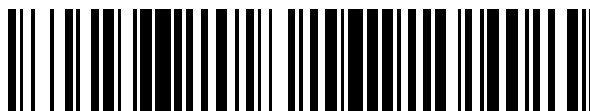


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 666 148**

51 Int. Cl.:

**G01M 3/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.10.2015 E 15188004 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.01.2018 EP 3002577**

54 Título: **Detector de vibraciones piezoeléctrico para la detección de fugas de fluidos**

30 Prioridad:

**01.10.2014 US 201414503951**

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

**03.05.2018**

73 Titular/es:

**MUELLER INTERNATIONAL, LLC (100.0%)  
1200 Abernathy Road, Suite 1200  
Atlanta, GA 30328, US**

72 Inventor/es:

**ZUSMAN, GEORGE V.**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 666 148 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

Detector de vibraciones piezoeléctrico para la detección de fugas de fluidos

### Campo técnico

5 Esta invención se refiere a detectores de vibraciones. Más concretamente, esta invención se refiere a detectores de vibraciones piezoeléctricos para la detección de fugas de fluidos.

### Antecedentes

10 Las empresas de abastecimiento de agua proporcionan agua a los abonados a través de una red de tuberías de agua. El tamaño de las tuberías puede variar con dependencia del volumen de agua que se ha proyectado de fluya a través de una sección particular de tubería. Por ejemplo, redes grandes de agua pueden proporcionar el transporte de agua a un lugar bastante alejado de la fuente de agua y el tamaño de las tuberías puede disminuir a medida que disminuyen el volumen y la distancia desde la fuente. Una preocupación de las empresas de abastecimiento de agua, así como de los propietarios y operadores de otros sistemas de transporte y distribución de fluidos, es la pérdida de fluido a través de fugas en las tuberías. No solo desperdician fluido las fugas de fluido, sino que algunas veces se pueden introducir en el sistema de fluidos contaminantes no deseados, procedentes del exterior del sistema, a través del punto de fuga.

15 Los detectores de vibraciones piezoeléctricos son un tipo de detectores de vibraciones que incluyen normalmente un cristal piezoeléctrico capaz de generar una corriente cuando el cristal es flexionado durante las vibraciones. El cristal piezoeléctrico está normalmente unido a una base del detector de vibraciones y otro cristal piezoeléctrico puede estar unido a la base de tal manera que la base esté entre los dos cristales piezoeléctricos. El detector de vibración puede incluir también más de dos cristales piezoeléctricos o más de una base. La corriente procedente del uno o más cristales piezoeléctricos durante la vibración puede ser entonces detectada para percibir las vibraciones. Los sistemas de fluidos tales como los sistemas de distribución de agua pueden vibrar cuando existe una fuga en el sistema, y un detector de vibraciones puede detectar estas vibraciones para señalar cuándo el sistema debe ser detenido, inspeccionado o tratado para reparar la fuga. Las fugas en sistemas de fluidos, en diversas condiciones y situaciones, pueden producir diferentes vibraciones en diferentes intervalos de frecuencias, requiriendo detectores de vibraciones unidos a los sistemas para ser calibrados para que respondan apropiadamente durante un intervalo de frecuencias deseado que indicaría una fuga para un sistema particular en una situación particular. En algunas situaciones, las fugas en un sistema de fluido caen dentro de un intervalo de frecuencias normalmente inferior al intervalo de detección de frecuencias típicamente de detectores de vibraciones piezoeléctricos. Por lo tanto, el detector de vibraciones requiere una frecuencia de resonancia específica que esté concretamente prevista para estar dentro del intervalo de frecuencias de fugas típicas del sistema de fluido específico al cual está unido el detector de vibraciones. La inversa también es cierta en algunas situaciones en las que se desea que la resonancia esté al exterior del intervalo de frecuencias medido si existe una posibilidad de amplificar el ruido ambiente o distorsionar el perfil de frecuencia. El documento FR 2 776 065 A1 describe un detector de fuerza piezoeléctrico resonante para medir fuerzas de compresión, utilizable en herramientas de máquinas, cojinetes de rodillos, etc. El detector comprende un disco circular delgado soportado por la circunferencia mediante un marco rígido, un cilindro hueco, que recibe la fuerza de compresión que se ha de medir y está unido al disco y dos elementos piezoeléctricos a cada lado del disco. El documento US 4.431.873 describe un detector acústico omnidireccional con un diafragma soportado por aire en una unidad que tiene un eje central y está montada de manera que responde a ondas de presión acústicas. El documento US 2013/0036796 A1 describe una estructura de detección de fugas para unión a una boca de incendios, que incluye un recinto que define una cavidad interna para el recito y un subconjunto de detección de fugas situado en la cavidad, incluyendo el subconjunto de detección de fugas al menos un detector para detectar de fugas y al menos un circuito.

### Compendio

45 Se describe un detector de acuerdo con la reivindicación 1.

Se describe también un método de fabricar un detector de acuerdo con la reivindicación 9.

Se describe también un método de detección de vibraciones con un detector de acuerdo con la reivindicación 12.

50 Diversas ejecuciones descritas en la presente memoria pueden incluir sistemas, métodos, características y ventajas adicionales, que pueden no estar necesariamente descritas aquí, pero que resultarán evidentes para un experto ordinario en la técnica tras el examen de la siguiente descripción detallada y de los dibujos que se acompañan. Se pretende que todos los citados sistemas, métodos, características y ventajas estén incluidos dentro de la presente invención y protegidos por las reivindicaciones adjuntas.

### Breve descripción de los dibujos

55 Las características y los componentes de las siguientes figuras se ilustran para enfatizar los principios generales de la presente invención. Correspondientes características y componentes en todas las figuras pueden estar

designados por los mismos caracteres de referencia con fines de compatibilidad y claridad.

La figura 1 es una vista desde arriba de un detector de vibraciones de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 2 es una vista lateral del detector de vibraciones mostrado en la figura 1.

5 La figura 3 es una vista inferior del detector de vibraciones mostrado en la figura 1.

La figura 4 es una vista en sección transversal del detector de vibraciones mostrado en la figura 1, tomada a lo largo de la línea 4-4 de la figura 3.

La figura 5 es una vista lateral en despiece ordenado de un detector de vibraciones de acuerdo con otra realización de la presente invención, con un separador del detector de vibraciones mostrado en sección transversal.

10 La figura 6 es una vista en sección transversal de un detector de vibraciones de acuerdo con otra realización de la presente invención y tomada a lo largo de la línea 6-6 de la figura 7 cuando el detector de vibraciones está unido a una tubería.

La figura 7 es una vista desde arriba de una base de un detector de vibraciones de acuerdo con otra realización de la presente invención.

15 La figura 8 es una vista en perspectiva del detector de vibraciones mostrado en la figura 1.

La figura 9 es un gráfico que muestra la relación entre la frecuencia de resonancia y la sensibilidad para un detector de vibraciones.

### Descripción detallada

20 Se describen un detector de vibraciones y métodos, sistemas, dispositivos y varios aparatos asociados. En diversas realizaciones, el detector de vibraciones incluye un cristal piezoeléctrico y una base que tiene una sección de unión y una primera y una segunda masas de calibración exteriores a la sección de unión. Un experto en la técnica entendería que el detector de vibraciones de la invención se describe solo en unas pocas realizaciones ejemplares entre muchas posibles. Ninguna terminología o descripción particular se ha de considerar limitativa de la invención o del alcance de las reivindicaciones resultantes de la misma.

25 El hacer mínimas las fugas en un sistema de fluido se reconoce como un factor crítico de éxito, especialmente para instalaciones de distribución de agua, en especial debido a la escasez de suministros de agua potable en algunas localidades, los costes de tratamiento de agua y los costes de distribución de agua. Muchos sistemas de tuberías municipales soportan presiones que superan algunos cientos de kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg/cm}^2$ ). Cuando se produce una fuga en un miembro de tubería, el agua que se fuga produce vibraciones a medida que pasa desde el interior del miembro de tubería al exterior. Bajo la presión del sistema de tuberías municipal, las vibraciones en el miembro de tubería pueden ser de frecuencias en el intervalo audible y pueden ser de amplitud detectable. Muchas vibraciones están comprendidas normalmente entre 0 Hz y 3000 Hz.

35 Los detectores de vibraciones de la presente invención son compatibles con todos los tipos de tuberías de distribución, incluyendo tuberías metálicas, de hormigón, de PVC y manguitos de reparación, así como válvulas y adaptadores. Por ejemplo, en varias realizaciones, el detector de vibraciones puede estar unido a una boca de incendios, red de agua, acoplamiento de tubería, válvula de compuerta, medidor, etc. Cuando se produce una fuga en un miembro de tubería, el fluido que se fuga produce normalmente vibraciones a medida que pasa desde el interior del miembro de tubería al exterior. Utilizando este dato, que es detectado por el detector de vibraciones en contacto con las tuberías de fluido, válvulas o adaptadores, se pueden detectar las fugas. La información sobre la detección de fugas puede ser comunicada al proveedor del servicio o a otra tercera parte para análisis adicional. Dependiendo del tipo de fuga, puede ser desplegado el personal de mantenimiento para inspeccionar, reparar o sustituir las tuberías, válvulas, adaptadores, conexiones u otros componentes con fugas del sistema de fluido.

40 Una realización del detector de vibraciones 100 está mostrada en la figura 1. El detector de vibraciones 100 incluye un primer cristal piezoeléctrico 102, una base 400 (mostrada en la figura 4) y un segundo cristal piezoeléctrico 302 (mostrado en la figura 3). En la presente realización, el primer cristal piezoeléctrico 102 y el segundo cristal piezoeléctrico 302 son discos formados a partir de cristales piezoeléctricos que son altamente sensibles a las alteraciones y generan una corriente eléctrica en respuesta a la flexión. En la presente realización, el material que forma los cristales piezoeléctricos 102, 302 genera por tanto una corriente en respuesta a una vibración.

50 Como se muestra en la figura 1, en varias realizaciones, la base 400 incluye una sección de unión 402 y N masas de calibración 106. Cada masa de calibración 106 está situada al exterior de la sección de unión 402 en la presente realización. En la presente realización  $N = 12$  y la base tiene doce masas de calibración 106a-l. Aunque  $N = 12$  en la presente realización, la base 400 tiene cualquier número de masas de calibración 106, al menos dos, o más masas de calibración 106. En otras varias realizaciones, N puede ser cualquier número preferido de masas de calibración.

Adicionalmente, en varias realizaciones, las masas de calibración 106 pueden estar separadas por igual y radialmente alrededor de la base 400, al exterior de la sección de unión 402, de tal manera que los ángulos entre las masas de calibración 106 pueden ser de 120°, 90°, 72°, 60°, 45°, o cualquier otro ángulo. Además, en varias realizaciones, las masas de calibración 106 pueden estar separadas asimétricamente o según ángulos variables alrededor de la base 400. Además, en varias realizaciones, la base 400 tiene N muescas o separaciones 132 entre las masas de calibración 106. En la presente realización,  $N = 12$  y la base tiene doce muescas 132a-l. Aunque  $N = 12$  en la presente realización, la base 400 puede tener cualquier número de muescas 132, incluyendo una o más muescas 132. En varias otras realizaciones, N puede ser cualquier número preferido de muescas 132. Cada masa de calibración 106 puede tener una superficie superior 108. En la presente realización, debido a que la base tiene doce masas de calibración, se describen doce superficies superiores 108a-l. En varias otras realizaciones, el número de superficies superiores 108 es el mismo número N de masas de calibración 106. En varias realizaciones, la forma, el tamaño o la situación de las masas de calibración pueden ser usados para regular la rigidez del detector 100.

Adicionalmente, en varias realizaciones, la base 400 define N muescas 132 entre las masas de calibración 106. En la presente realización,  $N = 12$  y la base tiene doce muescas 132a-l. Aunque  $N = 12$  en la presente realización, la base 400 tiene cualquier número de muescas 132, incluyendo una o más muescas 132. En diversas otras realizaciones, N puede ser cualquier número preferido de muescas 132. En varias realizaciones, las muescas 132 pueden estar separadas por igual alrededor de la base 400, de tal manera que los ángulos entre las muescas 132 puede ser de 120°, 90°, 72°, 60°, 45° o cualquier otro ángulo. En la presente realización, las muescas 132 pueden ser cortes simétricos separados por igual alrededor del perímetro de la base 400. En diversas realizaciones, las muescas 132 pueden estar separadas asimétricamente o según ángulos variables alrededor de la base 400. En diversas realizaciones, las muescas 132 pueden ser usadas para regular la rigidez del detector 100 sin cambiar significativamente la masa total del detector 100. Como se explicará en referencia a la figura 9, en varias realizaciones, la rigidez del detector 100 es ajustada por la presencia de masas de calibración 106 y muescas 132 en la base 400 para regular la sensibilidad y frecuencia de resonancia del detector de vibraciones 100 dependiendo de la aplicación deseada.

La sección de unión 402 de la base 400 incluye una superficie de unión superior 416 y una superficie de unión inferior 418 (mostradas en la figura 4). En la presente realización, el primer cristal piezoeléctrico 102 está en contacto con la superficie de unión superior 416 y el segundo cristal piezoeléctrico 302 está en contacto con la superficie de unión inferior 418. En la presente realización, el primer cristal piezoeléctrico 102 y el segundo cristal piezoeléctrico 302 están unidos a la superficie de unión superior 416 y a la superficie de unión inferior 418, respectivamente, mediante adhesivo conductor, como se describe en lo que sigue, aunque pueden existir otros mecanismos de unión en varias realizaciones. En la presente realización, las masas de calibración 106 están situadas al exterior del primer cristal piezoeléctrico 102 y del segundo cristal piezoeléctrico 302, radialmente hacia fuera del primer cristal piezoeléctrico 102 y del segundo cristal piezoeléctrico 302 cuando el primer cristal piezoeléctrico 102 y el segundo cristal piezoeléctrico 302 están en contacto con la sección de unión 402 de la base 400.

Como se muestra en la figura 1, en varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede incluir además una primera arandela 112 y una segunda arandela 408 (mostradas en la figura 4). En varias realizaciones, la primera arandela 112 y la segunda arandela 408 pueden definir una anchura de arandela  $D_w$ . En la presente realización, la anchura de arandela  $D_w$  es de 5,512 mm (0,217"), aunque pueden existir otras anchuras  $D_w$  de arandela en varias realizaciones y las dimensiones indicadas no se han de considerar limitativas de la presente invención. En varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede incluir también un primer contacto 110 y un segundo contacto 114. El primer contacto 110 puede definir un orificio de sujetador. El segundo contacto 114 también puede definir un orificio de sujetador. Aunque están mostrados dos contactos en la presente realización, en otras varias realizaciones el detector de vibraciones puede incluir un tercer contacto que puede definir un orificio de sujetador. En diversas otras realizaciones pueden existir uno o menos o más que tres contactos. Además, en varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede incluir también un perno 118. En diversas otras realizaciones, puede estar incluido otro mecanismo de sujeción. Adicionalmente, en la presente realización, el detector de vibraciones 100 puede incluir también un tornillo de contacto 116 para sujetar el segundo contacto 114 sobre una de las masas de calibración 106. En la presente realización, el tornillo de contacto 116 sujeta el segundo contacto 114 a la superficie superior 108<sub>g</sub> de la masa de calibración 106<sub>g</sub>. En varias realizaciones, el perno 118 y el tornillo de unión 200 pueden sujetarse dentro de un primer taladro 500 y de un segundo taladro 502, respectivamente (mostrados en la figura 4). Sin embargo, en otras realizaciones puede estar incluido otro mecanismo de sujeción. En varias otras realizaciones, se pueden usar una diversidad de sujetadores, como un experto en la técnica comprendería, incluyendo pegamento, soldadura, obturación con un agente de sellado, o proporcionando roscado de acoplamiento en una tubería 612, otro accesorio, o porción separadora 204 de una tuerca 202, entre otros mecanismos de sujeción. Sin embargo, en varias otras realizaciones, se pueden utilizar una diversidad de sujetadores, como entendería un experto en la técnica, incluyendo pegamento, soldadura, obturación con un agente de sellado, o disponiendo roscado de acoplamiento en una tubería, otro accesorio, o separador, entre otros mecanismos de sujeción.

Como se indica en otro lugar de esta descripción, el material piezoeléctrico puede producir una carga eléctrica en respuesta a la flexión, y se puede producir una forma de onda de carga cuando se expone a la vibración el material piezoeléctrico. Como tal, en varias realizaciones, una diferencia de cargas entre el primer cristal piezoeléctrico 102,

la base 400 y el segundo cristal piezoeléctrico 302, al producirse la flexión del material piezoeléctrico, se puede usar para detectar las características de las vibraciones a las que ha sido expuesto el detector de vibraciones 100, tales como frecuencia o amplitud de la vibración.

5 Como se muestra en la figura 1, en varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede incluir también un primer cable 124 que tenga un primer extremo 134 y un segundo extremo 136. El detector de vibraciones 100 puede incluir también un segundo cable 126 que tenga un primer extremo 138 y un segundo extremo 140. En varias realizaciones, el primer extremo 134 del primer cable 124 puede estar conectado al primer contacto 110 mediante soldadura y el segundo extremo 136 puede estar conectado a un terminal 130 en un alojamiento 128 de conector. Además, en varias realizaciones, el primer extremo 138 del segundo cable 126 puede estar conectado al segundo contacto 114 mediante soldadura y el segundo extremo 140 puede estar conectado a un terminal 130 en el alojamiento 128 de conector. En varias otras realizaciones, el primer extremo 134 puede estar conectado directamente al primer cristal piezoeléctrico 102, a la base 400, a la arandela 112 o al perno 118. En varias realizaciones, el primer extremo 138 puede estar conectado directamente al segundo cristal piezoeléctrico 302, a la base 400, a la segunda arandela o a la tuerca 202 (mostrados en la figura 2). En varias otras realizaciones, el primer cable 124 y el segundo cable 126 pueden estar conectados a los cristales piezoeléctricos 102, 302, a la base 400, a la arandela 112, al perno 118, a la tuerca 202 o a otro lugar deseado en el detector de vibraciones 100 mediante cualquier mecanismo de unión preferido. Por ejemplo, en varias realizaciones, los cables 124, 126 pueden estar conectados al detector de vibraciones 100 en varios lugares con un adhesivo. Los cables 124, 126 pueden permitir la conexión a un dispositivo de tratamiento o a otro dispositivo eléctrico de manera que la carga diferencial pueda ser manejada electrónicamente, lo que puede incluir registro, amplificación, suma, tratamiento digital y cierto número de otras características eléctricas, descritas en otro lugar de esta memoria. Aunque están mostrados dos cables en la presente realización, en varias otras realizaciones el detector de vibraciones puede incluir un tercer cable con un primer extremo y un segundo extremo. En estas diversas otras realizaciones, el primer extremo del tercer cable puede estar conectado a un tercer contacto y el segundo extremo del tercer cable puede estar conectado a un terminal en un alojamiento de conector. En estas varias otras realizaciones, los cables pueden estar también conectados a un cristal piezoeléctrico, a la base, a una arandela, a una tuerca o a un perno.

En la figura 2 está mostrada una vista lateral del detector de vibraciones 100. Como se muestra en la figura 2, en varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede incluir también una tuerca 202 y una tuerca 410. La tuerca 410 se aplica al perno 118 para retener en posición los cristales piezoeléctricos 102, 302 y la base 400. En varias realizaciones, la tuerca 202 y la tuerca 410 pueden estar hechas de aluminio; sin embargo, en varias otras realizaciones, la tuerca 202 y la tuerca 410 pueden estar hechas de otros materiales. En la presente realización, la tuerca 202 incluye también una porción separadora 204. En varias realizaciones, la porción separadora 204 puede tener una forma cilíndrica; sin embargo, en varias otras realizaciones, la porción separadora 204 puede tener una forma diferente. En la presente realización, la porción separadora 204 tiene un diámetro mayor que una porción inferior de la tuerca 202.

En la presente realización, una pieza inserta aislante 406 está insertada en una abertura definida en la porción separadora 204 de la tuerca 202. En la presente realización, la pieza inserta aislante 406 está ajustada a presión dentro de la porción separadora 204, aunque en otras realizaciones la pieza inserta aislante 406 puede estar unida a la tuerca 202 por otros métodos, tales como pegadura, soldadura, roscado, nervios y ranuras, o con el uso de sujetadores. En varias realizaciones, la pieza inserta aislante 406 está hecha de un material aislante no conductor. Por ejemplo, en varias realizaciones, la pieza inserta aisladora 406 está hecha de fibra de vidrio. En la presente realización, el separador 204 está hecho de fibra de vidrio G-10; sin embargo, en varias otras realizaciones, se puede utilizar cualquier material aislante apropiado para fabricar la pieza inserta aislante 406.

La pieza inserta aislante 406 define un primer taladro 500 y la tuerca 202 define un segundo taladro 502. En la presente realización, el primer taladro 500 y el segundo taladro 502 pueden definir una abertura continua a través de la tuerca 202. En la presente realización, el primer taladro 500 y el segundo taladro 502 son aberturas con rosca para acoplarse con un perno, tornillo u otro dispositivo de sujeción roscado. Como se muestra en la figura 4, en varias realizaciones, el primer taladro 500 se acopla con el perno 118 y el segundo taladro 502 se acopla con el tornillo de unión 200. En varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede incluir un tornillo de unión 200 para sujetar el detector de vibraciones 100 en un sistema de fluido.

En la figura 3 se muestra una vista inferior del detector de vibraciones 100. Como se muestra en la figura 3, en varias realizaciones, las masas de calibración 106 pueden tener una superficie inferior 404. En la presente realización, debido a que la base tiene doce masas de calibración, se describen doce superficies inferiores 404a-l. En varias otras realizaciones, el número de superficies inferiores 404 es igual al número N de masas de calibración 106.

En la figura 4 se muestra una vista en sección transversal del detector de vibraciones 100. Como se muestra en la figura 4, en varias realizaciones, el primer cristal piezoeléctrico 102 incluye una superficie superior 104, una superficie inferior 412 y un orificio 428 de sujetador. Como se muestra en la figura 4, en varias realizaciones, el segundo cristal piezoeléctrico 302 puede incluir una superficie inferior 304, una superficie superior 414 y un orificio 430 de sujetador. En varias realizaciones, tanto el primer cristal piezoeléctrico 102 como el segundo cristal piezoeléctrico 302 pueden ser un disco; sin embargo, se pueden utilizar otras formas en varias otras realizaciones.

En varias realizaciones, el primer cristal piezoeléctrico 102 puede tener también una anchura  $D_{P1}$ . El segundo cristal piezoeléctrico 302 puede tener también una anchura  $D_{P2}$ . En la presente realización, cada una de las anchuras  $D_{P1}$ ,  $D_{P2}$  es de 17,018 mm (0,670"), aunque pueden existir otras dimensiones de las anchuras  $D_{P1}$  y  $D_{P2}$  en diversas realizaciones y las dimensiones indicadas no se han de considerar limitativas de la presente invención. Aunque en la presente realización las anchuras  $D_{P1}$  y  $D_{P2}$  son iguales, en varias otras realizaciones  $D_{P1}$  puede tener un valor diferente de  $D_{P2}$ . En varias realizaciones, la relación de  $D_W:D_{P1}$  o  $D_W:D_{P2}$  puede ser 1:4. En varias otras realizaciones, la relación  $D_W:D_{P1}$  o  $D_W:D_{P2}$  puede ser 1:3. En relaciones de anchuras de 1:4 ó 1:3 la anchura  $D_W$  de la primera arandela 112 y la segunda arandela 408 pueden proporcionar al detector de vibraciones 100 una resistencia optimizada con máxima sensibilidad. En varias otras realizaciones, por ejemplo para aplicaciones de fuertes vibraciones, la relación de  $D_W:D_{P1}$  o  $D_W:D_{P2}$  puede ser 1:2 u otra relación.

Como se muestra en la figura 4, en varias realizaciones, la base 400 puede proporcionar un sustrato para la disposición de otros componentes del detector de vibraciones 100. En varias realizaciones, el primer cristal piezoeléctrico 102 y el segundo cristal piezoeléctrico 302 pueden estar unidos a la base 400. En estas realizaciones, se puede usar un adhesivo conductor para unir el primer cristal piezoeléctrico 102 y el segundo cristal piezoeléctrico 302 a la base 400. Más concretamente, el adhesivo permite conductividad y flexibilidad en la presente realización. En varias realizaciones, el adhesivo conductor es un adhesivo de epoxi conductor de plata. En la presente realización, se puede usar como adhesivo conductor el 8330S Silver Conductive Epoxy Adhesive: epoxy Slow Cure / Extreme Conductivity, vendido por MG Chemicals®. En otras varias realizaciones, el cristal piezoeléctrico 102, 302 puede ser pegado o unido a la base 400 a través de medios adecuados tales como cinta de doble cara, varios pegamentos, varios revestimientos, incluyendo revestimientos elastómeros y de silicio, entre otros, adhesivos puros, o mediante un sujetador tal como el perno 118. En varias realizaciones, la base 400 puede ser un disco y puede ser de latón; sin embargo, en varias otras realizaciones se pueden usar varios materiales y formas. Como se muestra en la figura 4, en varias realizaciones, la base 400 incluye la sección de unión 402 y N masas de calibración 106 exteriores a la sección de unión 402. En varias realizaciones, la sección de unión 402 de la base 400 puede incluir la superficie de unión superior 416, la superficie de unión inferior 418 y un orificio de sujetador. La sección de unión 402 puede definir además una anchura  $D_B$ . En la presente realización, la anchura  $D_B$  es de 9,525 mm (0,375"), aunque pueden existir otras dimensiones de la anchura  $D_B$  en varias realizaciones y las dimensiones indicadas no se han de considerar limitativas de la presente invención. En varias realizaciones  $D_B \geq D_{P1}$  y  $D_B \geq D_{P2}$ .

Como se muestra en la figura 4, las masas de calibración 106 son secciones gruesas de la base 400 en el exterior de la sección de unión 402. En varias realizaciones, las masas de calibración 106 pueden definir una anchura  $D_S$ . En la presente realización, la anchura de  $D_S$  es de 19,05 mm (0,750"), aunque pueden existir otras dimensiones de la anchura  $D_S$  en varias realizaciones y las dimensiones indicadas no se han de considerar limitativas de la presente invención. En varias realizaciones,  $D_S \geq D_B$ . En varias realizaciones, la forma, el tamaño, la longitud de las masas de calibración se pueden usar para regular la rigidez del detector 100. En la presente realización, las masas de calibración 106 son de forma de cuña y tienen una sección transversal rectangular como se muestra en la figura 4. Sin embargo, en otras varias realizaciones, la forma y la sección transversal de las masas de calibración pueden ser diferentes, tales como de una sección transversal triangular o circular o una forma cilíndrica o cuboide rectangular. Además, como se muestra en la figura 4, en varias realizaciones, la superficie superior 108 de las masas de calibración 106 puede extenderse por encima de la superficie superior 104 de los primeros cristales piezoeléctricos 102. Adicionalmente, la superficie inferior 404 de las masas de calibración 106 puede extenderse por debajo de la superficie inferior 304 de los segundos cristales piezoeléctricos 302. Sin embargo, en varias otras realizaciones, la superficie superior 108 puede no extenderse por encima de la superficie superior 104 o la superficie inferior 404 puede no extenderse por debajo de la superficie inferior 304.

En la presente realización, las masas de calibración 106 están formadas integralmente o en una sola pieza con la sección de unión 402, siendo la base 400 formada de una sola pieza de material y posteriormente mecanizada para incluir muescas 132 y masas de calibración 106 que son más gruesas que la sección de unión 402. Sin embargo, en varias realizaciones, las masas de calibración 106 pueden ser unidas a la sección de unión de unión 402 usando otros métodos, tales como soldadura, adhesivos, colada en un molde único, o mediante sujetadores, y la descripción de mecanización de una pieza única de material para formar una base entera 400 no se ha de considerar limitativa de la presente invención.

La figura 5 es una vista lateral en despiece ordenado de un detector de vibraciones 100' de acuerdo con otra realización de la presente invención, con un separador 204' mostrado en sección transversal. Como se muestra en la figura 5, en varias realizaciones, el primer cristal piezoeléctrico 102' puede definir también un espesor  $W_{P1}$ . El segundo cristal piezoeléctrico 302' puede tener también un espesor  $W_{P2}$ . En la presente realización, cada uno de los espesores  $W_{P1}$  y  $W_{P2}$  es 6,35 mm (0,25"), aunque pueden existir otros espesores de  $W_{P1}$  y  $W_{P2}$  en varias realizaciones y las dimensiones indicadas no se han de considerar limitativas de la presente invención. Aunque en la presente realización son iguales los espesores  $W_{P1}$  y  $W_{P2}$ , en diversas otras realizaciones  $W_{P1}$  puede tener un valor diferente a  $W_{P2}$ .

Como se muestra en la figura 5, las masas de calibración 106' de la base 400', que es similar a la base 400 en la presente realización, pueden tener un espesor  $W_S$ . En la presente realización, el espesor  $W_S$  es de 10,16 (0,4"), aunque pueden existir otros espesores de  $W_S$  en diversas realizaciones y las dimensiones indicadas no se han de

considerar limitativas de la presente invención. En varias realizaciones, las masas de calibración 106' tienen todas el mismo espesor  $W_S$ ; sin embargo, en varias otras realizaciones, los espesores de las masas de calibración 106' pueden ser diferentes entre sí. Por ejemplo, la masa de calibración 106a' puede tener un espesor diferente al de la masa de calibración 106b', o las masas de calibración 106a', b', c' pueden tener un espesor diferente al de las masas de calibración 106d'-l'. En la presente realización, el espesor  $W_S$  puede ser mayor que  $W_{P1} + W_{P2}$ ; sin embargo, en otras realizaciones,  $W_S$  puede ser mayor que  $W_{P1}$  o  $W_{P2}$ .

Como se muestra en la figura 5, en varias realizaciones, la primera arandela 112' puede tener una superficie de pulido 420a, b. La segunda arandela 408' puede tener también una superficie de pulido 422a, b. Además, en varias realizaciones, una primera tuerca 202' puede tener una primera superficie 424 y una segunda superficie 426. En la presente realización, la tuerca 202' se acopla a un perno 118' para retener en posición los cristales piezoeléctricos 102', 302' y la base 400'. Además, en varias realizaciones, el detector de vibraciones 100' incluye un separador 204'. En varias realizaciones, el separador 204' puede tener una forma cilíndrica; sin embargo, en varias otras realizaciones, el separador 204' puede tener otra forma. En varias realizaciones, el diámetro del separador 204' puede ser menor que el diámetro de la primera tuerca 202'. En varias otras realizaciones, el diámetro del separador 204' puede ser mayor que el diámetro de la primera tuerca 202'. Como se muestra en la figura 5, en varias realizaciones, el separador 204' puede tener un primer taladro 500' y un segundo taladro 502' separados por una porción media 406'. En la presente realización, el separador 204' puede estar formado de un material aislante; sin embargo, en varias otras realizaciones, la parte media 406' puede ser el único material aislante del separador 204'. En la presente realización, el primer taladro 500' puede definir una abertura en el separador 204' para acoplarse con el perno 118'. El segundo taladro 502' puede definir una abertura en el separador 204' para acoplarse con el tornillo de unión 200'. En varias otras realizaciones, el primer taladro 500' y el segundo taladro 502' pueden definir una abertura continua a través del separador 204'. En la presente a realización, el primer taladro 500 y el segundo taladro 502 son aberturas con rosca para acoplarse con el perno 118'; sin embargo, en varias otras realizaciones, el primer taladro 500' y el segundo taladro 502' pueden estar roscados para acoplarse con otro perno, tornillo u otro dispositivo de sujeción con rosca. Como se indica en la figura 6, en varias realizaciones, el primer taladro 500' se acopla con el perno 118' y el segundo taladro 502' se acopla con el tornillo de unión 200'. En varias realizaciones, el detector de vibraciones 100' puede incluir el tornillo de unión 200' para sujetar el detector de vibraciones 100' en un sistema fluido.

La figura 10 es una vista en sección transversal de un detector de vibraciones 100'' de acuerdo con otra realización de la presente invención y tomada a lo largo de la línea 6-6 de la figura 7. Como se muestra, en varias realizaciones, el detector de vibraciones 100'' puede estar conectado por medio de cables 126'' y 128'' a una placa de circuitos 600 donde puede ser tratada la corriente para la detección de una fuga. Adicionalmente, en varias realizaciones, el detector de vibraciones 100'' puede estar unido a una tubería 612 por medio de un tornillo de unión 200''. En varias otras realizaciones, el detector de vibraciones 100'' puede no estar en contacto directo con la tubería 612. En estas varias otras realizaciones, el detector de vibraciones 100'' puede estar contenido en una caja o alojamiento. En varias realizaciones, el alojamiento puede estar hecho de aluminio para formar una caja de aluminio. En varias realizaciones, el detector de vibraciones 100'' puede estar en una caja de aluminio que esté montada sobre una tapa de boca de riego. En otras realizaciones, el alojamiento puede estar hecho de acero para formar una caja de acero. En particular, en varias realizaciones, el detector de vibraciones 100'' puede estar en una caja exterior de acero montada en una tubería. Todavía en otras varias realizaciones, se puede utilizar cualquier material preferido para formar la caja exterior. Cuando está incluido un alojamiento exterior, el alojamiento exterior puede estar unido al detector de vibraciones y a una tubería por medio de tornillos, imanes o cualquier otro mecanismo de unión apropiado. En varias realizaciones, el detector de vibraciones 100'' puede incluir imanes para unirse al alojamiento exterior y el alojamiento exterior puede incluir imanes para unirse al costado de una tubería. En otras realizaciones, zunchos, adhesivos, tornillos, pernos, soldadura u otros mecanismos de sujeción pueden ser sustituidos por imanes.

Como se muestra en la figura 6, en varias realizaciones, el primer cristal piezoeléctrico 102' puede tener también un espesor  $W_{P1}$ . El segundo cristal piezoeléctrico 302' puede tener un espesor  $W_{P2}$ . En varias realizaciones,  $W_{P1}$  y  $W_{P2}$  son iguales; sin embargo, en varias realizaciones alternativas,  $W_{P1}$  puede tener un valor diferente al de  $W_{P2}$ . Además, en varias realizaciones, la base 400'' incluye una sección de unión 402'' y masas de calibración 106'' exteriores a la sección de unión 402''. La sección de unión 402'' puede definir además un espesor  $W_B$ . En la presente realización, el espesor  $W_B$  es de 1,27 mm (0,050''), aunque pueden existir otras dimensiones del espesor  $W_B$  en varias realizaciones y las dimensiones indicadas no se han de considerar limitativas de la presente invención. En varias realizaciones,  $W_B \geq W_{P1}$  y  $W_B \geq W_{P2}$ ; sin embargo en varias otras realizaciones,  $W_B < W_{P1}$  o  $W_B < W_{P2}$ .

Como se muestra en la figura 6, en varias realizaciones, las masas de calibración 106'' pueden definir un espesor  $W_S$  de masa de calibración. En la presente realización  $W_S > W_{P1} + W_{P2} + W_B$ . En otras realizaciones,  $W_S > W_{P1} + W_B$  o  $W_S > W_{P2} + W_B$ . Además, en varias realizaciones, la superficie superior 108'' de las masas de calibración 106'' puede extenderse por encima de la superficie superior 104'' del primer cristal piezoeléctrico 102''. Adicionalmente, la superficie inferior 404'' de las masas de calibración 106'' puede extenderse por debajo de la superficie inferior 304'' del segundo cristal piezoeléctrico 302''. Sin embargo, en varias otras realizaciones, la superficie superior 108'' puede no extenderse por encima de la superficie superior 104'' o la superficie inferior 404'' puede no extenderse por debajo de la superficie inferior 304''. Adicionalmente, en varias otras realizaciones, se pueden usar el tamaño, la forma y la longitud de las masas de calibración 106'' para regular la rigidez del detector 100'' sin cambiar la masa total del

detector 100". En la presente realización, las masas de calibración 106 tienen una sección transversal rectangular, como se muestra en la figura 6. Sin embargo, en otras varias realizaciones, la forma y sección transversal de las masas de calibración pueden ser de una forma diferente, tal como una sección transversal triangular o circular o una forma cilíndrica o cuboide rectangular.

5 Adicionalmente, como se muestra en la figura 6, en varias realizaciones, el detector de vibraciones 100" puede no incluir una arandela y primer contacto entre el perno 118" y el primer cristal piezoeléctrico 102". En estas realizaciones, el perno 118" puede estar en contacto directo con el primer cristal piezoeléctrico 102". Además, en varias realizaciones, el detector de vibraciones 100" puede no incluir una arandela y tuerca entre el separador 204" y el segundo cristal piezoeléctrico 302". En estas realizaciones, el separador 204" puede estar en contacto directo con el segundo cristal piezoeléctrico 302". Además, en varias realizaciones, el detector 100" puede no incluir una tuerca entre el separador 204" y la tubería 612. En estas realizaciones, el separador 204" puede estar en contacto directo con la tubería 612. En varias otras realizaciones, una tuerca puede separar el separador 204" de una tubería 612.

15 Como se muestra en la figura 6, en algunas realizaciones, el detector de vibraciones 100" puede incluir un primer cable 124" y un segundo cable 126". En estas realizaciones, el primer cable 124" puede estar conectado directamente al primer cristal piezoeléctrico 102" y el segundo cable 126" puede estar conectado al segundo cristal piezoeléctrico 302". Sin embargo, en varias otras realizaciones, los cables pueden estar conectados al detector de vibraciones 100" en otras posiciones en el detector de vibraciones 100", como se ha descrito anteriormente.

20 La figura 7 es una vista superior de una base del detector de vibraciones 100" mostrado en la figura 6. Como se muestra en la figura 7, en varias realizaciones, la base 400" puede ser un disco y puede estar hecha de latón; sin embargo, pueden ser de diversos materiales y formas en varias otras realizaciones. Como se muestra en la figura 7, en varias realizaciones, la base 400" incluye una sección de unión 402" y N masas de calibración 106" exteriores a la sección de unión 402". En la presente realización N = 8 y la base tiene ocho masas de calibración 106a"- h". Adicionalmente, en varias realizaciones, las masas de calibración 106" pueden estar separadas por igual alrededor de la base 400" de tal manera que los ángulos entre las masas de calibración 106" pueden ser de 120°, 90°, 72°, 60°, 45° o cualquier otro ángulo. Además, en varias realizaciones, las masas de calibración 106" pueden estar separadas asimétricamente o según ángulos variables alrededor de la base 400". Además, como se muestra en la figura 7, en varias realizaciones, la sección de unión 402" de la base 400" puede incluir una superficie de unión superior 416", una superficie inferior y un orificio 700 de sujetador. Cuando está montado el detector de vibraciones 100", un perno 118" u otro mecanismo de sujeción puede estar insertado a través del orificio 700 de sujetador.

30 La figura 8 es una vista en perspectiva de un detector de vibraciones 100"" de acuerdo con otra realización de la presente invención. Como se muestra en la figura 8, en varias realizaciones, una masa de calibración 106"" puede definir un taladro de unión 800. En las presentes realizaciones, el taladro de unión 800 puede estar en una superficie inferior 404"" de una masa de calibración 106"". En estas realizaciones, un segundo contacto puede estar conectado a la masa de calibración 106"" con un tornillo de máquina a través del orificio de sujetador de un segundo contacto y dentro del taladro de unión 800. En varias otras realizaciones, el taladro de unión 800 puede estar definido en una superficie superior de la masa de calibración 106"" o cualquier otra porción deseable de la masa de calibración 106"".

40 Adicionalmente, como se muestra en la figura 8, en varias realizaciones, el detector de vibraciones 100"" puede incluir también una tuerca 202"" y un separador 204"" por debajo de la superficie inferior 304"" del segundo cristal piezoeléctrico 302"" y la arandela 408"". En varias realizaciones, el separador 204"" puede tener una forma cilíndrica; sin embargo, en varias otras realizaciones, el separador 204"" puede tener una forma diferente. Adicionalmente, en varias realizaciones, el separador 204"" puede definir una ranura 802 entre el primer extremo 804 del separador 204"" y el segundo extremo 806 del separador 204"". En varias realizaciones, la tuerca 202"" puede definir uno o más taladros similares al primer taladro 500 o al segundo taladro 502 para acoplamiento con un perno 118 y un tornillo de unión 200"", respectivamente, u otro mecanismo de unión. Como se muestra en la figura 8, cuando el detector de vibraciones 100"" está montado, el tornillo de unión 200"" puede estar roscado a través de al menos una porción del separador 204"" de la tuerca 202"".

50 Aunque en las presentes realizaciones se muestran dos cristales piezoeléctricos 102, 302 y una base 400, en varias realizaciones se pueden utilizar cualquier número de cristales piezoeléctricos o bases. Por ejemplo, en varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede incluir solo un primer cristal piezoeléctrico 102 y una base 400. En varias otras realizaciones, pueden estar presentes más de dos cristales piezoeléctricos 102, 302 o más de una única base 400. En varias otras realizaciones con más de dos cristales piezoeléctricos 102, 302 y más de una base 400, una serie de combinaciones de cristales piezoeléctricos y bases pueden estar en una disposición apilada alineadas en un perno 118. En esta disposición, las combinaciones de cristales/bases pueden ser conectadas juntas usando un adhesivo. En varias otras realizaciones, el adhesivo puede ser cinta de doble cara, varios pegamentos, varios revestimientos, incluyendo revestimiento de elastómeros y de silicio entre otros, adhesivos puros, o por medio de un sujetador tal como el perno 118. En varias otras realizaciones, puede no estar incluido un adhesivo. En tales realizaciones se puede utilizar un separador no conductor, tal como un separador de nilón o de caucho. En otras realizaciones, la conducción puede no ser una preocupación si cada base está conectada al mismo suelo. Esta disposición apilada puede tener una respuesta diferente de otras orientaciones.



Como se muestra en la figura 9, en varias realizaciones la sensibilidad del detector de vibraciones 100 puede ser alterada cambiando la rigidez del detector de vibraciones mientras se cambia la masa total del detector 100 a un grado menos. La resonancia de un elemento puede ser definida como la tendencia a oscilar o a vibrar con mayor amplitud en algunas frecuencias sobre otras. La frecuencia de resonancia de un elemento puede ser definida como la frecuencia a la que la amplitud de respuesta está en un máximo relativo. La sensibilidad de un elemento puede ser definida como la magnitud mínima de una señal de entrada, requerida para producir una señal de salida específica. La frecuencia de resonancia y la sensibilidad del detector piezoeléctrico pueden ser definidas por las siguientes ecuaciones:

$$Frecuencia\ de\ resonancia = K * \left( \frac{Rigidez}{Masa} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$Sensibilidad = N * \left( \frac{Masa}{Rigidez} \right)$$

en las que los coeficientes K y N están basados en la sensibilidad del material cerámico del cristal piezoeléctrico y, en menor grado, en la construcción del detector. Más concretamente, el coeficiente K es ligeramente menor que  $1/2\pi$ , dependiendo de las propiedades de amortiguación del sistema. Más concretamente,  $K \approx 0,15$  en la presente realización. El coeficiente N depende directamente de la sensibilidad del piezoeléctrico (piezo-módulo) y de la construcción del detector. En particular, el piezo-módulo puede ser definido como una relación de la carga y la fuerza que creó esa carga en el piezoeléctrico.

Según lo indicado por las fórmulas anteriores, la sensibilidad del detector 100 es proporcional a su masa total e inversamente proporcional a su rigidez. La frecuencia de resonancia es proporcional a la rigidez del detector 100<sup>1</sup> e inversamente proporcional a su masa total. En detectores piezoeléctricos usuales en modo de compresión y cizallamiento, no es normal alterar la rigidez de construcción de los detectores; en su lugar, solo pueden ser alteradas la masa total y la sensibilidad del material cerámico para proporcionar un detector apropiado. Sin embargo, estos detectores tienen uso limitado para muchas aplicaciones de fugas de fluidos, debido a que no son normalmente flexibles suficiente para conseguir una frecuencia de resonancia fija requerida por aplicaciones de fugas de fluido, ya que solo es normalmente alterada la masa total.

En varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 con las masas de calibración 106 permite que sean ajustados en gran medida los parámetros de rigidez del detector de vibraciones 100. Incluso aunque las masas de calibración 106 añaden masa al detector de vibraciones 100, la posición de las masas de calibración 106 al exterior de la sección de unión 402 aumenta en gran medida la flexibilidad de la base 400, disminuyendo con ello la rigidez del detector de vibraciones 100 en un grado mucho mayor. La capacidad para ajustar el parámetro de rigidez puede proporcionar más flexibilidad para obtener una sensibilidad requerida. En particular, en varias realizaciones, la rigidez del detector puede ser alterada cambiando el tamaño, la forma o la longitud de la masa de calibración 106. El uso de masas de calibración 106 para cambiar la rigidez del detector 100 permite encontrar una relación óptima de sensibilidad y frecuencia de resonancia para una aplicación particular del detector. En varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede conseguir una elevada sensibilidad con una frecuencia de resonancia de alrededor de 3000 Hz. En varias realizaciones, la relación óptima de sensibilidad e intervalo de frecuencias está en una sensibilidad de aproximadamente 0,6 V p-p y a una frecuencia de resonancia de 2700 Hz, aunque pueden existir otras relaciones óptimas en varias realizaciones y la descripción de la relación óptima en la presente realización no se ha de considerar limitativa de la presente invención. En varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede tener una frecuencia de resonancia que esté sintonizada a una frecuencia anticipada de vibraciones generadas por una fuga anticipada en un miembro de tubería. La frecuencia de resonancia puede estar sintonizada en algunas realizaciones y puede no estar sintonizada en otras.

También se describe un método de fabricar y montar un detector de vibraciones 100. En varias realizaciones, la base 400 del detector de vibraciones 100 puede ser formada con la sección de unión 402 y la masa de calibración 106 exterior a la sección de unión 402. Como se ha explicado anteriormente, en varias realizaciones, el espesor  $W_s$  de la masa de calibración es mayor que el espesor  $W_B$  de la sección de unión 402.

En varias realizaciones, después de haber sido formada la base 400, se pueden colocar sobre la base 400 el primer cristal piezoeléctrico 102 y el segundo cristal piezoeléctrico 302. En varias realizaciones, los cristales piezoeléctricos 102, 302 pueden ser colocados de tal manera que la superficie inferior 412 del primer cristal piezoeléctrico 102 pueda estar adyacente a la superficie de unión superior 416 de la sección de unión 402. La superficie superior 414 del segundo cristal piezoeléctrico 302 puede estar adyacente a la superficie de unión inferior 418 de la sección de unión 402. En varias realizaciones, el primer cristal piezoeléctrico 102 y el segundo cristal piezoeléctrico 302 pueden ser unidos a la base 400 con un adhesivo que permita el paso de una corriente a través del mismo. En varias realizaciones, el adhesivo permite la conductividad y la flexibilidad. En varias realizaciones, el adhesivo conductor de epoxi de plata es el adhesivo. En la presente realización se puede usar como adhesivo el 8330S Silver Conductive

Epoxy Adhesive: Slow Cure/Extreme Conductivity epoxi vendido por MG Chemicals®. En otras realizaciones, los cristales piezoeléctricos 102, 302 pueden ser pegados o unidos a la base 400 con la ayuda de otros medios apropiados tales como cinta de doble cara, varios pegamentos, varios revestimientos, incluyendo revestimientos elastómeros y de silicio entre otros, adhesivos puros, o mediante un sujetador tal como el perno 118.

5 En varias realizaciones, la primera arandela 112 puede estar dispuesta sobre el primer cristal piezoeléctrico 102 de tal manera que una superficie de pulido similar a la superficie de pulido 420a esté en contacto con la superficie superior 104 del primer cristal piezoeléctrico 102. Un primer contacto 110 puede ser entonces colocado sobre la primera arandela 112 de tal manera que la superficie de pulido similar a la superficie de pulido 420b esté en contacto con el primer contacto 110. La segunda arandela 408 puede estar dispuesta sobre el segundo cristal piezoeléctrico 302 de tal manera que la superficie de pulido similar a la superficie de pulido 422a,b esté en contacto con la superficie inferior 304 del segundo cristal piezoeléctrico 302.

15 En varias realizaciones, puede estar incluida la tuerca 202 y puede estar situada de tal manera que la tuerca 202 esté entre el taladro de sujeción 500 y la porción separadora 204 y la arandela 408. Para asegurar el detector de vibraciones 100 a la porción separadora 204, el perno 118 puede estar previsto en varias realizaciones. En particular, en la presente realización, para asegurar el detector de vibraciones 100, el perno 118 es roscado a través del orificio de sujetador del primer contacto 110, la arandela 112, un orificio 428 de sujetador del primer cristal piezoeléctrico 102, un orificio de sujetador de la base similar al orificio 700 de sujetador de la base 400, un orificio 430 de sujetador del segundo cristal piezoeléctrico 302, la arandela 408 y la tuerca 202 y hacia dentro del taladro de sujeción 500 de la porción separadora 204. En la presente realización, la porción separadora 204 puede recibir entonces un tornillo de unión 200 en el taladro de sujeción 502 para asegurar el detector de vibraciones 100 a una tubería similar a la tubería 612.

25 Como se muestra en la figura 1, en varias realizaciones, un segundo contacto 114 puede estar dispuesto en una superficie superior 108 de la masa de calibración 106 de la base 400. El segundo contacto 114 puede estar conectado a la masa de calibración 106 con un tornillo de contacto 116 a través del orificio de sujetador del segundo contacto 114 y dentro de un taladro de unión definido en la superficie superior 108. En varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede incluir además conexiones eléctricas, tales como cables 124, 126, que conectan el detector de vibraciones 100 con un terminal de conexión 130. En varias realizaciones, los cables 124, 126 pueden estar soldados al primer contacto 110 y al segundo contacto 114, respectivamente, o soldados directamente al primer cristal piezoeléctrico 102, al segundo cristal piezoeléctrico 302 o a la base 400. Los cables 124, 126 pueden conectarse entonces al terminal 130 en un alojamiento 128 de conector. Esta conexión puede permitir la conexión a un dispositivo de tratamiento o a otro dispositivo eléctrico de manera que pueda ser manejado electrónicamente el diferencial de carga, lo que puede incluir la grabación, amplificación, suma, tratamiento digital y un número de otras características eléctricas.

35 Se describe también un método de detectar una vibración con el detector de vibraciones 100. En varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede ser montado en un sistema de distribución de agua. En varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede ser montado en una tubería similar a la tubería 612 en el sistema de distribución de agua. En la presente realización, el detector de vibraciones 100 puede ser montado al exterior de una tubería 612 del sistema de distribución de agua. En otras realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede ser montado en otras partes del sistema de distribución de agua, incluyendo una válvula, un acoplamiento de tubería, un adaptador o en cualquier otro lugar apropiado para la detección de la vibración. En varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede ser montado sobre el sistema de distribución de agua con un tornillo 200. Todavía en otras realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede ser montado sobre el sistema de distribución de agua con un imán o una serie de imanes. Sin embargo, en varias otras realizaciones, puede ser utilizado cualquier mecanismo de montaje apropiado para montar el detector de vibraciones 100 en el sistema de distribución de agua, tal como una tubería similar a la tubería 612.

45 En la presente realización, después de ser montado el detector de vibraciones 100 en la tubería 612, el detector de vibraciones 100 detecta la vibración mecánica de la tubería en un intervalo de frecuencias asociado a una fuga de agua. El sistema de tubería puede trasladar las vibraciones producidas por fugas a través de todos los miembros de tubería del sistema. Además, el suelo puede conducir algunas vibraciones también. Las vibraciones pueden ser transmitidas a través del sistema de tubería, particularmente a través de los materiales rígidos que constituyen el sistema, incluyendo tubería de hierro o acero colado en varias realizaciones. La vibración transmitida puede desplazarse a través del sistema de tuberías hasta el perno 118 y al detector de vibraciones 100. En varias otras realizaciones, la vibración transmitida puede desplazarse a través del sistema de tuberías hasta el imán. En varias realizaciones, el detector de vibraciones 100 puede detectar vibraciones mecánicas en el intervalo de 100-1500 Hz. En varias otras realizaciones, el detector de vibraciones puede detectar vibraciones mecánicas superiores a 1500 Hz o por debajo de 100 Hz. Aunque la transmisión mecánica de vibraciones descrita anteriormente proporciona suficiente vibración para la detección de fugas en la presente realización, en varias otras realizaciones el sistema de tuberías puede transmitir también vibración acústica que puede ser suficiente por sí misma para permitir la detección también por el detector de vibraciones 100.

60 En varias realizaciones, después que la vibración se ha transmitido al detector de vibraciones 100, los cristales piezoeléctricos 102, 302 pueden generar una corriente eléctrica. En varias realizaciones, la corriente puede ser

transmitida por medio de conductores a un terminal 130 que puede ser conectado después a una placa de circuitos similar a la placa de circuitos 600, donde la corriente es tratada para la detección de una fuga. La detección de una fuga puede ser entonces comunicada a un ordenador que incluya un algoritmo de detección de fugas. En varias realizaciones, el ordenador puede convertir la amplitud de la vibración en un voltaje proporcional a la vibración. En varias otras realizaciones, el ordenador puede convertir la amplitud de la vibración en una corriente proporcional a la vibración. En todavía varias otras realizaciones, el ordenador puede convertir la amplitud de la vibración tanto en un voltaje proporcional a la vibración como en una corriente proporcional a la vibración. Después de haber sido convertida la amplitud de la vibración en un voltaje o en una corriente o en ambos, un resolvidor lógico externo puede comparar el nivel de señal de vibración con un nivel de umbral predeterminado. El nivel de umbral predeterminado puede ser usado para determinar si una vibración detectada está a un nivel aceptable. Por ejemplo, en varias realizaciones, una vibración por debajo del nivel de umbral predeterminado puede ser una vibración aceptable. Si la amplitud convertida de vibración supera o excede el nivel de umbral predeterminado, el suceso es marcado como un suceso de disparo. En varias realizaciones, el suceso de disparo puede producir una señal de alerta o aviso para ser enviada a un proveedor de servicios para análisis adicional. En otras varias realizaciones, el suceso de disparo puede provocar una alarma en el proveedor de servicios que avise de una vibración por encima del nivel de umbral predeterminado aceptable. En la práctica, este detector de vibraciones detectará fugas de agua y permitirá la conservación de agua y fondos que se pierden normalmente en las fugas de agua.

Se ha de observar que el lenguaje condicional, tal como, entre otros, “puede”, “podría”, a menos que se indique concretamente de otro modo, o sea entendido de otro modo dentro del contexto según se ha usado, pretende en general indicar que ciertas realizaciones incluyan, mientras que otras realizaciones no incluyan, ciertas características, elementos, o pasos. Por lo tanto, tal lenguaje condicional no se propone generalmente implicar que esas características, elementos o pasos sean de cualquier modo requeridos para una o más realizaciones particulares o que una o más realizaciones particulares incluyan necesariamente lógica para decidir, con o sin admisión o consulta, si estas características, elementos o pasos están incluidos o han de ser realizados en cualquier realización particular.

**REIVINDICACIONES**

1. Un detector de vibraciones piezoeléctrico (100) para la detección de fugas de fluidos, que comprende:
  - al menos un cristal piezoeléctrico (102, 302) que tiene una superficie superior y una superficie inferior;
  - 5 una base (400) que tiene una sección de unión (402) que define una superficie de unión, incluyendo la base una primera masa de calibración (106) y caracterizado por que la base incluye una segunda masa de calibración (106) y que define una muesca (132) entre la primera masa de calibración y la segunda masa de calibración;
  - 10 en el que la primera masa de calibración tiene un espesor de masa de calibración mayor que el espesor de la sección de unión de la base, y la segunda masa de calibración tiene un espesor de masa de calibración mayor que el espesor de la sección de unión de la base;
  - en el que una de al menos entre una superficie superior y superficie inferior de cristal piezoeléctrico está unida a la superficie de unión de la base;
  - en el que la primera y la segunda masas de calibración son exteriores al menos a un cristal piezoeléctrico; y
  - en el que la masas de calibración están configuradas para regular la rigidez del detector.
- 15 2. El detector (100) de la reivindicación 1, en el que el espesor de la segunda masa de calibración es igual al espesor de la primera masa de calibración.
3. El detector (100) de la reivindicación 1, en el que la base incluye al menos tres masas de calibración, teniendo cada una de las al menos tres masas de calibración un espesor de masa de calibración mayor que un espesor combinado del al menos un cristal piezoeléctrico y la sección de unión.
- 20 4. El detector (100) de la reivindicación 1, en el que al menos una masa de calibración es de forma de cuña y define una sección transversal rectangular.
5. El detector (100) de la reivindicación 1, en el que la superficie inferior del cristal piezoeléctrico está unida a la superficie de unión de la base y en el que la al menos una masa de calibración se extiende por encima de la superficie superior del al menos un cristal piezoeléctrico.
- 25 6. El detector (100) de la reivindicación 1, en el que al menos un espesor de masa de calibración es mayor que un espesor combinado de la sección de unión de la base y el al menos un cristal piezoeléctrico.
7. El detector (100) de la reivindicación 1, en el que el al menos un cristal piezoeléctrico es un primer cristal piezoeléctrico (102), comprendiendo además el detector de vibraciones (100) un segundo cristal piezoeléctrico (302) que tiene una superficie superior y una superficie inferior, estando la superficie superior del segundo cristal piezoeléctrico unida a una segunda superficie de unión de la sección de unión de la base.
- 30 8. El detector (100) de la reivindicación 7, en el que al menos una masa de calibración tiene un espesor de masa de calibración mayor que un espesor combinado de la sección de unión, el primer cristal piezoeléctrico y el segundo cristal piezoeléctrico.
9. Un método de fabricar un detector de vibraciones piezoeléctrico (100) como el descrito en la reivindicación 1 para la detección de fugas de fluido, que comprende:
  - 35 formar una base (400) del detector de vibraciones piezoeléctrico con una sección de unión (402) que define una superficie de unión, una primera masa de calibración (106), una segunda masa de calibración (106) y una muesca (132) entre la primera masa de calibración y la segunda masa de calibración, siendo la primera y la segunda masas de calibración exteriores a la sección de unión, teniendo la primera y la segunda masas de calibración un espesor de masa de calibración mayor que el espesor de la sección de unión de la base;
  - 40 unir al menos un cristal piezoeléctrico (102) a la superficie de unión de la sección de unión de la base; y
  - en el que las masas de calibración se usan para regular la rigidez del detector.
10. El método de la reivindicación 9, que comprende además unir un segundo cristal piezoeléctrico (302) a una segunda superficie de unión de la sección de unión de la base.
- 45 11. El método de la reivindicación 9, en el que la masa de calibración tiene un espesor de masa de calibración mayor que un espesor combinado del cristal piezoeléctrico y la sección de unión de la base.
12. Un método de detectar vibraciones con un detector de vibraciones piezoeléctrico (100) como se ha descrito en la reivindicación 1, que comprende:

- unir el detector a un miembro de tubería, incluyendo el detector de vibraciones piezoeléctrico (100):
- al menos un cristal piezoeléctrico (102, 302) que tiene una superficie superior y una superficie inferior; y
- 5 una base (400) que tiene una sección de unión (402), incluyendo la base una primera masa de calibración (106) y una segunda masa de calibración (106) y que definen una muesca (132) entre la primera masa de calibración y la segunda masa de calibración;
- en el que la primera masa de calibración tiene un espesor de masa de calibración mayor que el espesor de la sección de unión de la base y la segunda masa de calibración tiene un espesor de masa de calibración mayor que el espesor de la sección de unión de la base;
- en el que la sección de unión define una superficie de unión;
- 10 en el que una de entre la superficie superior y la superficie inferior del al menos un cristal piezoeléctrico está unida a la superficie de unión de la base;
- siendo las masas de calibración primera y segunda exteriores al cristal piezoeléctrico; y
- en el que las masas de calibración se utilizan para regular la rigidez del detector;
- vigilar una salida de señal del detector;
- 15 recibir una salida de señal desde el detector; y
- determinar que la señal indica que ha sido detectada una vibración.
13. El método de la reivindicación 12, en el que la recepción de la salida de señal incluye convertir una amplitud de señal de vibración en una señal proporcional para tratamiento en un ordenador.
- 20 14. El método de la reivindicación 12, en el que la determinación de que una señal indica que ha sido detectada una vibración incluye comparar la salida de señal recibida con un nivel de umbral predeterminado.
15. El método de la reivindicación 14, en el que la salida de señal recibida es marcada como un suceso de disparo si la salida de señal recibida rebasa el nivel de umbral predeterminado.
16. El método de la reivindicación 15, que comprende además enviar una señal de alerta a un proveedor del servicio cuando se determina un suceso de disparo.

25

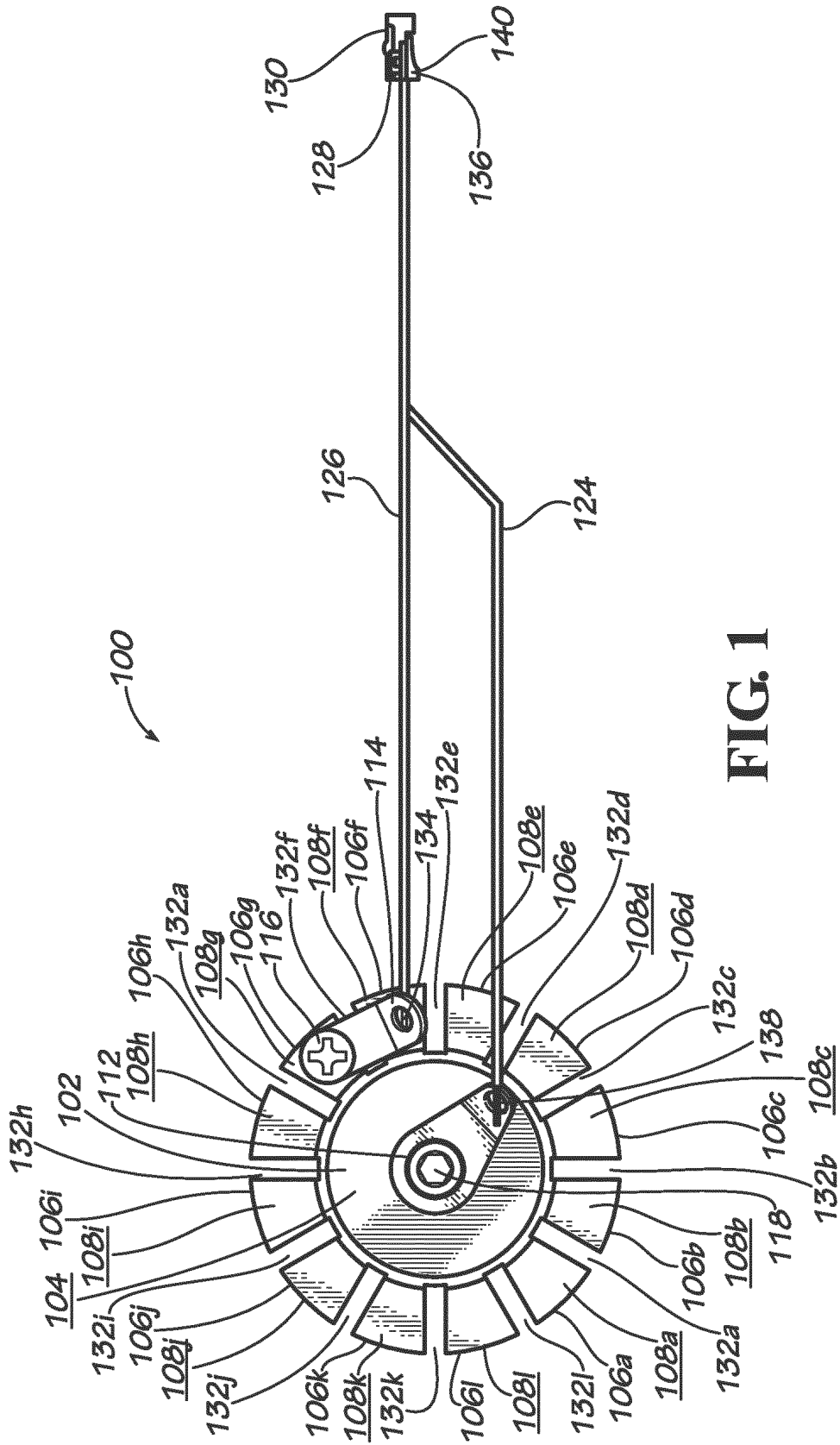
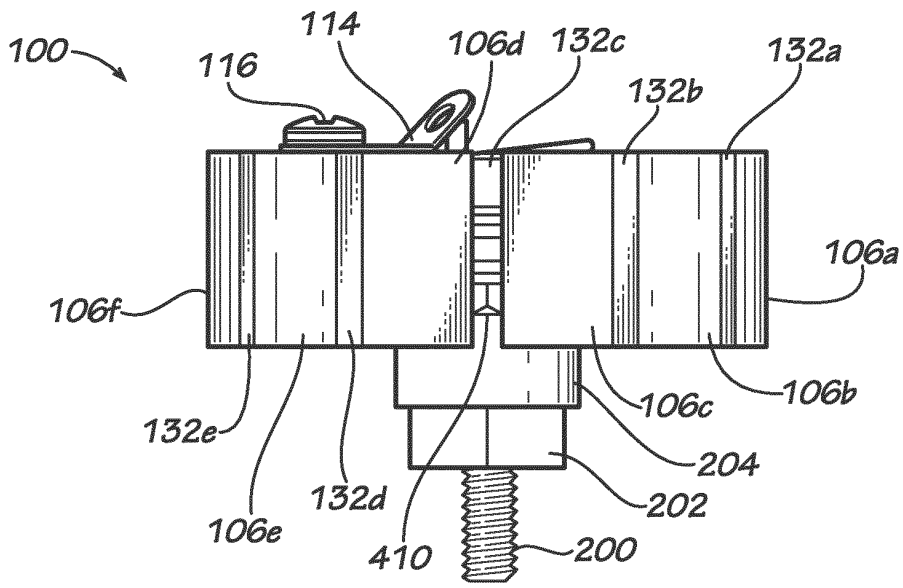
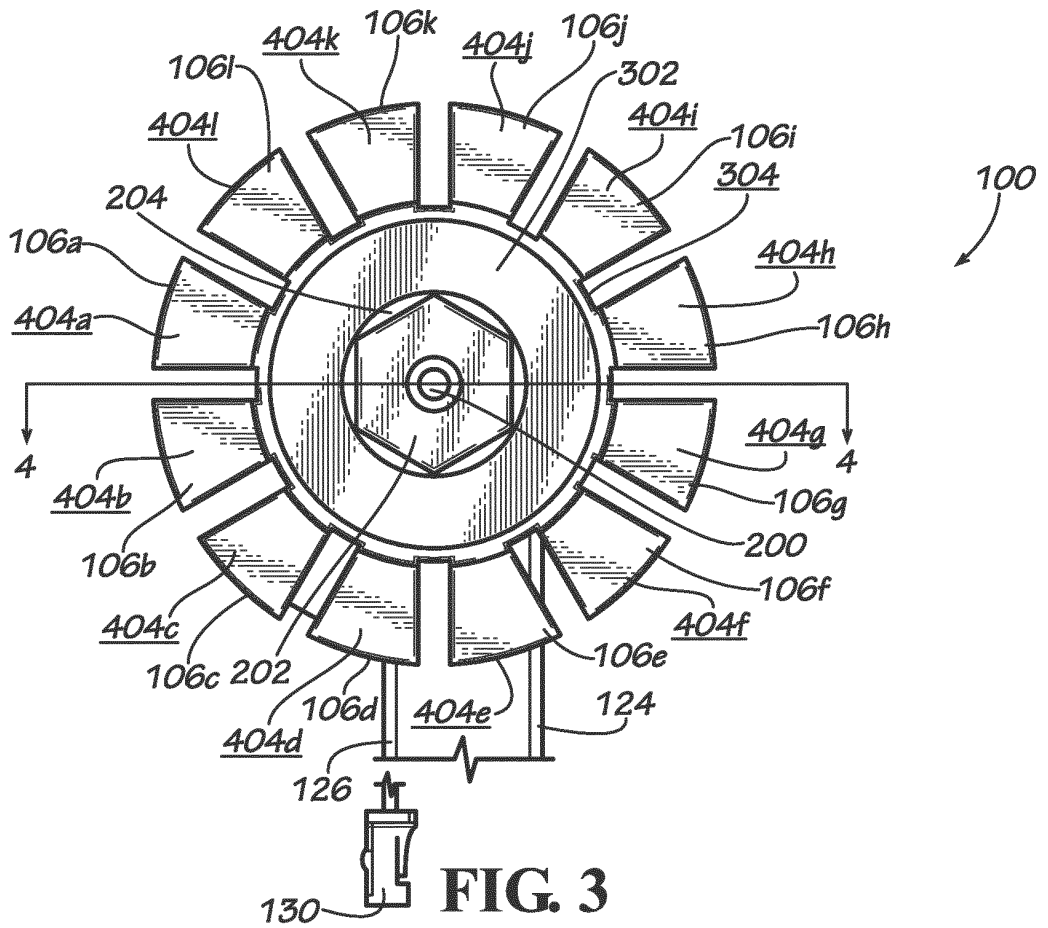


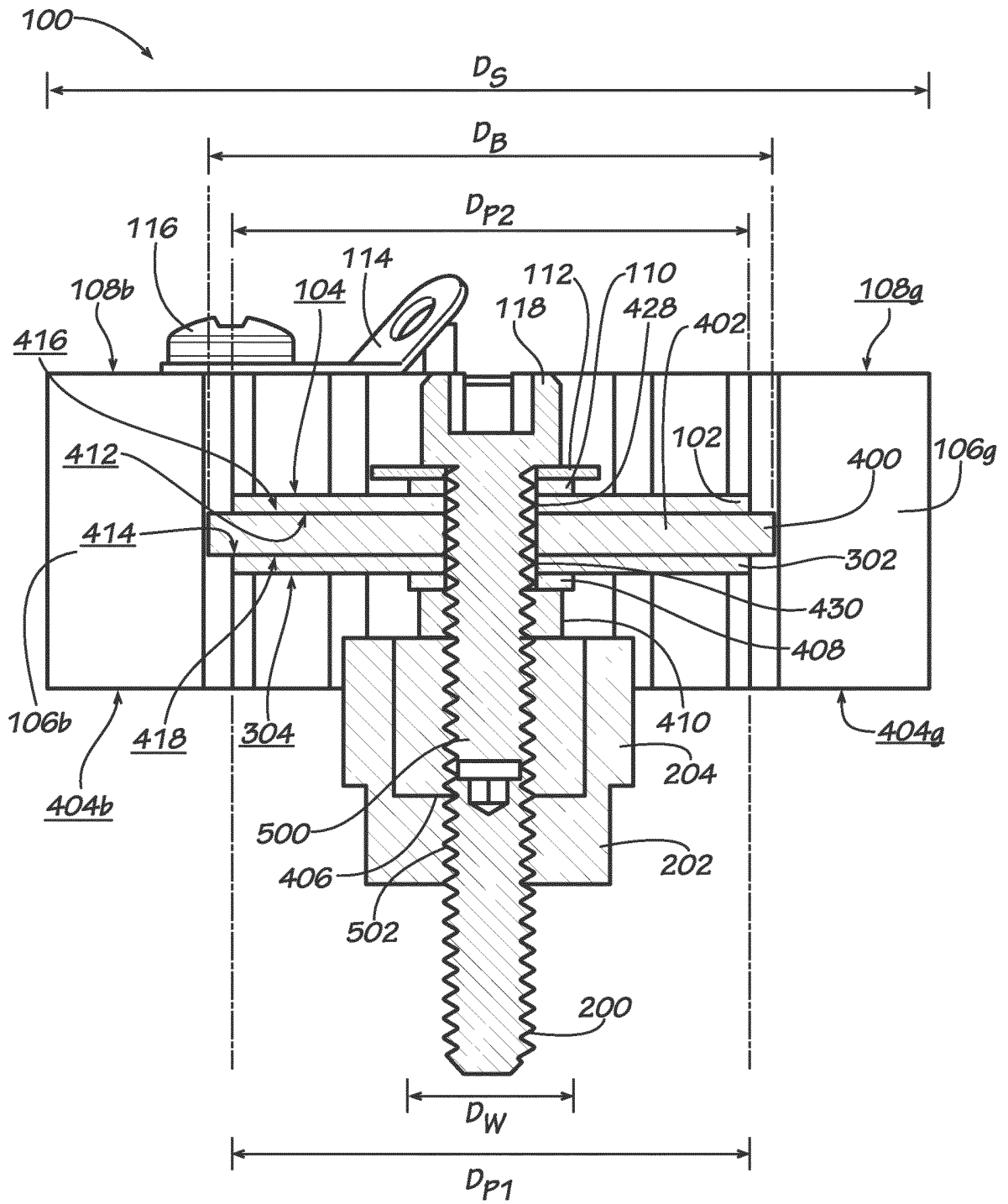
FIG. 1



**FIG. 2**



**FIG. 3**



**FIG. 4**



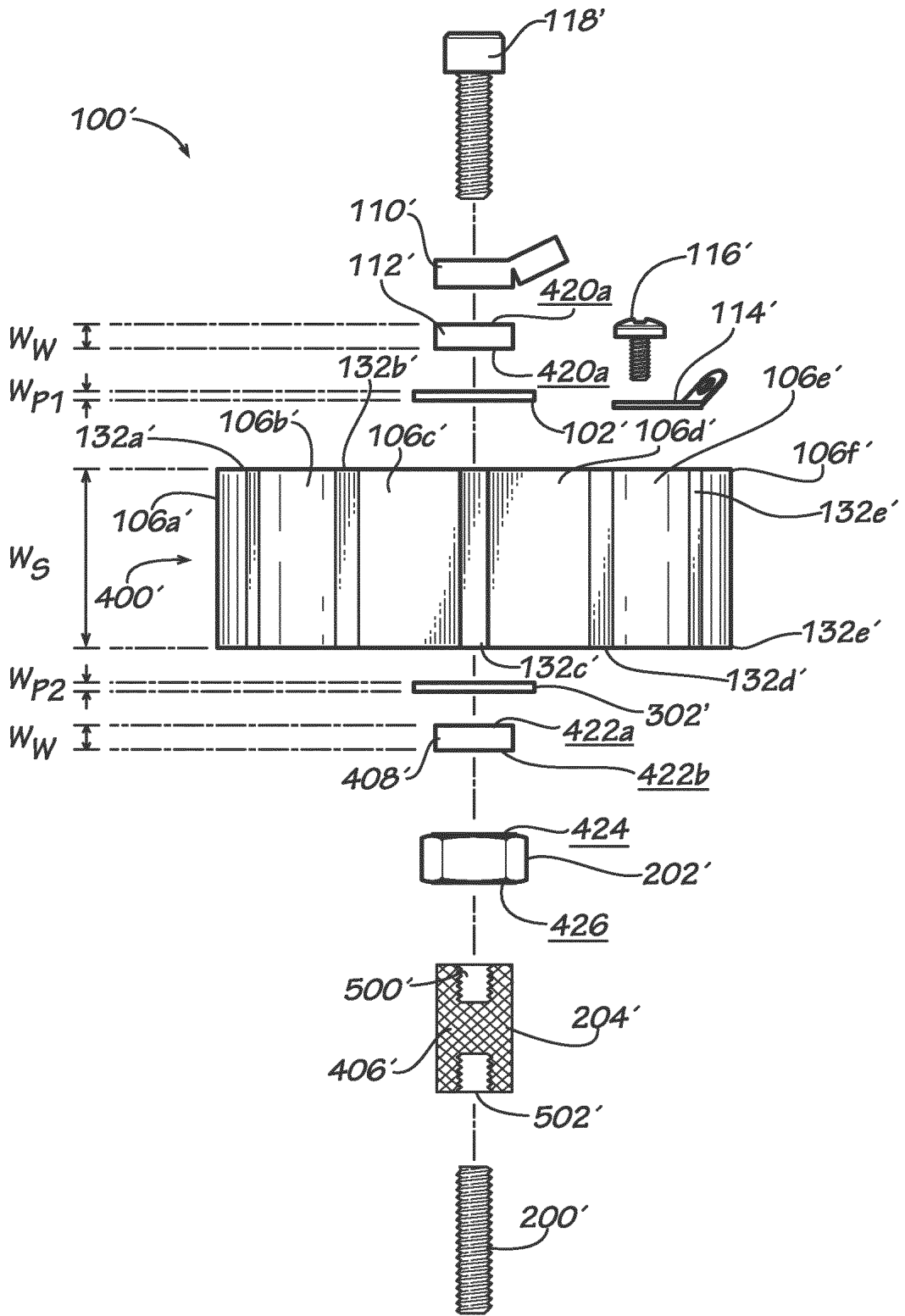
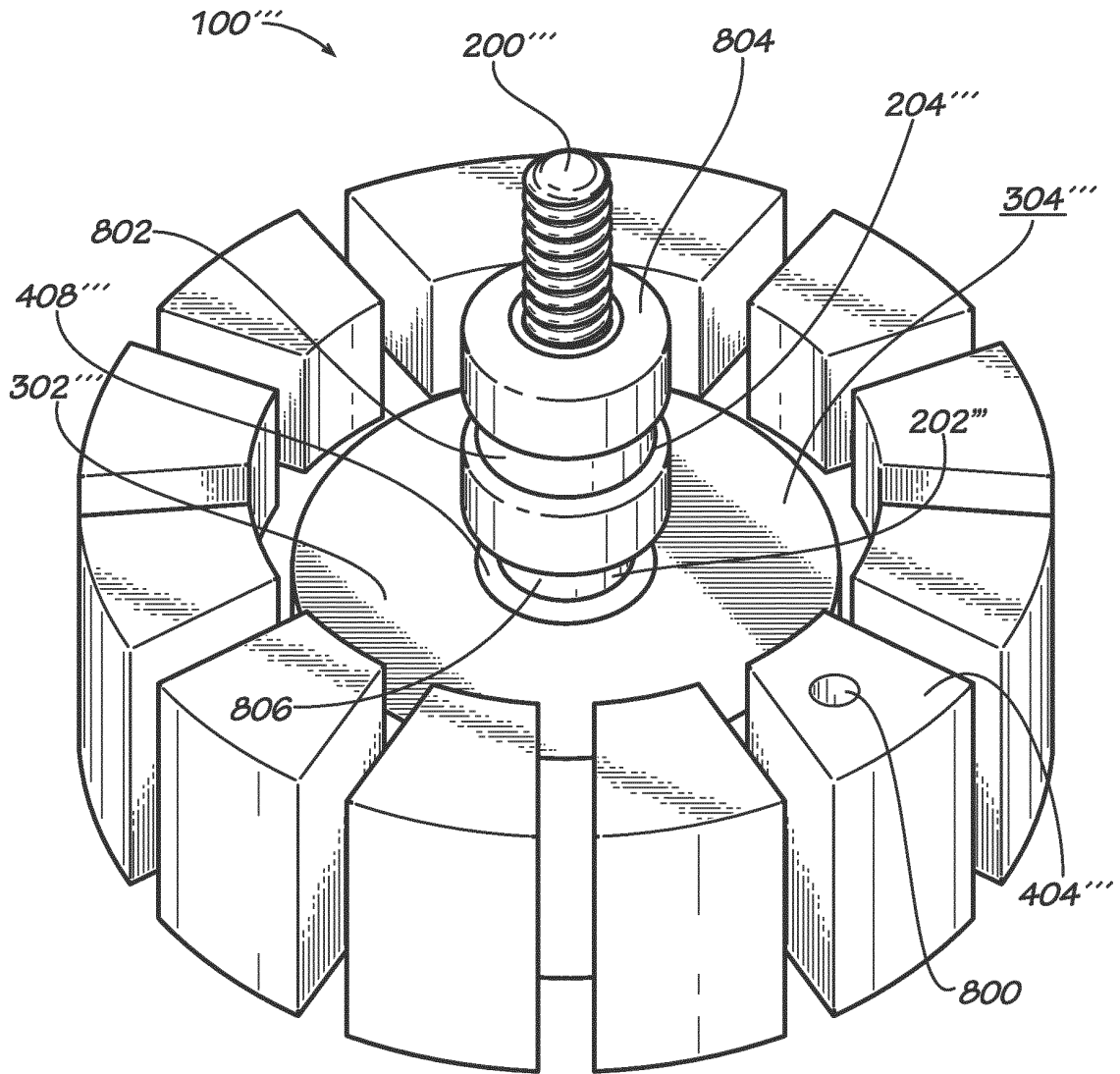
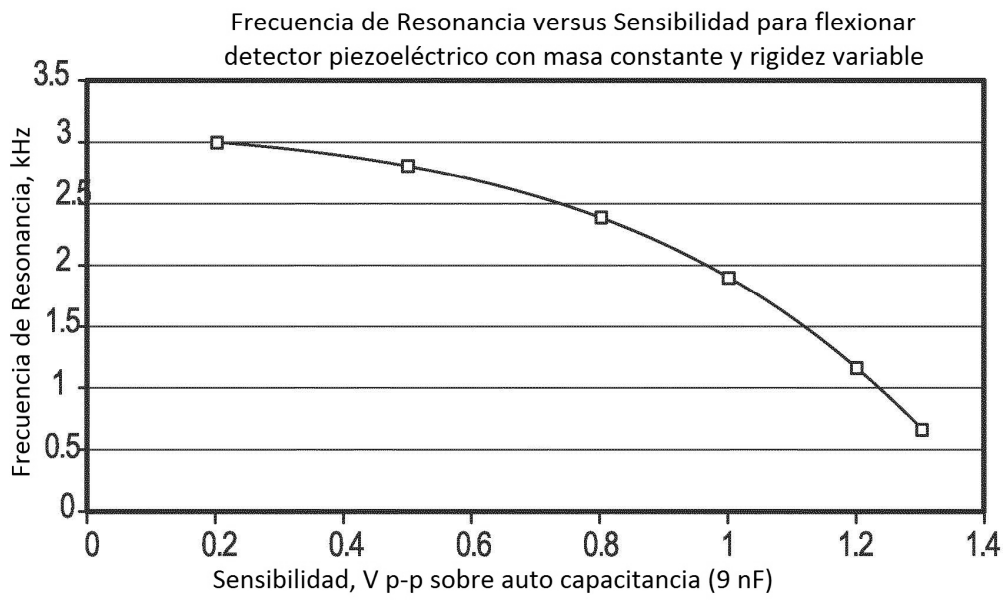


FIG. 5





**FIG. 8**



**FIG. 9**