnica. En algunas realizaciones, el ensamblaje puede contener una combinación de batería/puerta de hardware/correa de conexión. En otras realizaciones, el conjunto puede ser un dispositivo único, completamente encapsulado.

- 5 Después de su colocación, el dispositivo determinará su estado y luego buscará la red inalámbrica que, a través de una estación base, se conecta a una red de comunicaciones disponible, en general con base en Wi-Fi. Para ayudar en la instalación, una aplicación que se ejecute en un dispositivo portátil se registrará cuando el dispositivo se conecte e informará del estado.

- 10 Este dispositivo sensor forma parte de un sistema económico, robusto y de fácil despliegue para proteger los edificios contra los daños causados por fugas de fluidos. Este permite la estimación de caudales en un sistema de tuberías sin intrusión en la tubería y sin el uso de componentes de alta potencia. Este proporciona la información necesaria para estimar el flujo y proteger el edificio. Además, el sensor proporciona información transitoria sobre el cambio de los caudales dentro de un sistema de tuberías que contienen tuberías interconectadas que transportan fluidos.

- 15 El dispositivo puede o no reducir el conjunto de datos ejecutando algoritmos diseñados para rechazar datos no significativos. Este algoritmo puede ser, por ejemplo, un filtro de paso de banda o múltiples filtros de paso de banda que rechazan las frecuencias acústicas que no proporcionan información sobre el caudal o dar información redundante. El procesamiento local se realizará cuando se obtenga una precisión del sensor o sensibilidad mejoradas, un menor consumo de energía (y una mayor duración de la batería) o una mayor potencia de la señal de comunicaciones.

- 20 La Figura 3 ilustra una red 300 de comunicaciones de ejemplo en la cual un primer dispositivo 301 sensor está montado en una tubería, y un segundo dispositivo 302 sensor está montado en otra tubería dentro del mismo sistema de tuberías. Para una monitorización completa del sistema de tuberías, los dispositivos pueden ubicarse en todo el sistema de manera que sus regiones de cobertura se superpongan, aunque esto no es necesario para que se presten servicios útiles. La capacidad de programación de los sensores en la presente divulgación y los algoritmos de aprendizaje del sistema de análisis en la presente divulgación permiten una amplia flexibilidad en la separación entre sensores, simplificando el proceso de instalación. Por ejemplo, el espacio entre sensores puede ser de 2 m en una parte del sistema y de 6 m en otra parte del sistema. Una vez que el sistema ha aprendido la firma característica, por ejemplo, las amplitudes relativas y los espectros de frecuencia en cada sensor, de un evento de uso de fluido (por ejemplo, la descarga del inodoro), los sensores individuales pueden programarse para mejorar la respuesta a eventos futuros, por ejemplo con un umbral de activación diferente. Otros componentes del sistema pueden incluir la estación 303 base (opcional) con el nodo raíz de la red de malla, el enrutador 304 de la red de área local inalámbrica (por ejemplo, Wi-Fi) y la conexión 305 a Internet. En otras realizaciones, las conexiones pueden ser por cable o hechas a través de teléfono celular. Las flechas 306 y 307 indican una conexión de malla inalámbrica, autoconfigurable, por ejemplo, conforme al estándar Zigbee. También son posibles otras arquitecturas de comunicación inalámbrica, tal como estrella, y punto a multipunto. La flecha 308 indica una conexión Wi-Fi, por ejemplo, conforme al estándar 802.11. Esta red es bidireccional, por lo que se puede ordenar al dispositivo a partir de la estación base que, por ejemplo, tome un conjunto de muestras, acepte nuevos algoritmos, acepte software actualizado, suministre datos sin procesar, en bruto, proporcione la condición de la batería, información sobre el estado del dispositivo, etc. Las funciones de la estación 303 base, en algunas realizaciones, pueden proporcionarse en su lugar por el software en el edificio al que se está prestando servicio, o en una red en la nube (remota), o ubicada en otro lugar. También son posibles otros ordenadores y hardware periférico distintos de los descritos explícitamente aquí.

- 45 El presente sistema utiliza la llegada de sensores de bajo coste, conectividad inalámbrica y procesadores altamente integrados, potentes y económicos para reducir costes. Gran parte del procesamiento de la señal puede comprometerse con el software que se ejecuta en ubicaciones remotas. Los sensores y procesadores en sí mismos, dirigidos al mercado de teléfonos inteligentes, entre otros, son muy asequibles. El dispositivo tiene unos medios de conexión sencillos que no requieren herramientas, lo que facilita la instalación. Además, el dispositivo tiene una fuente de alimentación autónoma que puede durar diversos años y se puede conectar automáticamente a un sistema de comunicaciones inalámbricas sin la interacción del usuario.

- 50 La vida útil se maximiza mediante el uso de sensores, procesadores y hardware de comunicaciones inalámbricas relativamente nuevos y de baja potencia, muchos de los cuales se han desarrollado para aplicaciones remotas de bajo mantenimiento. Estos dispositivos suelen tener ciclos de trabajo muy bajos, lo que significa que permanecen inactivos durante más tiempo que cuando recopilan datos, los procesan o comunican de forma activa. Por ejemplo, un dispositivo sensor dado puede activarse una vez cada 10 segundos y recopilar datos por solo 100 milisegundos, lo que corresponde a un ciclo de trabajo del 1%. Esto reduce en gran medida el consumo de energía promedio en relación con un dispositivo que está encendido la mayor parte del tiempo. El procesador puede configurarse para realizar la reducción de datos y transmitir solo la información apropiada. Puede operar adaptativamente los sensores para minimizar la pérdida de datos y reducir el consumo de energía. El ordenador y el hardware periférico en el sistema pueden, por ejemplo, usarse para minimizar el uso de la batería aprendiendo a estimar la probabilidad de la presencia de una señal acústica a lo largo del tiempo, a comprimir los datos y permitir una baja transmisión de ancho de banda, a priorizar los datos, para sincronizarse con un reloj maestro, y/o para transmitir datos acústicos sincronizados con el reloj maestro. El ciclo de trabajo puede, por ejemplo, ser mucho más bajo durante los períodos de inactividad esperada

en el sistema de tuberías. El análisis de datos clave y las decisiones pueden ser tomadas por un procesador centralizado.

Sistema de análisis de datos

5 Ahora se debe describir un sistema de análisis de datos para monitorizar la integridad de un sistema de tuberías y equipo adjunto en un edificio o embarcación. Actualmente, para comprender el flujo de fluidos dentro de las ramificaciones de un sistema de tuberías, se deben montar sensores de flujo individuales a lo largo de cada ramificación. Las limitaciones de estas técnicas actuales incluyen la necesidad de múltiples sensores y la incapacidad de determinar cualquier otro problema que no sea el que afecta a la medición de flujo. Es decir, los cambios acústicos en la propia red de tuberías no serán registrados. Además, aunque estos sistemas proporcionan lecturas precisas de caudal, para algunas aplicaciones la precisión absoluta puede no ser tan crítica.

15 En la presente metodología, los datos de múltiples sensores en un sistema de tuberías se utilizan para aprender sobre el caudal de fluido y los posibles problemas con el flujo. En algunas realizaciones, el sistema de análisis toma datos dependientes del tiempo de múltiples sensores de diversos tipos, por ejemplo, caudal, temperatura, presión y firma acústica. El análisis de múltiples flujos de datos puede generar confianza en las decisiones sobre la integridad del sistema bajo vigilancia. Los sensores no necesariamente deben montarse en cada ramificación de la tubería, ya que las tuberías funcionan como guías de onda acústicas y, en general, se generará una combinación única de firmas acústicas de cada sensor para cada combinación de flujo diferente. El análisis de estas firmas debe ser suficiente para determinar la(s) ramificación(es) con agua que fluye. Estas firmas a menudo incluirán el tiempo relativo del inicio de la recepción de la señal, para cada señal diferente, así como las amplitudes relativas de la señal en cada sensor que detecta una señal.

20 Las firmas para el fluido que fluye en una tubería incluyen: (a) El "sonido" mecánico de cada sección de la tubería cuando se inicia, se apaga el flujo, o cuando pasa una cantidad de aire arrastrado. Este sonido se puede usar para reafirmar la identidad de la tubería que lleva el agua; (b) Vibraciones inducidas por el flujo de fluido no laminar dentro de las tuberías; (c) Vibraciones causadas por fugas, donde la cavitación y otros comportamientos turbulentos causan ruido de mayor frecuencia; y (d) Señales de largo período causadas por fugas muy lentas que dan como resultado la formación y liberación de gotas pequeñas. También hay otras razones para que una firma acústica sea generada por el fluido que fluye en una tubería, como se sabría por alguien versado en la técnica.

25 Se puede agregar mucha información cuantitativa a la técnica de análisis anterior combinando datos externos de un dispositivo de medición del caudal preciso en el extremo de entrada del sistema de tuberías al conjunto de datos de los sensores múltiples para formar un conjunto de datos del sistema. Más dispositivos de medición de caudal facilitarán la determinación, pero no son estrictamente necesarios. El proceso de estimación de los caudales con una mayor precisión implica un algoritmo de aprendizaje que reconoce combinaciones únicas de firmas acústicas del conjunto de sensores, lo correlaciona con un caudal medido por el(los) dispositivo(s) de medición preciso(s) y refina continuamente la actividad de correlación. Opcionalmente, el proceso puede ejecutar un programa de aprendizaje que guía al propietario a través de un proceso de primer reconocimiento de los distintos dispositivos en el sistema de tuberías. Este programa le pedirá al usuario que identifique los dispositivos operativos en un orden diseñado para maximizar el proceso de aprendizaje. Este proceso se puede implementar convenientemente en un dispositivo móvil u otro sistema de computación portátil tal como una tableta u ordenador portátil.

30 Una vez que se ha determinado una determinación razonable de combinaciones de firmas y flujos, con o sin datos externos de un dispositivo de medición de caudal preciso, se pueden analizar eventos de firma anómalos para dar una estimación de un problema de flujo, por ejemplo, una ruptura o tubo detenido, o incluso un tubo que se ha soltado de la pared. El proceso de conversión de señales acústicas a información de flujo puede ser muy intensivo en computación, por lo que debe llevarse a cabo donde la capacidad de computación y la energía eléctrica sean económicas, por ejemplo, en la nube.

35 Las realizaciones de la metodología pueden incluir un análisis adaptativo a lo largo del tiempo que permite la detección de fugas muy pequeñas y reduce el consumo de energía al adaptar el sensor y el uso de procesamiento (ciclo de trabajo). El análisis puede incluir coincidencias de patrones con firmas almacenadas, donde las firmas pueden incluir, por ejemplo, información temporal y meteorológica, información espectral filtrada y firmas que se "aprenden" a través de la información del usuario (por ejemplo, el inodoro se descargó). El análisis puede incluir el uso de datos sobre la antigüedad y el tipo de tubería, y/o la antigüedad y el tipo del equipo. El análisis adaptativo a lo largo del tiempo permite que el sistema advierta sobre las necesidades de mantenimiento de los equipos conectados. Por lo tanto, el sistema de datos aprende las firmas características de un sistema de tuberías y equipos adjuntos en un edificio. Además, el sistema de datos puede incluir datos externos, los cuales pueden incluir elementos de mediciones y pronósticos del clima, información sobre el sistema de tuberías e información de un medidor de flujo conectado al sistema de tuberías.

40 La sensibilidad del sistema puede mejorarse con respecto a la sensibilidad individual del sensor utilizando las señales combinadas de una pluralidad de sensores. Por ejemplo, el procesador central puede identificar un rango o rangos de frecuencia acústica específicos activos durante un evento de flujo de fluido específico con base en los datos de uno de los sensores, por ejemplo, el más cercano al dispositivo en uso o el más cercano a la ubicación de la fuga. El procesador puede ajustar otros sensores para enfocar un subconjunto de frecuencias acústicas activas las cuales

5 reducirán la relación señal a ruido para cada sensor. La combinación de estas señales proporciona información más completa al procesador central y, por lo tanto, una mejor sensibilidad y precisión que un sensor individual. Por lo tanto, un componente de procesamiento que está en comunicación con una pluralidad de dispositivos de detección es capaz de realizar análisis en datos capturados de los dispositivos de detección, donde una sensibilidad de detección de fugas del sistema y/o precisión analizada por el componente de procesamiento es mayor que una sensibilidad de detección de fugas y/o precisión de los dispositivos sensores.

10 Por lo tanto, los sensores programables pueden usarse para mejorar aún más el rendimiento del sistema. En algunas realizaciones, los sensores pueden ser programables para mejorar la sensibilidad de la detección de fugas; es decir, identificación de fugas en un sistema de tuberías. Por ejemplo, las fugas producen señales acústicas con perfiles diferentes a los del uso convencional de fluidos, que a menudo incluyen componentes de mayor frecuencia. En otras realizaciones, los sensores pueden ser alimentados por batería, y pueden ser programables para aumentar el tiempo de funcionamiento de la batería. Por ejemplo, el ciclo de trabajo de un sensor puede reducirse durante períodos prolongados de bajo flujo de fluido, tal como la noche o cuando el edificio está desocupado. Como otro ejemplo, la potencia del transmisor inalámbrico puede reducirse si el receptor asociado detecta una potencia de señal suficiente. 15 La capacidad de programación puede incluir que los sensores sean dirigidos al menos parcialmente por instrucciones de una unidad central de procesamiento. En aún otras realizaciones, la capacidad de programación incluye seleccionar ciertos periodos de tiempo para grabar y procesar señales, y ciertos periodos de tiempo para adoptar un modo de inactividad de baja potencia. Por ejemplo, los períodos de tiempo pueden incluir la selección de tiempos de alto flujo de fluido y tiempos de flujo de fluido despreciable. La localización de fugas se puede mejorar, por ejemplo, programando los rangos de frecuencia para los sensores próximos a la fuga de fluido, de acuerdo a lo que se determina por la intensidad de sus señales acústicas generales. Se puede comparar la amplitud de las señales en frecuencias específicas, tales como las frecuencias que el sistema asocia con la fuga, de los sensores proximales. Debido a que las ondas acústicas en diferentes frecuencias se atenúan a diferentes velocidades a lo largo de la tubería, se puede estimar la ubicación de la fuga con respecto a los sensores proximales.

25 Las falsas tasas de alarma pueden mejorarse programando sensores con diferentes umbrales de alarma. Como el sistema recibe una notificación de falsas alarmas, se pueden ajustar los umbrales para sensores individuales. Por ejemplo, los sensores cercanos a aparatos que generan un fuerte ruido acústico (por ejemplo, lavadoras) pueden tener umbrales de alarma aumentados.

30 La metodología de análisis puede utilizar recursos informáticos alejados de un edificio o edificios con sensores en la red. La metodología incluye código de software que incorpora las diversas ideas enumeradas anteriormente. La metodología incluye comunicaciones con los sensores (los cuales pueden cambiar la ubicación, el número o el tipo a lo largo del tiempo) de acuerdo con un cronograma, o que también pueden ser impulsados por eventos. Por ejemplo, el proceso puede consultar la matriz de sensores con más frecuencia en una tormenta local a los edificios de interés. La metodología puede mantener los sensores, asegurándose de que tengan el software más reciente y realizando 35 consultas sobre el estado de su batería y otras características de salud observables. De acuerdo con un cronograma, la metodología puede comunicar a las partes que designan los propietarios de la red de sensores o edificios, con un informe que indica el estado del sistema de sensores y el sistema de tuberías y, opcionalmente, estadísticas de uso de fluidos. La metodología se comunicará con las partes designadas siempre que exista un problema sospechoso. La acción dependerá de la gravedad del problema. También puede ordenar a una o más válvulas opcionales que cierren y apaguen el suministro de fluido. La metodología permite una protección económica, robusta y de fácil despliegue para los edificios contra los daños causados por el fluido filtrado. 40

45 En una realización, el software de gestión que se ejecuta en una unidad de procesamiento centralizada está en comunicación con una pluralidad de sensores. En otras realizaciones, el software de administración puede ejecutarse en un conjunto distribuido de unidades de procesamiento. Esta distribución podría ser, pero no se limita a: 1) unidades de procesamiento que ejecutan código idéntico en diferentes áreas geográficas, cada una con un conjunto local de sensores para supervisar; o 2) código distribuido que se ejecuta en los sensores, una estación base en cada casa y una unidad o unidades centrales de procesamiento, la combinación de todas las capaces de llevar a cabo las funciones aquí definidas.

50 En algunas realizaciones, el sistema incluye una aplicación móvil, la cual puede usarse para indicar qué equipo está funcionando, o para almacenar datos sobre la posición y condición del sensor (por ejemplo, fotografías). En otras realizaciones, el sistema incluye dispositivos para transmitir datos a una base de datos central, realizar análisis en esta base de datos central y transmitir los resultados al campo. El análisis puede incluir métodos para comparar la firma de un edificio en particular y los datos del equipo con los de otros edificios, para comprender mejor los posibles mecanismos de falla y las firmas.

55 La Figura 4 ilustra un diagrama 400 de flujo que representa la operación de un sensor en un sistema de detección acústica, en una realización. Aunque solo se describe un sensor, debe entenderse que el sensor puede ser uno de una pluralidad de sensores acoplados a un sistema de tuberías. Primero se proporciona un dispositivo de detección, donde el sensor comienza en un estado 410 inicial. El dispositivo de detección incluye un sensor acústico (por ejemplo, un micrófono o acelerómetro), un convertidor de analógico a digital y un microcontrolador local. La configuración del estado del sensor puede incluir modos de microcontrolador, rango(s) de frecuencia acústica, frecuencia de muestreo, ganancia del amplificador, rango dinámico ADC, tiempo de activación, umbral(es) de activación u otros ajustes. En la 60

5 etapa 420, el sensor informa a un controlador para el sistema. Es decir, los datos se recopilan de los dispositivos de detección en el sistema. La información reportada por el sensor puede incluir datos del micrófono o del acelerómetro (procesados o no procesados), condición de la batería, condición del enlace inalámbrico, alarmas, temperatura, niveles de revisión del software u otra información del estado del sensor. El controlador puede recibir los datos 430, tales como datos externos que incluyen elementos de mediciones y pronósticos del clima, información sobre el sistema de tuberías e información de un medidor de flujo conectado al sistema de tuberías.

10 En la etapa 440, el controlador del sistema analiza los datos utilizando algoritmos de aprendizaje para mejorar la precisión y la integridad de la información sobre la distribución de los caudales. Por ejemplo, el controlador puede ser un sistema de análisis que compara firmas acústicas procesadas con plantillas almacenadas y datos históricos. A los fines de esta divulgación, también se puede hacer referencia al controlador como un componente de procesamiento, una unidad de procesamiento centralizada o un controlador central. Las señales acústicas del flujo de fluido normal o previsto, como la descarga de un inodoro, pueden diferenciarse de manera más efectiva de las fugas u otro flujo de fluido no deseado. Como otro ejemplo, el sistema de análisis puede alterar los parámetros en los dispositivos de detección de acuerdo con los resultados de las comparaciones de firmas acústicas procesadas con las plantillas almacenadas y los datos históricos. Como otro ejemplo, el sistema puede alterar los parámetros en los dispositivos de detección en función de las características acústicas proximales a los sensores. Si el sistema recibe una señal relativamente clara de flujo de fluido de un sensor, el sistema puede ajustar otros parámetros del sensor en función de las frecuencias recibidas del primer sensor. Como otro ejemplo, el sistema puede alterar los parámetros en los dispositivos de detección con base en los análisis del funcionamiento de otros sistemas de tuberías con instrumentos similares. El sistema puede, por ejemplo, aprender la firma acústica de ciertos aparatos conectados al sistema de tuberías, como inodoros y duchas, de otras instalaciones con aparatos similares y construcción de tuberías. En algunas realizaciones, los algoritmos de aprendizaje pueden operar en datos imprecisos e incompletos. Por ejemplo, a los datos les pueden faltar señales de los sensores que se eliminaron, no funcionan, no están instalados o están demasiado lejos de los eventos de flujo de fluidos para detectar un evento determinado. Los datos imprecisos pueden incluir casos en donde una fuga real se clasificó erróneamente como una falsa alarma. Los algoritmos de aprendizaje pueden emplear, por ejemplo, máquinas de vectores de soporte que pueden ser robustas contra datos imprecisos e incompletos. En otras realizaciones, los algoritmos de aprendizaje están específicamente capacitados para las características del sistema de tuberías, características tales como la descarga del inodoro o la ducha y la activación y desactivación de agua fría y/o caliente. El sistema puede, por ejemplo, incluir una interfaz de entrenamiento que instruya al usuario a realizar una actividad específica (por ejemplo, encender el agua caliente de la ducha). De esta manera, las firmas de señales de los sensores pueden asociarse de manera concluyente con eventos específicos de flujo de fluidos. La recopilación y análisis de datos en las etapas 420 y 440 se puede realizar en un procesador de hardware de ordenador.

35 Los parámetros recibidos a partir del controlador en la etapa 450 pueden incluir rango(s) de frecuencia acústica, frecuencia de muestreo, ganancia del amplificador, rango dinámico ADC, tiempo de activación, umbral(es) de activación u otros ajustes. Después de recibir las configuraciones del controlador, el sensor ahora se encuentra en un estado 460 modificado en el cual, por ejemplo, ha ajustado su tiempo de activación para reducir el consumo de energía o se han modificado los parámetros de su sensor para mejorar el rendimiento general del sistema. El sensor continuará reportando datos al controlador, como se muestra en la etapa 420. Con el tiempo, este bucle se puede repetir con base en los datos del sensor y los datos 430 adicionales.

Aunque se han descrito componentes particulares, como ciertos tipos de batería y microcontrolador, se pueden sustituir otros componentes equivalentes que cumplan con las características de rendimiento deseadas.

45 Aunque la especificación se ha descrito en detalle con respecto a realizaciones específicas de la invención, se apreciará que los expertos en la técnica, al lograr una comprensión de lo anterior, pueden concebir fácilmente alteraciones, variaciones y equivalentes a estas realizaciones. Los expertos en la técnica pueden practicar estas y otras modificaciones y variaciones de la presente invención sin apartarse del alcance de la presente invención. Además, los expertos en la técnica apreciarán que la descripción anterior es solo a modo de ejemplo, y no pretende limitar la invención. Por lo tanto, se pretende que la presente materia cubra dichas modificaciones y variaciones. El alcance de la invención está definido por las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de detección de fugas de fluido que comprende:
- una pluralidad de dispositivos (100) de detección colocados a lo largo de un sistema de tuberías que tiene una pluralidad de ramificaciones de tuberías, cada dispositivo (100) de detección comprende:
- 5 un sensor (106) acústico, en donde el sensor acústico es capaz de detectar señales acústicas de una tubería (101) en el sistema de tuberías utilizado para transportar un fluido;
- una batería (108) conectada eléctricamente al sensor (106) acústico;
- un alojamiento (102) que contiene el sensor (106) acústico y la batería (108); y
- 10 un elemento de acoplamiento no invasivo configurado para acoplar el alojamiento (102) (i) a la tubería (101) o (ii) a una ubicación en la tubería (101);
- y
- 15 un componente de procesamiento en comunicación con la pluralidad de dispositivos (100) de detección, el componente de procesamiento configurado para realizar un análisis en combinaciones de datos de firma acústica capturados de la pluralidad de dispositivos (100) de detección, el análisis tiene una sensibilidad de detección de fugas del sistema, en donde el análisis realizado por el componente de procesamiento comprende a) identificar, a partir de un sensor en la pluralidad de sensores, un rango de frecuencia acústica que está activo durante un evento de flujo de fluido, y b) ajustar otros sensores en la pluralidad de sensores para enfocarse en un subconjunto del rango de frecuencia acústica.
2. El sistema de la reivindicación 1, en donde el sensor (106) acústico comprende un acelerómetro con una sensibilidad inferior a 4000 mV/g, o un micrófono con una sensibilidad inferior a -30 dBV/Pa.
- 20 3. El sistema de la reivindicación 1, en donde la pluralidad de dispositivos (100) de detección son programables y el análisis es adaptable para mejorar la sensibilidad de detección de fugas del sistema, en donde la capacidad de programación utiliza datos externos que son externos a un conjunto de datos de la pluralidad de dispositivos de detección.
4. El sistema de la reivindicación 3, en donde la capacidad de programación incluye seleccionar ciertos periodos de tiempo para grabar y procesar señales, y ciertos periodos de tiempo para adoptar un modo de inactividad de baja potencia.
- 25 5. El sistema de la reivindicación 4, en donde la capacidad de programación incluye la selección de tiempos de alto flujo de fluido y tiempos de flujo de fluido despreciable.
6. El sistema de la reivindicación 3, en donde la capacidad de programación está dirigida al menos parcialmente por un controlador central.
- 30 7. El sistema de la reivindicación 3, en donde los datos externos comprenden mediciones meteorológicas y pronósticos.
8. El sistema de la reivindicación 3, en donde los datos externos comprenden datos de un dispositivo de medición de caudal externo al sistema.
- 35 9. El sistema de la reivindicación 3, en donde los datos externos comprenden la antigüedad y el tipo de tubería, o la antigüedad y el tipo del equipo.
10. El sistema de la reivindicación 3, en donde los datos externos comprenden datos de otro edificio.
11. El sistema de la reivindicación 3, en donde el análisis comprende un análisis adaptativo que usa datos históricos, y en donde el análisis se usa para programar la pluralidad de dispositivos de detección a la vez que la pluralidad de dispositivos de detección están acoplados a la tubería.
- 40 12. El sistema de la reivindicación 1, en donde la pluralidad de dispositivos (100) de detección no están montados en cada ramificación de la tubería en la pluralidad de ramificaciones de tubería, y en donde el análisis en combinaciones de datos de firma acústica usa un tiempo relativo de inicio de la recepción de la señal, para cada señal diferente, así como las amplitudes relativas de la señal en cada sensor que detecta una señal, para determinar las ramificaciones en la pluralidad de ramificaciones de tubería que tienen agua que fluye.
- 45 13. El sistema de la reivindicación 1, en donde la pluralidad de dispositivos de detección es programable y el análisis es adaptable para mejorar la sensibilidad de detección de fugas del sistema, en donde la capacidad de programación utiliza una firma característica del sistema de tuberías identificado por los datos capturados de la pluralidad de dispositivos de detección.

14. El sistema de la reivindicación 1, en donde la pluralidad de dispositivos de detección es programable y el análisis es adaptable para mejorar la sensibilidad de detección de fugas del sistema, en donde la capacidad de programación utiliza los datos de firma acústica capturados de la pluralidad de dispositivos de detección.

5 15. El sistema de la reivindicación 1, en donde el análisis realizado por el componente de procesamiento comprende además: c) amplitudes relativas y espectros de frecuencia en cada sensor inducido por un evento de uso de fluido.

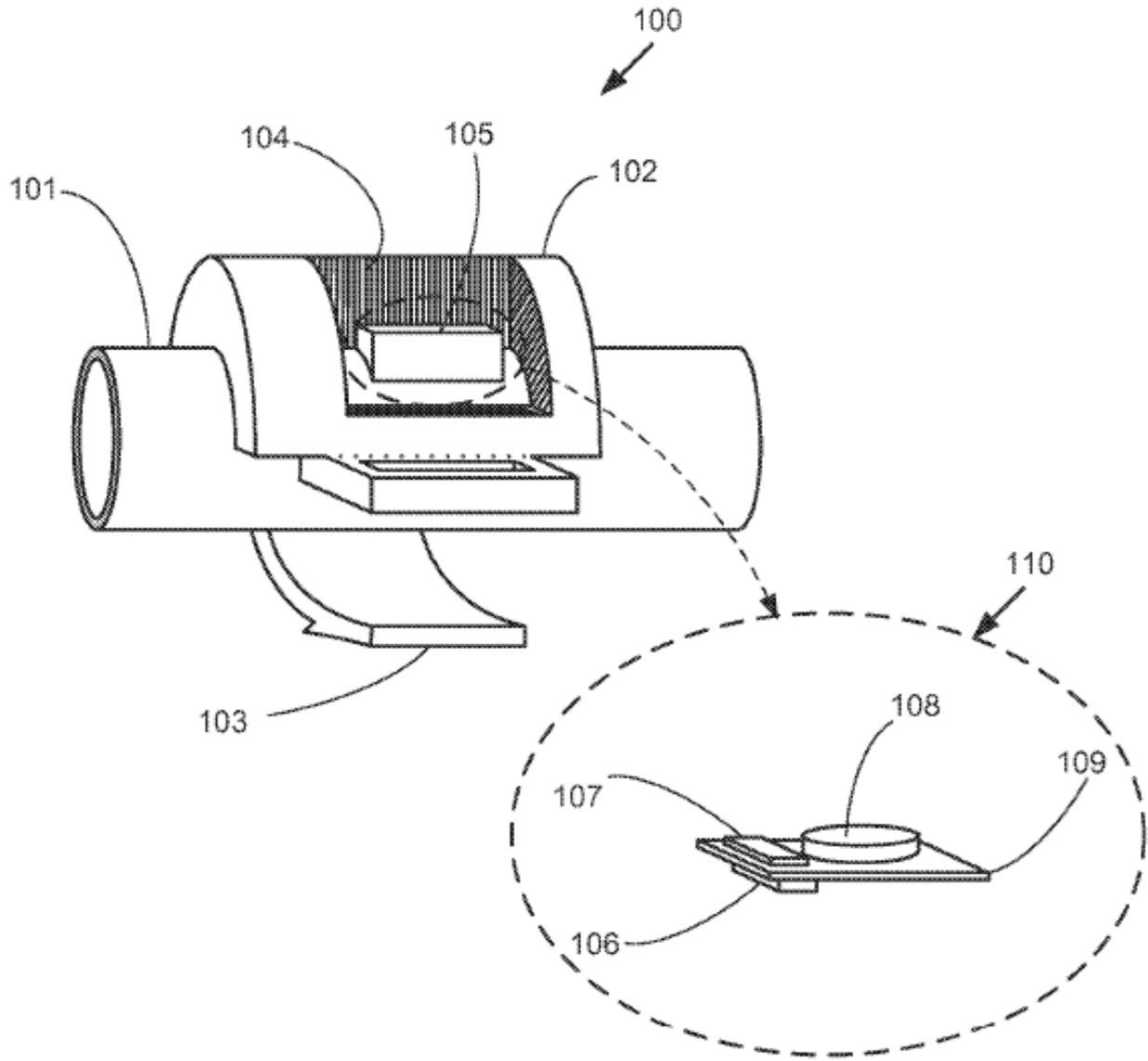


FIG. 1

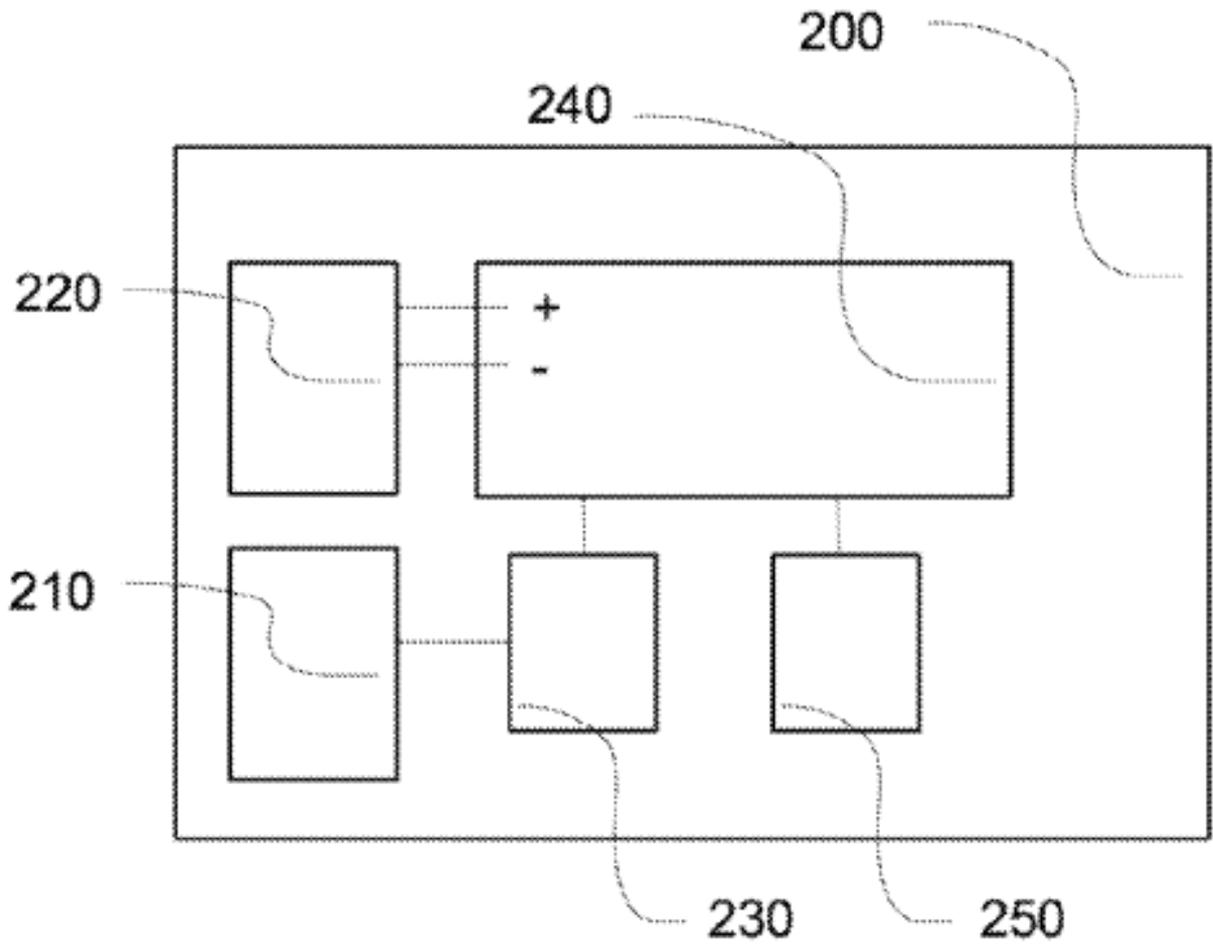


FIG. 2

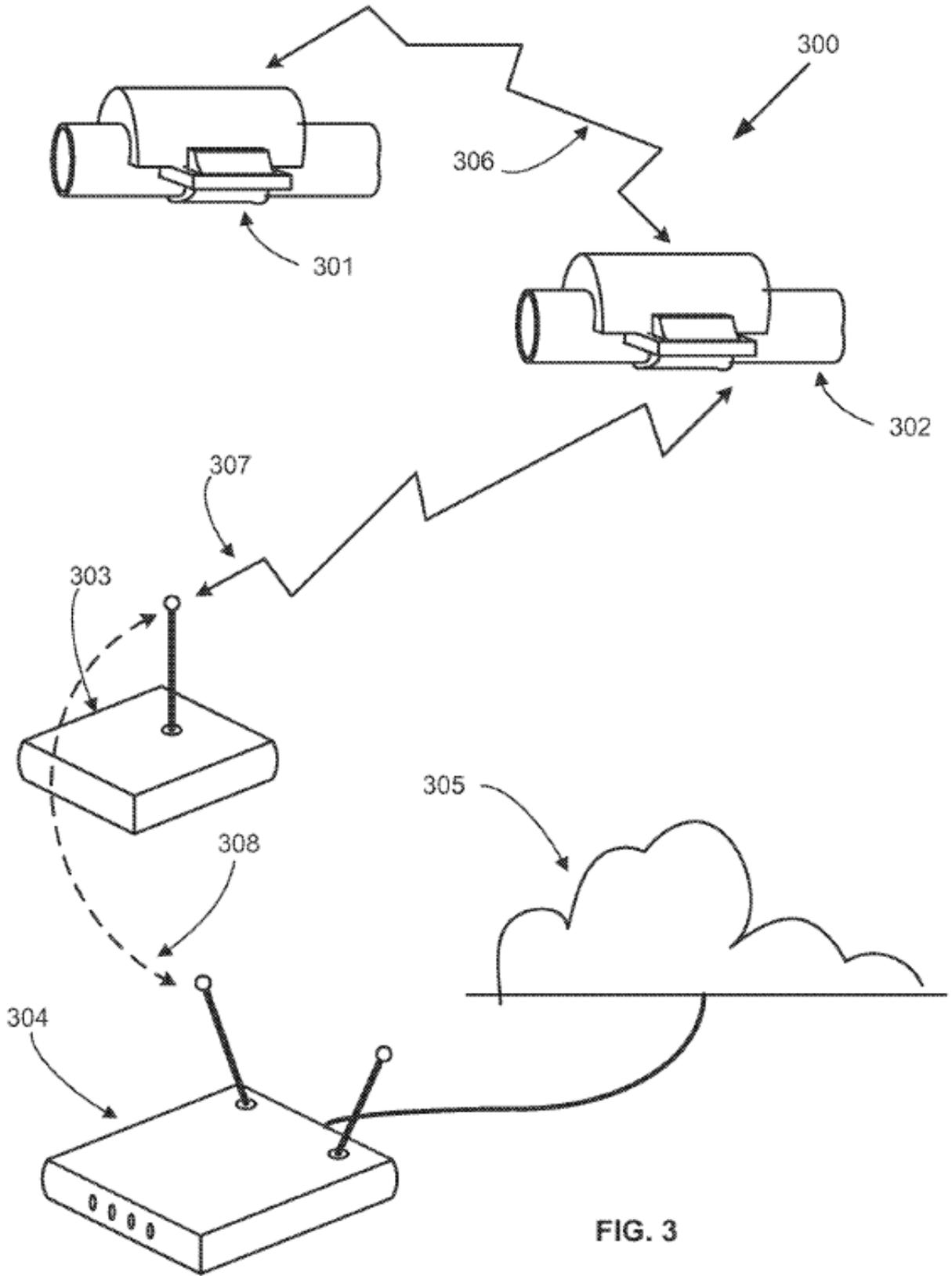


FIG. 3

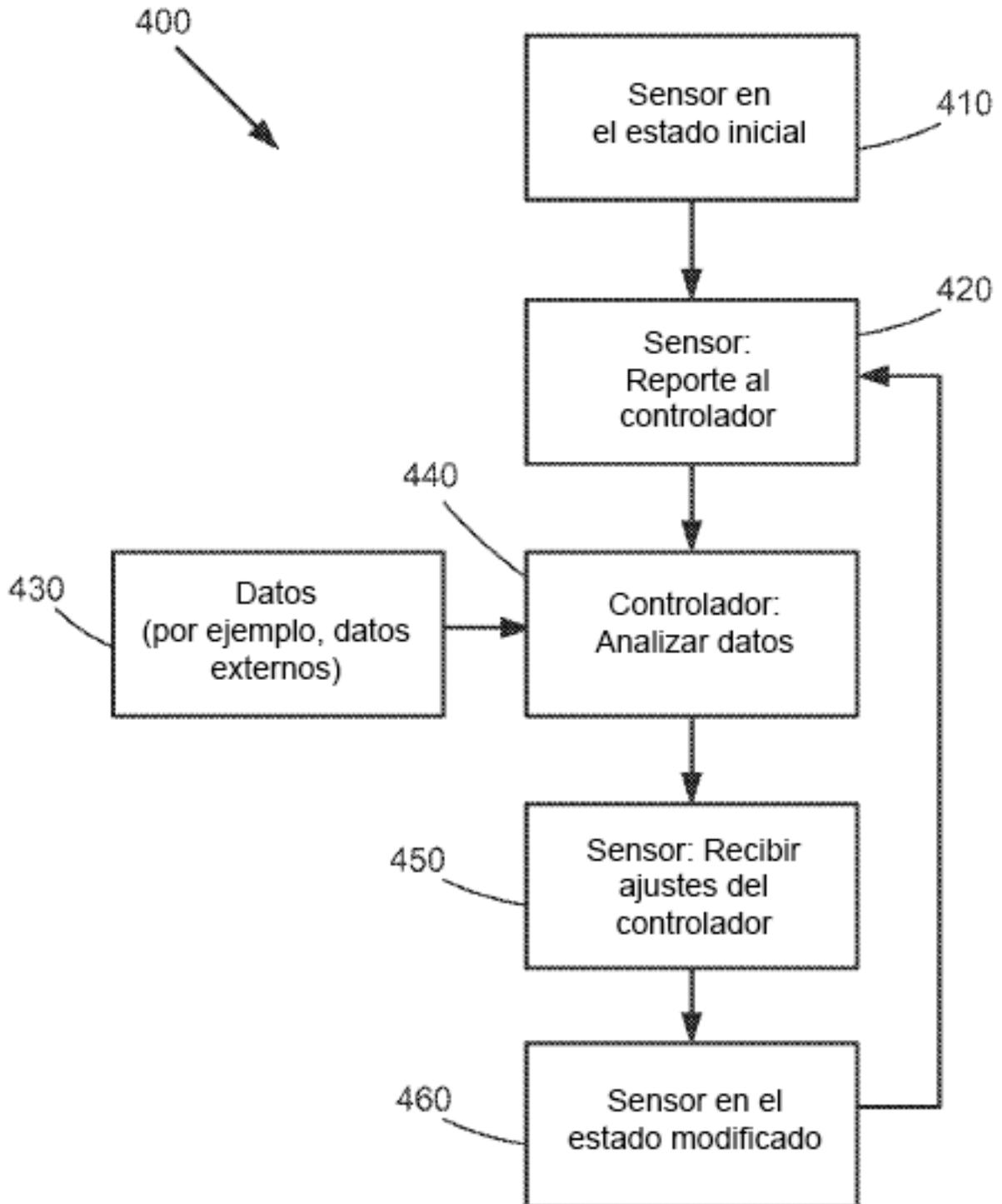


FIG. 4