

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 018 307**

51 Int. Cl.:

G01F 1/84 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.02.2018 PCT/US2018/018711**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.09.2018 WO18160382**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.02.2018 E 18761838 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2025 EP 3589922**

54 Título: **Medidor de flujo másico**

30 Prioridad:

03.03.2017 US 201715449472

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

14.05.2025

73 Titular/es:

**BAKER HUGHES HOLDINGS LLC (100.00%)
17021 Aldine Westfield
Houston, TX 77073, US**

72 Inventor/es:

SEEBERG, BJORN ERIK

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 3 018 307 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

Medidor de flujo másico

5 **Antecedentes**

10 Las tuberías se emplean frecuentemente para transportar fluidos tales como productos derivados del petróleo, gas natural y agua. Las mediciones del flujo de fluido se realizan frecuentemente en ubicaciones de tuberías seleccionadas para cuantificar la cantidad de fluido que se mueve a través de una tubería en tiempo real. Si bien el flujo de fluido se puede medir en base al volumen o a la masa, se pueden preferir las mediciones del flujo másico. Como ejemplo, las mediciones del flujo másico pueden ser más precisas que las mediciones del flujo volumétrico porque, a diferencia del volumen, la masa no varía debido a los cambios de presión o temperatura.

15 US-5 392 656 A describe un caudalímetro por fuerza de inercia en el conducto no vibratorio. US-4 420 983 A describe un dispositivo de medición del flujo másico.

20 Si bien los medidores de flujo másico se han desarrollado para la medición directa del flujo másico de fluidos a baja presión, estos dispositivos pueden no ser adecuados para su uso con fluidos a alta presión. Como resultado, se han desarrollado técnicas para medir indirectamente el flujo másico de fluidos a alta presión basándose en la presión diferencial y/o la densidad del fluido. Sin embargo, dado que la densidad del fluido puede ser difícil de medir con precisión, la precisión de estas mediciones indirectas de flujo másico también puede verse afectada.

Resumen

25 La invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

En general, se proporcionan sistemas y métodos para la medición del flujo másico de fluidos.

30 En una realización, se proporciona un medidor de flujo másico que incluye una carcasa tubular, una placa flexible, un accionador y al menos dos sensores. La carcasa tubular se extiende a lo largo de un eje longitudinal y está configurada para recibir un flujo de fluido a través de ella. La placa flexible tiene una longitud situada a lo largo del eje longitudinal y está, al menos parcialmente, acoplada a una pared interior de la carcasa tubular en los extremos longitudinales opuestos de la placa flexible, de manera que la placa flexible puede vibrar en torsión. El accionador está configurado para aplicar un par oscilante a la placa flexible suficiente para hacer vibrar la placa flexible en torsión. Cada uno de los
35 al menos dos sensores está configurado para medir las oscilaciones de la placa flexible en función del tiempo en diferentes ubicaciones que surgen del par oscilante aplicado. El accionador se coloca fuera de la carcasa tubular en o adyacente a una superficie exterior de la carcasa tubular.

40 En determinadas realizaciones, el medidor de flujo másico puede incluir un dispositivo informático en comunicación eléctrica con los al menos dos sensores. El dispositivo informático puede configurarse para determinar un flujo másico de fluido que pasa a través de la carcasa tubular basándose en un cambio de fase entre las oscilaciones de la placa flexible medido por los al menos dos sensores.

45 La carcasa tubular puede tener una variedad de configuraciones. En una realización, una longitud de la carcasa tubular puede extenderse entre una entrada de la carcasa y una salida de la carcasa, y la carcasa tubular puede ser sustancialmente recta entre las mismas.

50 La placa flexible también puede tener una variedad de configuraciones. En una realización, la placa flexible puede configurarse para deformarse elásticamente cuando vibra. En determinados aspectos, un ancho de la placa flexible puede ser aproximadamente igual a un diámetro interior de la carcasa tubular. La placa flexible está, al menos parcialmente, acoplada a la carcasa tubular en los extremos longitudinales opuestos de la placa flexible. En otro aspecto, la placa flexible puede incluir al menos una aleta que se extiende radialmente hacia fuera desde un eje hueco. En otro aspecto, la placa flexible puede incluir cuatro aletas.

55 En otra realización, el accionador puede configurarse para aplicar el par oscilante en aproximadamente un centro longitudinal de la placa flexible de la placa flexible.

En otra realización, el accionador puede configurarse para aplicar el par oscilante al eje hueco de la placa flexible.

60 Los al menos dos sensores también pueden tener una variedad de configuraciones. En una realización, los al menos dos sensores pueden configurarse para la medición de las oscilaciones en ubicaciones aproximadamente simétricas a cada lado de un centro longitudinal de la placa flexible.

65 También se proporcionan métodos para medir el flujo másico a través de una carcasa tubular. En una realización, un método incluye impulsar, mediante un accionador, una placa flexible dentro de una carcasa tubular para que vibre en modo torsional a una frecuencia seleccionada, recibir un flujo de fluido dentro de la carcasa tubular, medir una

pluralidad de oscilaciones de la placa flexible que vibra en función del tiempo en dos posiciones diferentes a lo largo de una longitud de la placa flexible y determinar un flujo másico del fluido dentro de la carcasa tubular basándose en un cambio de fase entre las oscilaciones medidas en las dos posiciones diferentes, en donde el accionador se coloca fuera de la carcasa tubular en o adyacente a una superficie exterior de la carcasa tubular.

5 La placa flexible incluye extremos longitudinales opuestos que están unidos a una pared interior de la carcasa tubular.

10 En otra realización, el impulso de la placa flexible puede incluir la aplicación de un par oscilante en aproximadamente un centro longitudinal de la placa flexible. En otra realización, la frecuencia seleccionada puede ser una frecuencia de resonancia de la placa flexible.

En otros aspectos, las oscilaciones se pueden medir en ubicaciones aproximadamente simétricas a cada lado de un centro longitudinal de la placa flexible.

15 En otra realización, la placa flexible puede deformarse elásticamente en caso de vibración.

20 En otra realización, la placa flexible puede incluir al menos una aleta que se extiende radialmente hacia fuera desde un eje hueco y la placa flexible puede impulsarse para que vibre en un modo torsional aplicando un par oscilante al eje hueco.

En otra realización, la placa flexible puede incluir cuatro aletas.

Descripción de los dibujos

25 Estas y otras características se entenderán más fácilmente a partir de la siguiente descripción detallada tomada junto con los dibujos adjuntos, en los que:

30 la Figura 1 es una vista en perspectiva de una realización ilustrativa de un medidor de flujo másico que incluye una carcasa tubular y una placa flexible colocada dentro de la carcasa tubular;

la Figura 2 es una vista lateral del medidor de flujo másico de la Figura 1 con la placa flexible en una posición no accionada;

35 la Figura 3 es una vista lateral del medidor de flujo másico de la Figura 1 con la placa flexible en una posición accionada y retorcida;

la Figura 4A es una vista en perspectiva de una realización de la placa flexible incluyendo dos aletas;

40 la Figura 4B es una vista en perspectiva de una realización de la placa flexible incluyendo cuatro aletas;

la Figura 5A es una vista en perspectiva de las fuerzas impulsoras aplicadas a un modelo de elementos finitos de una placa flexible;

45 la Figura 5B es una vista en perspectiva que muestra una forma deformada simulada de la placa flexible de la Figura 5A debido a las fuerzas impulsoras aplicadas;

la Figura 5C es una vista en perspectiva de las fuerzas de Coriolis aplicadas a un modelo de elementos finitos de la placa flexible;

50 la Figura 5D es una vista en perspectiva que muestra una forma deformada simulada de la placa flexible de la Figura 5C debido a las fuerzas de Coriolis aplicadas;

55 la Figura 6 es un gráfico que ilustra una realización ilustrativa de un cambio de fase simulado en función del flujo másico para el medidor de flujo másico de la Figura 2; y

la Figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra una realización ilustrativa de un método para medir el flujo másico.

60 Se indica que los dibujos no están necesariamente a escala. Los dibujos están destinados a representar únicamente aspectos típicos del objeto descrito en el presente documento y, por lo tanto, no deben considerarse como limitativos del alcance de la descripción.

Descripción detallada

65 Ahora se describirán determinadas realizaciones ilustrativas para proporcionar una comprensión global de los principios de la estructura, función, fabricación y uso de los sistemas, dispositivos y métodos descritos en la presente memoria. Uno o más ejemplos de estas realizaciones se ilustran en los dibujos adjuntos. Los expertos en la técnica

entenderán que los sistemas, dispositivos y métodos descritos específicamente en el presente documento e ilustrados en los dibujos adjuntos son realizaciones a modo de ejemplo no limitativas y que el alcance de la presente invención se define únicamente por las reivindicaciones. Las características ilustradas o descritas en relación con una realización a modo de ejemplo pueden combinarse con las características de otras realizaciones. Se pretende que tales modificaciones y variaciones se incluyan dentro del alcance de la presente invención. Además, en la presente descripción, los componentes con nombres similares de las realizaciones tienen generalmente características similares y, por lo tanto, dentro de una realización particular, cada característica de cada componente de nombre similar no se desarrolla necesariamente de manera completa.

Los medidores de flujo másico pueden funcionar haciendo vibrar un conducto que transporta un fluido que fluye entre una entrada y una salida. La vibración del conducto se puede describir mediante una oscilación, una variación de una medida del conducto (p. ej., la posición) alrededor de un valor central. La masa del fluido que fluye resiste el movimiento de vibración y hace que el conducto se retuerza. Este retorcimiento da como resultado un retardo temporal (cambio de fase) de las oscilaciones del conducto entre el lado de entrada y el lado de salida y este cambio de fase se ve directamente afectado por la masa que pasa a través del tubo. Sin embargo, los fluidos a alta presión se transportan frecuentemente en conductos de paredes gruesas que pueden ser difíciles de hacer vibrar con la fuerza suficiente para este tipo de mediciones. Por consiguiente, se proporciona un medidor de flujo másico que incluye una carcasa tubular que contiene una placa flexible que vibra de manera que se retuerza (torsión). La vibración de la placa es alterada por el flujo de fluido a través de ella. Al medir las oscilaciones de la placa flexible en diferentes ubicaciones, se puede medir el desfase de las oscilaciones de la placa y relacionarlo con el flujo másico de un fluido que se desplaza a través de la carcasa tubular, independientemente de su espesor. Otras realizaciones están dentro del alcance de la materia descrita.

En la presente memoria se explican realizaciones de la descripción con respecto a la medición del flujo másico de los fluidos que fluyen a través de los conductos. Sin embargo, un experto en la técnica apreciará que las realizaciones descritas pueden emplearse para medir el flujo másico en otras estructuras y/o geometrías sin límite.

La Figura 1 ilustra una realización ilustrativa de un canal 100 de fluido (p. ej., un conducto o tubería) que contiene un fluido 102 que fluye y un medidor 200 de flujo másico acoplado al mismo en los extremos respectivos, al menos parcialmente. En determinados aspectos, el canal 100 de fluido se puede colocar dentro de un entorno circundante S, tal como un entorno submarino. Como se explica en detalle a continuación, el medidor 200 de flujo másico puede incluir una carcasa tubular 202 y una placa flexible 204 configurada para vibrar en torsión de manera que la medición del movimiento de la placa flexible 204 pueda estar relacionada con el flujo másico del fluido 102. Por lo tanto, independientemente de la geometría de la carcasa tubular 202, el flujo másico puede medirse directamente mediante el medidor 200 de flujo másico.

La Figura 2 ilustra el medidor 200 de flujo másico con más detalle. Como se muestra, la carcasa tubular 202 puede tener la forma de un cilindro generalmente circular que tiene una longitud L, un espesor de pared T y un radio interior R que definen una cavidad 206. La longitud L de la carcasa tubular 202 y la cavidad 206 puede extenderse a lo largo de un eje longitudinal A entre una entrada 202i de la carcasa y una salida 202o de la carcasa situadas en los extremos terminales opuestos de la carcasa tubular 202. En determinados aspectos, la carcasa tubular 202 puede ser sustancialmente recta entre la entrada 202i de la carcasa y la salida 202o de la carcasa.

La carcasa tubular 202 puede tener cualquier geometría tubular formada por cualquier proceso y material. En determinados aspectos, la geometría y/o los materiales de la carcasa tubular 202 pueden ser aproximadamente los mismos que los del canal 100 de fluido. La carcasa tubular 202 puede estar formada por cualquier material adecuado incluidos, por ejemplo, polímeros, cerámicas, metales y aleaciones metálicas (p. ej., aceros, cobre y aleaciones de cobre, aluminio y aleaciones de aluminio, etc.).

La entrada 202i de la carcasa y la salida 202o de la carcasa también pueden configurarse para formar un acoplamiento estanco a los fluidos (no se muestra) con el canal 100 de fluido o con cualquier otro sistema de transporte de fluidos (p. ej., bombas, dispensadores, etc.). Ejemplos de acoplamientos estancos a los fluidos pueden incluir, pero no de forma limitativa, enganches roscados, abrazaderas, soldaduras y similares. Un experto en la técnica apreciará que las realizaciones alternativas del medidor 200 de flujo másico pueden formarse íntegramente con el canal 100 de fluido.

La Figura 2 también ilustra la placa flexible 204 colocada dentro de la cavidad 206. La placa flexible 204 se puede extender en la dirección del eje longitudinal A de la carcasa tubular 202 y se puede acoplar, al menos parcialmente, a una pared interior de la carcasa tubular 202 (p. ej., una pared de la cavidad 206) en una o más ubicaciones. Como ejemplo, un primer extremo terminal 204a de la placa flexible 204 puede estar, al menos parcialmente, acoplado a la carcasa tubular 202 en o cerca de la entrada 202i de la carcasa y un segundo extremo terminal 204b de la placa flexible 204 puede estar, al menos parcialmente, acoplado a la carcasa tubular 202 en o cerca de la salida 202o de la carcasa. Un experto en la técnica apreciará que la placa flexible puede montarse alternativamente en la carcasa tubular en uno solo de los extremos terminales de la placa flexible. En otras realizaciones, se puede colocar más de una placa flexible 204 dentro de la carcasa (no se muestra).

Como se muestra en la Figura 2, la placa flexible 204 puede tener la forma de una placa sustancialmente plana. Un ancho W de la placa flexible 204 puede ser aproximadamente igual a un diámetro interior (2R) de la carcasa tubular

202, de manera que cualquier espacio entre la pared de la cavidad 206 y la placa flexible 204 sea pequeño y no permita que una cantidad significativa del fluido 102 pase entre los bordes opuestos de la placa flexible 204 (p. ej., verticalmente en la Figura 2). Alternativamente, la placa flexible puede adoptar una forma curva en un estado no deformado o no flexionado (no se muestra).

5 El medidor 200 de flujo másico incluye además un accionador 210. Como se muestra en la Figura 2, el accionador 210 se coloca fuera de la carcasa tubular 202 en o adyacente a una superficie exterior de la carcasa tubular 202 y aproximadamente en un centro longitudinal de la placa flexible 204. Un experto en la técnica apreciará que realizaciones alternativas del medidor de flujo (no se muestran) pueden colocar el accionador en diferentes posiciones longitudinales y/o radiales.

15 El accionador 210 puede configurarse para aplicar un par oscilante a la placa flexible 204 para impulsar a la placa flexible para que vibre en un modo torsional a una frecuencia seleccionada. En determinados aspectos, el accionador 210 puede ser un accionador electromagnético y al menos una parte de la placa flexible 204 puede formarse a partir de un material magnético (p. ej., metales, aleaciones metálicas, aceros, polímeros, etc.). Como ejemplo, la placa flexible 204 puede incluir uno o más imanes permanentes incrustados. El accionador 210 también puede estar en comunicación eléctrica con un dispositivo informático 212. El dispositivo informático 212 puede controlar una corriente eléctrica hacia el accionador 210 para generar uno o más campos magnéticos que apliquen el par oscilante a la placa flexible 204 suficiente para impulsar a la placa flexible 204 para que vibre en torsión a la frecuencia seleccionada. En determinados aspectos, la frecuencia de vibración puede ser una frecuencia de resonancia de la placa flexible 204. En otras realizaciones, el accionador 210 puede configurarse para recibir retroalimentación de uno o más de los sensores para impulsar la placa flexible 204 en resonancia.

25 El medidor 200 de flujo másico también puede incluir una pluralidad de sensores configurados para medir el movimiento de la placa flexible 204 en función del tiempo en las posiciones corriente arriba y corriente abajo del centro longitudinal C con respecto al flujo de fluido 102. El movimiento de la placa flexible 204 se puede caracterizar por cualquier parámetro de la placa flexible 204 que oscile en función del tiempo cuando la placa flexible 204 vibre en torsión. Los parámetros ilustrativos pueden incluir, pero no de forma limitativa, parámetros lineales y/o angulares tales como la posición, la velocidad, la aceleración y el desplazamiento. En determinadas realizaciones, se puede medir el ángulo, la velocidad angular y la aceleración angular. En otros aspectos, se puede medir la tensión y/o la deformación. Cada uno de los sensores puede incluir una primera parte 214 de sensor (p. ej., 214a, 214b, 214c, 214d) y una pluralidad de segundas partes 216 de sensor (p. ej., 216a, 216b) correspondientes. Como ejemplo, las primeras partes 214 de sensor pueden ser un material magnético permanente colocado en una superficie exterior de la placa flexible 204 o incrustado, al menos parcialmente, dentro de la placa flexible 204 que genere campos magnéticos. Las segundas partes 216 de sensor pueden ser sensores de captación magnéticos que incluyan una bobina de captación en comunicación eléctrica con el dispositivo informático 212. La vibración de la placa flexible 204 produce una corriente dentro de la bobina de captación debido a la variación de los campos magnéticos generados por las primeras partes 214 de sensor en las segundas partes 216 de sensor. La salida de corriente por cada segunda parte 216 de sensor puede verse afectada por la velocidad de la primera parte 214 de sensor y/o una distancia de separación de la primera parte 214 de sensor que induce la corriente en su bobina de captación. El dispositivo informático 212 puede mantener una calibración, permitiendo que la salida de corriente se convierta en mediciones del parámetro oscilante de la placa flexible 204 en función del tiempo en la posición de cada primera parte 214 de sensor.

45 La colocación de cada primera parte 214 de sensor puede variar a lo largo y ancho de la placa flexible 204. Como se muestra en la Figura 2, las primeras partes 214a, 214b de sensor se pueden colocar en bordes laterales opuestos de la placa flexible 204 y corriente arriba del centro longitudinal C. Las primeras partes 214c, 214d de sensor se pueden colocar en bordes laterales opuestos de la placa flexible 204 y corriente abajo del centro longitudinal C. En determinados aspectos, la colocación de las primeras partes 214a, 214b de sensor corriente arriba y las primeras partes 214c, 214d de sensor corriente abajo puede ser aproximadamente simétrica con respecto al centro longitudinal C. Como ejemplo, las primeras partes 214a, 214b de sensor se pueden colocar aproximadamente equidistantes entre el accionador 210 y el primer extremo terminal 204a de la placa flexible 204 y en bordes laterales opuestos. De manera similar, las primeras partes 214c, 214d de sensor se pueden colocar aproximadamente equidistantes entre el accionador 210 y el segundo extremo terminal 204b de la placa flexible 204. De esta manera, las primeras partes 214a, 214d de sensor se pueden colocar a lo largo de un borde lateral común de la placa flexible 204 y las primeras partes 214b, 214c de sensor se pueden colocar a lo largo de otro borde lateral común de la placa flexible 204.

60 La Figura 3 ilustra el medidor 200 de flujo másico con la placa flexible 204 en torsión debido a un par aplicado, con referencia a los ejes ortogonales x, y, z. Como se muestra, el eje longitudinal A es paralelo al eje x. El accionador 210 puede aplicar el par ejerciendo fuerzas F_A de signo opuesto paralelas al eje y, y a lo largo del ancho de la placa flexible (p. ej., en bordes laterales opuestos de la placa flexible 204). Al variar la magnitud y el signo de la fuerza aplicada F_A , el par oscila e impulsa a la placa flexible 204 para que vibre en un modo torsional. Esta vibración torsional puede hacer que la placa flexible 204 gire alrededor del eje x con una velocidad angular Ω_x paralela al eje x, y que gire alrededor del eje y con una velocidad angular Ω_y paralela al eje y. Por ejemplo, al examinar una ubicación longitudinal X aproximadamente equidistante entre la entrada 202i de la carcasa y el centro longitudinal C, la velocidad angular en una primera mitad longitudinal 400 de la placa flexible 204 apunta en la dirección y negativa (dentro de la página) y la

velocidad angular en una segunda mitad longitudinal 402 de la placa flexible 204 apunta en la dirección y positiva (fuera de la página).

5 El medidor 200 de flujo másico puede medir el flujo másico del fluido 102 que fluye a través de la cavidad 206 por el efecto Coriolis. En resumen, el efecto Coriolis se refiere a una fuerza inercial (también denominada fuerza de Coriolis) que actúa sobre objetos en movimiento en relación con un marco de referencia rotatorio. La fuerza de Coriolis F_c actúa en una dirección que es un producto cruzado del eje de rotación y la dirección del movimiento del objeto. Es decir, la dirección de la fuerza de Coriolis es perpendicular al eje de rotación y a la dirección de movimiento del objeto.

10 Como se muestra en la Figura 3, hay dos marcos de referencia en rotación debido al par aplicado a la placa flexible 204, uno alrededor del eje x y uno alrededor del eje y. El objeto en movimiento en cada marco de referencia rotatorio es el fluido 102 que tiene una velocidad V_x paralela al eje x. Por consiguiente, no puede haber una fuerza de Coriolis que surja del flujo del fluido 102 paralelo al eje x con respecto al marco de referencia que rota alrededor del eje x, ya que el eje de rotación es el mismo que la dirección del flujo del fluido 102. Sin embargo, puede haber una fuerza de Coriolis distinta de cero para el flujo del fluido 102 en paralelo al eje x con respecto al marco de referencia que rota alrededor del eje y. El producto cruzado del eje de rotación (el eje y) y la dirección de movimiento del fluido 102 (el eje x) están en la dirección del eje z. Como también se muestra en la Figura 3, en la ubicación longitudinal X, la dirección de la fuerza de Coriolis está en la dirección z negativa en la primera mitad longitudinal 400 de la placa flexible 204 y en la dirección z positiva en la segunda mitad longitudinal 402 de la placa flexible 204. La magnitud de la fuerza de Coriolis puede variar con la distancia desde el centro del ancho de la placa flexible 204.

25 La fuerza de Coriolis se puede observar como un cambio de fase (cambio temporal) en las oscilaciones de la placa flexible 204 en función del tiempo en diferentes ubicaciones a lo largo de la longitud de la placa flexible 204 de la matriz. Como se ha explicado anteriormente, las oscilaciones pueden ser cualquier parámetro lineal y/o angular de la placa flexible 204 que oscile debido al par oscilante aplicado (p. ej., posición, ángulo, velocidad, aceleración, tensión, deformación, etc.). Por lo tanto, midiendo las oscilaciones de la placa flexible 204 en función del tiempo utilizando los sensores colocados corriente arriba y corriente abajo del centro longitudinal C, se puede medir el cambio de fase en las oscilaciones.

30 Como se explica con mayor detalle a continuación, el cambio de fase puede ser aproximadamente proporcional al flujo másico del fluido 102. Por lo tanto, con la calibración del medidor 200 de flujo másico para determinar la constante de proporcionalidad, el cambio de fase medido puede proporcionar una medición directa del flujo másico del fluido 102. En determinados aspectos, el dispositivo informático 212 puede recibir la constante de proporcionalidad y determinar el cambio de fase a partir de las oscilaciones medidas por los sensores para determinar el flujo másico del fluido 102.

35 En realizaciones alternativas, se puede variar el número de sensores. Como se muestra en la Figura 2, el medidor 200 de flujo másico incluye cuatro primeras partes 214a, 214b, 214c, 214d de sensor y dos segundas partes 216a, 216b de sensor. Sin embargo, en determinadas realizaciones, el medidor de flujo másico puede incluir un único sensor (p. ej., una primera parte 214 de sensor y una segunda parte 216 de sensor) colocado bien corriente arriba o bien corriente abajo del centro longitudinal C de la placa flexible. En esta configuración, el cambio de fase se puede determinar entre el par oscilante aplicado y la oscilación medida por el sensor único.

45 Las Figuras 4A-4B ilustran realizaciones alternativas de placas flexibles 400, 420, que incluyen una o más aletas. Las placas flexibles 400, 420 se pueden montar dentro del medidor 200 de flujo másico e incluir las primeras partes 214 de sensor, como se ha explicado anteriormente con respecto a la placa flexible 204. Como se muestra en las Figuras 4A-4B, la placa flexible 400 puede incluir un eje 402 y dos aletas 404a, 404b que se extienden radialmente hacia fuera desde la misma a aproximadamente 180° entre sí. La placa flexible 420 puede incluir un eje 402' y cuatro aletas 404a', 404b', 404c', 404d' que se extienden radialmente hacia fuera desde la misma a aproximadamente 90° entre sí. Las aletas pueden poseer aproximadamente el mismo ancho. En determinadas realizaciones, el eje 402, 402' puede ser hueco. Se puede aplicar un par oscilante al eje 402, 402' (p. ej., interno al eje cuando está hueco) para hacer que las placas flexibles 400, 420 vibren. Un experto en la técnica apreciará que el número de aletas y el ángulo entre las aletas se pueden variar según sea necesario. Como ejemplo, el número de aletas puede variar desde un mínimo de uno hasta cualquier número deseado.

55 Las Figuras 5A-5D ilustran la deformación de la placa flexible 500 predicha a partir de un modelo de Análisis por Elementos Finitos (AEF) que simula el movimiento vibratorio. En el modelo, se supone que la placa flexible 500 está formada de acero inoxidable con dimensiones de 300 mm x 100 mm x 4 mm. Como se muestra en la Figura 5A, las fuerzas F_A se aplican a los bordes laterales de la placa flexible 500 aproximadamente en un centro longitudinal para simular la aplicación de un par oscilante. En la simulación, la magnitud de F_A es de 10 N y se supone un amortiguamiento de $\zeta = 0,002$. La forma deformada 502 resultante de la placa flexible 500 se muestra en la Figura 5B. La Figura 5C ilustra la aplicación de las fuerzas de Coriolis F_c a la placa flexible 500. Las fuerzas de Coriolis son cero a lo largo del eje de retorcimiento (eje x) de la placa flexible 500 y como máximo en los bordes laterales de la placa flexible 500 con la mayor flexión. La Figura 5D ilustra una forma deformada 504 que resulta de la aplicación de las fuerzas de Coriolis. La suma de las deformaciones ilustradas en las Figuras 5B y 5D representa la deformación de la placa flexible 500 bajo la influencia de la fuerza impulsora y la fuerza de Coriolis. El sombreado de las Figuras 5B y 5D representa un desplazamiento lineal fuera del plano de las formas deformadas 502 y 504.

La Figura 6 ilustra una realización a modo de ejemplo de un cambio de fase simulado en función del flujo másico. El cambio de fase se puede calcular basándose en las oscilaciones a lo largo de un borde lateral de la placa flexible simulada, aproximadamente equidistante entre el centro longitudinal de la placa flexible y los extremos terminales opuestos (p. ej., de forma análoga a la ubicación de 214a, 214c). Como se muestra en la Figura 6, se observa una relación aproximadamente lineal entre la fase simulada y el flujo másico. Esta relación lineal se mantiene durante casi 14 μ s, lo que puede ser deseable y lograrse fácilmente en la práctica.

La Figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra una realización ilustrativa de un método 700 para medir el flujo másico. Como se muestra, en la operación 702, una placa flexible (p. ej., la placa flexible 204, 400, 420) puede impulsarse para que vibre en torsión a una frecuencia seleccionada dentro de una carcasa tubular (p. ej., la carcasa tubular 202). En la operación 704, se puede recibir un flujo de fluido dentro de la carcasa tubular. El flujo de fluido se puede recibir antes o después de que la placa flexible sea impulsada para que vibre. En la operación 706, se puede medir una pluralidad de oscilaciones de la placa flexible vibratoria en función del tiempo. La pluralidad de oscilaciones se puede medir en dos ubicaciones diferentes a lo largo de la longitud de la placa flexible (p. ej., simétricas alrededor de un centro longitudinal de la placa flexible). En la operación 710, se puede determinar un flujo másico del fluido dentro de la carcasa tubular basándose en un cambio de fase entre las oscilaciones medidas en las dos posiciones diferentes. Las realizaciones del método 700 pueden realizar las operaciones ilustradas en un orden diferente y añadir u omitir operaciones según sea necesario.

Los efectos técnicos ilustrativos de los métodos, sistemas y dispositivos descritos en la presente memoria incluyen, a modo de ejemplo no limitativo, la medición directa del flujo másico adecuado para conductos de pared muy espesa y fluidos a alta presión.

El objeto descrito en la presente memoria puede implementarse en un sistema de circuitos electrónicos digitales, o en software, firmware o hardware informáticos, incluyendo los medios estructurales descritos en esta memoria descriptiva y equivalentes estructurales de los mismos, o en combinaciones de estos. El objeto descrito en la presente memoria puede implementarse como uno o más productos de programas informáticos, tales como uno o más programas informáticos incorporados de forma tangible en un soporte de información (p. ej., en un dispositivo de almacenamiento legible por máquina), o incorporados en una señal propagada, para su ejecución por, o para controlar el funcionamiento de, el aparato de procesamiento de datos (p. ej., un procesador programable, un ordenador o múltiples ordenadores). Un programa informático (también conocido como programa, software, aplicación de software o código) se puede escribir en cualquier lenguaje de programación, incluidos lenguajes compilados o interpretados, y pueden implementarse en cualquier forma, incluso como un programa independiente o como un módulo, componente, subrutina u otra unidad adecuada para su uso en un entorno informático. Un programa informático no corresponde necesariamente a un archivo. Un programa puede almacenarse en una parte de un archivo que contenga otros programas o datos, en un solo archivo dedicado al programa en cuestión, o en múltiples archivos coordinados (p. ej., archivos que almacenen uno o más módulos, subprogramas o partes de código). Un programa informático puede implementarse para que se ejecute en un ordenador o en múltiples ordenadores en un sitio o distribuidos en múltiples sitios y que estén interconectados por una red de comunicación.

Los procesos y flujos lógicos descritos en esta memoria descriptiva, incluyendo las etapas del método del objeto descrito en la presente memoria, se pueden llevar a cabo mediante uno o más procesadores programables que ejecuten uno o más programas informáticos para realizar funciones del objeto descrito en la presente memoria, operando con datos de entrada y generando salida. Los procesos y flujos lógicos también se pueden llevar a cabo mediante, y un aparato del objeto descrito en la presente memoria puede implementarse como, un sistema de circuitos lógicos con un propósito especial, p. ej., una matriz de puertas programable en campo (Field Programmable Gate Array - FPGA), o un circuito integrado específico de la aplicación (Application Specific Integrated Circuit - ASIC).

Los procesadores adecuados para la ejecución de un programa informático incluyen, a modo de ejemplo, microprocesadores tanto para aplicaciones generales como especiales, y uno o más procesadores de cualquier tipo de ordenador digital. Por lo general, un procesador recibirá instrucciones y datos de una memoria de solo lectura o de una memoria de acceso aleatorio o de ambas. Los elementos esenciales de un ordenador son un procesador para ejecutar instrucciones, y uno o más dispositivos de memoria para almacenar instrucciones y datos. Generalmente, un ordenador también incluirá o estará acoplado operativamente para recibir datos de, o transferir datos a, o ambos, uno o más dispositivos de almacenamiento masivo para almacenar datos, p. ej., discos magnéticos, discos magneto-ópticos o discos ópticos. Los soportes de información adecuados para incorporar instrucciones y datos de programas informáticos incluyen todas las formas de memoria no volátil, incluidos a modo de ejemplo dispositivos de memoria semiconductores, (p. ej., EPROM, EEPROM y dispositivos de memoria flash); discos magnéticos (p. ej., discos duros internos, o discos extraíbles); discos magneto-ópticos; y discos ópticos (p. ej., discos CD y DVD). El procesador y la memoria pueden complementarse con o incorporarse en un sistema de circuitos lógicos con un propósito especial.

Para proporcionar una interacción con un usuario, las realizaciones del objeto descrito en la presente memoria se pueden implementar en un ordenador que tenga un dispositivo de visualización, p. ej., un monitor de tubos de rayos catódicos (CRT) o una pantalla de cristal líquido (LCD), para mostrar información al usuario. y un teclado y un puntero (p. ej., un ratón o una bola de seguimiento), con los que el usuario pueda proporcionar entradas al ordenador. También

se pueden utilizar otros tipos de dispositivos para proporcionar interacción con un usuario. Por ejemplo, la retroalimentación proporcionada al usuario puede ser cualquier forma de retroalimentación sensorial (p. ej., retroalimentación visual, retroalimentación auditiva o retroalimentación táctil), y la entrada del usuario puede recibirse en cualquier forma, incluyendo una entrada acústica, de voz, o táctil.

5 Las técnicas descritas en la presente memoria pueden implementarse usando uno o más módulos. Como se usa en la presente memoria, el término “módulo” se refiere al software, firmware, hardware informáticos, y/o diversas combinaciones de los mismos. Sin embargo, como mínimo, los módulos no deben interpretarse como software que no se implemente en hardware, firmware, o como que no se grabe en un medio de almacenamiento no transitorio grabable por procesador (es decir, los módulos no son software en sí). De hecho, un “módulo” debe interpretarse como que siempre incluye al menos algún hardware físico no transitorio, tal como una parte de un procesador u ordenador. Dos módulos diferentes pueden compartir el mismo hardware físico (p. ej., dos módulos diferentes pueden utilizar el mismo procesador e interfaz de red). Los módulos descritos en la presente memoria pueden combinarse, integrarse, separarse y/o duplicarse para soportar diversas aplicaciones. Además, una función descrita en la presente memoria como realizada en un módulo particular, puede realizarse en uno o más de otros módulos y/o por uno o más de otros dispositivos, en lugar de o además de la función realizada en el módulo en particular. Además, los módulos pueden implementarse a través de múltiples dispositivos y/u otros componentes locales o remotos entre sí. Además, los módulos pueden moverse de un dispositivo y añadirse a otro dispositivo, y/o pueden incluirse en ambos dispositivos.

20 El objeto descrito en la presente memoria puede implementarse en un sistema informático que incluya un componente *back-end* (p. ej., un servidor de datos), un componente de *middleware* (p. ej., un servidor de aplicaciones), o un componente de *front-end* (p. ej., un ordenador cliente que tenga una interfaz gráfica de usuario o un navegador web a través del cual un usuario pueda interactuar con una implementación del objeto descrito en la presente memoria), o cualquier combinación de dichos componentes *back-end*, *middleware* y *front-end*. Los componentes del sistema pueden interconectarse mediante cualquier forma o medio de comunicación de datos digitales, p. ej., una red de comunicaciones. Los ejemplos de redes de comunicaciones incluyen una red de área local (“LAN”) y una red de área amplia (“WAN”), p. ej., Internet.

30 El lenguaje de aproximación, como se usa en la presente memoria a lo largo de la memoria descriptiva y las reivindicaciones, puede aplicarse para modificar cualquier representación cuantitativa que pudiera variar de manera permisible sin resultar en un cambio en la función básica con la que se relaciona. Por consiguiente, un valor modificado por un término o términos, tales como “aproximadamente” y “sustancialmente”, no debe limitarse al valor preciso especificado. En al menos algunos casos, el lenguaje de aproximación puede corresponder a la precisión de un instrumento para medir el valor. Aquí y a lo largo de la memoria descriptiva y las reivindicaciones, las limitaciones de intervalo pueden combinarse y/o intercambiarse, dichos intervalos se identifican e incluyen todos los subintervalos contenidos en estos, a menos que el contexto o el lenguaje indiquen otra cosa.

40 Un experto en la técnica apreciará características y ventajas adicionales de la invención basándose en las realizaciones descritas anteriormente. Por consiguiente, la presente solicitud no debe limitarse por lo que se ha mostrado y descrito particularmente, excepto como se indica por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un medidor (200) de flujo másico que comprende:
 - 5 una carcasa tubular (202) que se extiende a lo largo de un eje longitudinal y está configurada para recibir un flujo de fluido a través de ella;
 - una placa flexible (204) que tiene una longitud situada a lo largo del eje longitudinal y está, al menos parcialmente, acoplada a una pared interior de la carcasa tubular (202) en los extremos longitudinales opuestos de la placa flexible, de manera que la placa flexible puede vibrar en torsión;
 - 10 un accionador (210) configurado para aplicar un par oscilante a la placa flexible (204) suficiente para hacer vibrar la placa flexible (204) en torsión; y
 - al menos dos sensores (214, 216) configurados cada uno para medir una pluralidad de oscilaciones de la placa flexible (204) en función del tiempo en diferentes ubicaciones que surgen del par aplicado,
 - 15 **caracterizado por que** el accionador (210) se coloca fuera de la carcasa tubular (202) en o adyacente a una superficie exterior de la carcasa tubular (202).
2. El medidor de flujo másico de la reivindicación 1, que comprende además un dispositivo informático (212) en comunicación eléctrica con los al menos dos sensores (214, 216) y configurado para determinar un flujo másico del fluido que pasa a través de la carcasa tubular (202) basándose en un cambio de fase entre las oscilaciones de la placa flexible (204) medido por los al menos dos sensores (214, 216).
3. El medidor de flujo másico de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde una longitud de la carcasa tubular (202) se extiende entre una entrada (202i) de la carcasa y una salida (202o) de la carcasa y es sustancialmente recta entre las mismas.
4. El medidor de flujo másico de cualquier reivindicación anterior, en donde la placa flexible (204) está configurada para deformarse elásticamente cuando vibra.
5. El medidor de flujo másico de cualquier reivindicación anterior, en donde un ancho de la placa flexible (204) es aproximadamente igual a un diámetro interior de la carcasa tubular (202).
6. El medidor de flujo másico de cualquier reivindicación anterior, en donde la placa flexible (204) incluye al menos una aleta (404) que se extiende radialmente hacia fuera desde un eje hueco.
7. El medidor de flujo másico de la reivindicación 6, en donde la placa flexible (204) incluye cuatro aletas (404a', 404b', 404c', 404d').
8. El medidor de flujo másico de cualquier reivindicación anterior, en donde el accionador (210) está configurado para aplicar el par oscilante aproximadamente en un centro longitudinal de la placa flexible (204).
9. El medidor de flujo másico de la reivindicación 6, en donde el accionador (210) está configurado para aplicar el par oscilante al eje hueco de la placa flexible (204).
10. El medidor de flujo másico de cualquier reivindicación anterior, en donde los al menos dos sensores (214, 216) están configurados para la medición de las oscilaciones en ubicaciones aproximadamente simétricas a cada lado de un centro longitudinal de la placa flexible (204).
11. Un método para medir un flujo másico a través de una carcasa tubular (202), comprendiendo el método:
 - 50 impulsar, mediante un accionador (210), una placa flexible (204) dentro de una carcasa tubular (202) para que vibre en un modo torsional a una frecuencia seleccionada,
 - en donde la placa flexible (204) incluye extremos longitudinales opuestos que están unidos a una pared interior de la carcasa tubular (202);
 - 55 recibir un flujo de fluido dentro de la carcasa tubular (202);
 - medir una pluralidad de oscilaciones de la placa flexible (204) vibratoria en función del tiempo en dos posiciones diferentes de la placa flexible (204); y
 - determinar un flujo másico del fluido dentro de la carcasa tubular (202) basándose en un cambio de fase entre las oscilaciones medidas en las dos posiciones diferentes,
 - 60 **caracterizado por que** el accionador (210) se coloca fuera de la carcasa tubular (202) en o adyacente a una superficie exterior de la carcasa tubular (202).
12. El método de la reivindicación 11, en donde el impulso de la placa flexible (204) comprende aplicar un par aproximadamente en un centro longitudinal de la placa flexible (204).

ES 3 018 307 T3

13. El método de la reivindicación 11 o la reivindicación 12, en donde la frecuencia seleccionada es una frecuencia de resonancia de la placa flexible (204).
- 5 14. El método de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en donde las oscilaciones se miden en ubicaciones aproximadamente simétricas a cada lado de un centro longitudinal de la placa flexible (204).
15. El método de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, en donde la placa flexible (204) se deforma elásticamente en caso de vibración.
- 10 16. El método de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, en donde la placa flexible (204) incluye al menos una aleta (404) que se extiende radialmente hacia fuera desde un eje hueco y la placa flexible (204) es impulsada para vibrar en un modo torsional aplicando un par oscilante al eje hueco.
- 15 17. El método de la reivindicación 16, en donde la placa flexible (204) incluye cuatro aletas (404a', 404b', 404c', 404d').

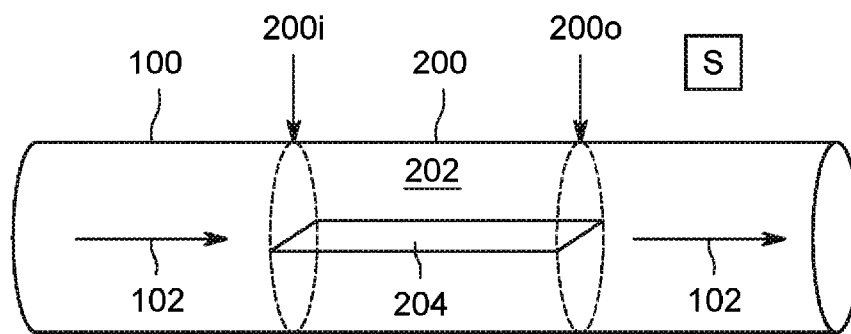


Figura 1

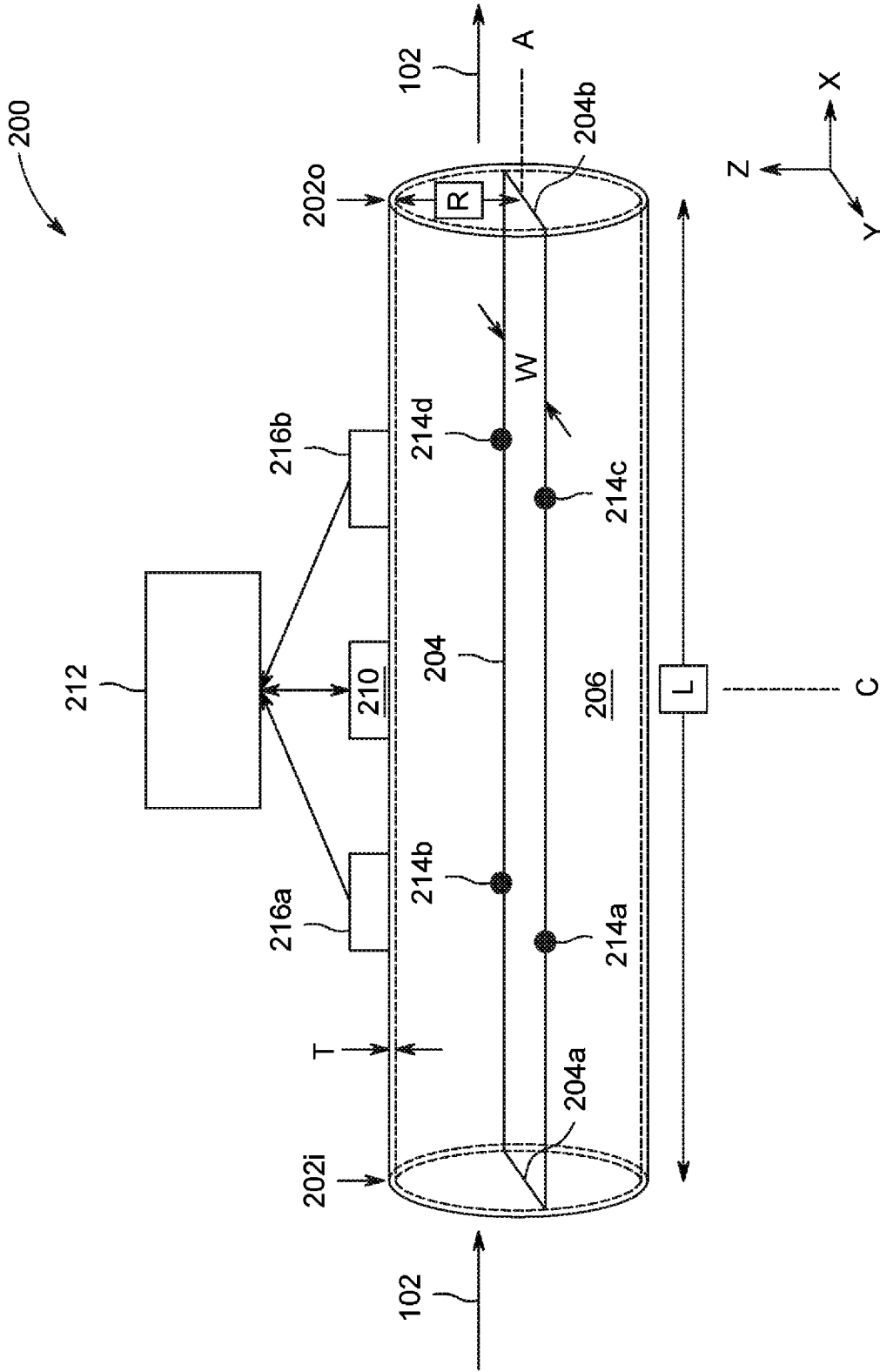


Figure 2

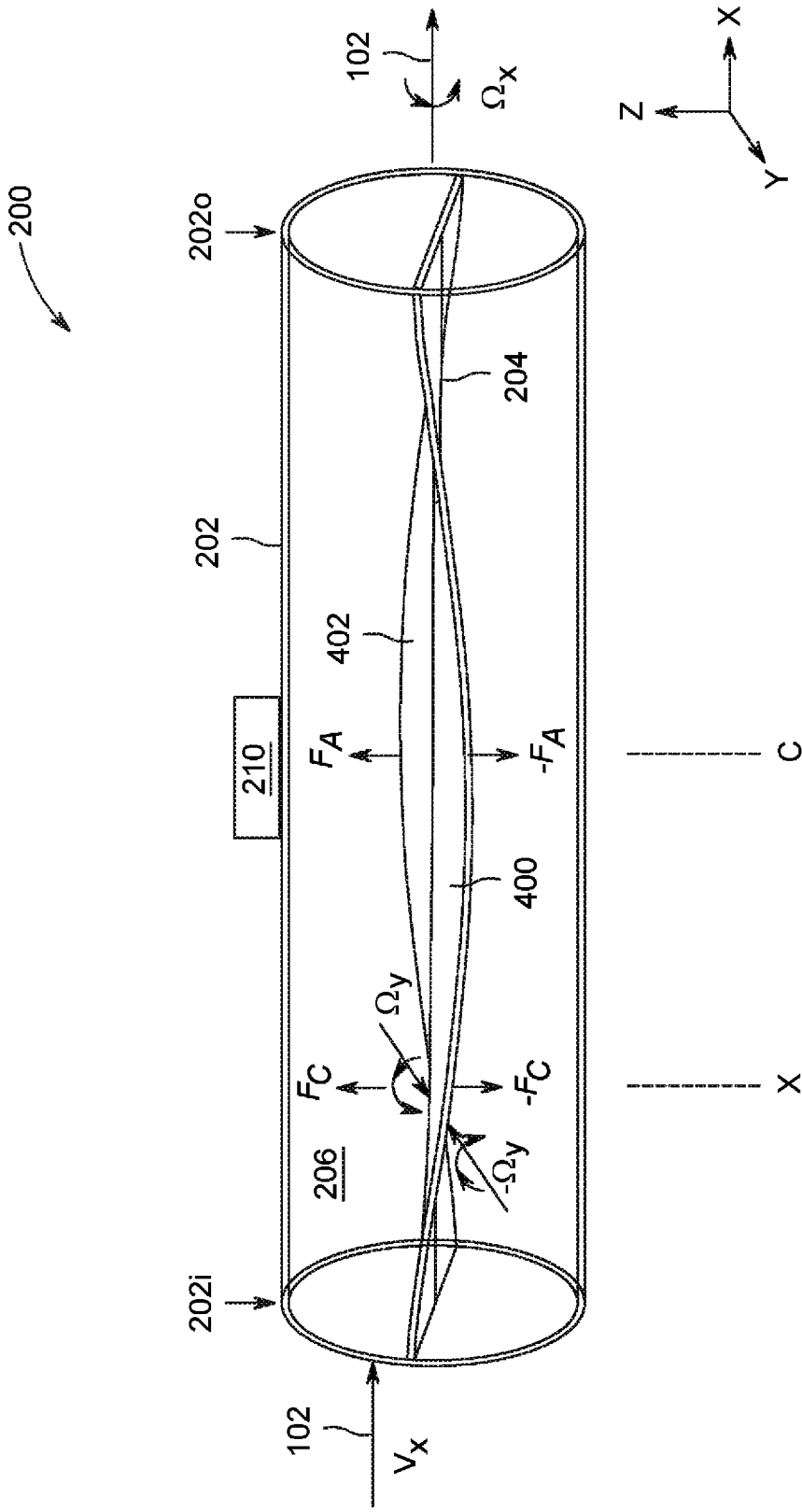


Figura 3

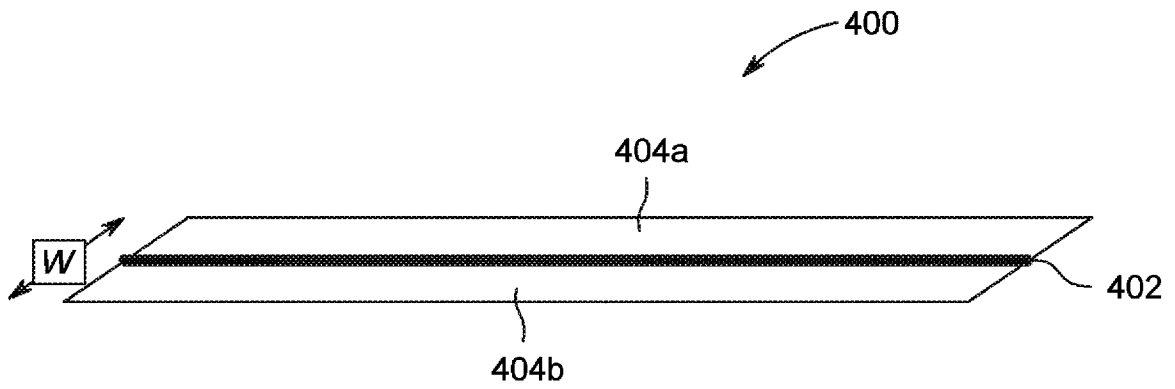


Figura 4A

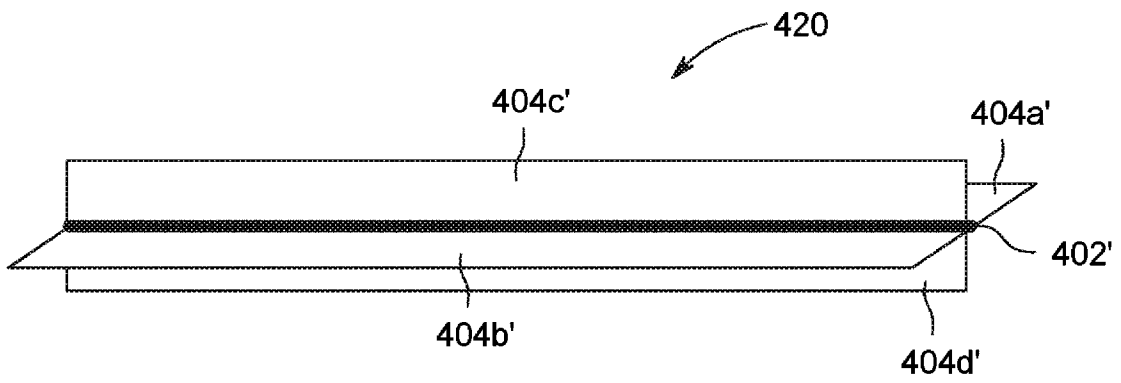


Figura 4B

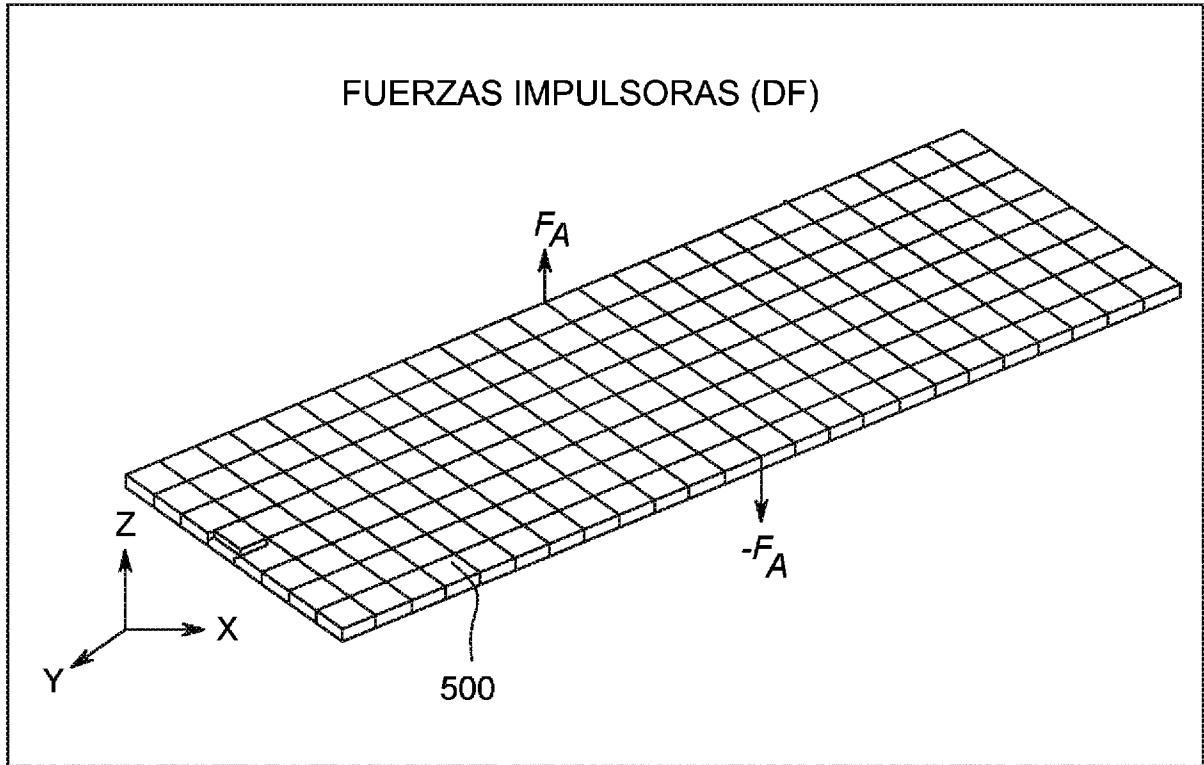


Figura 5A

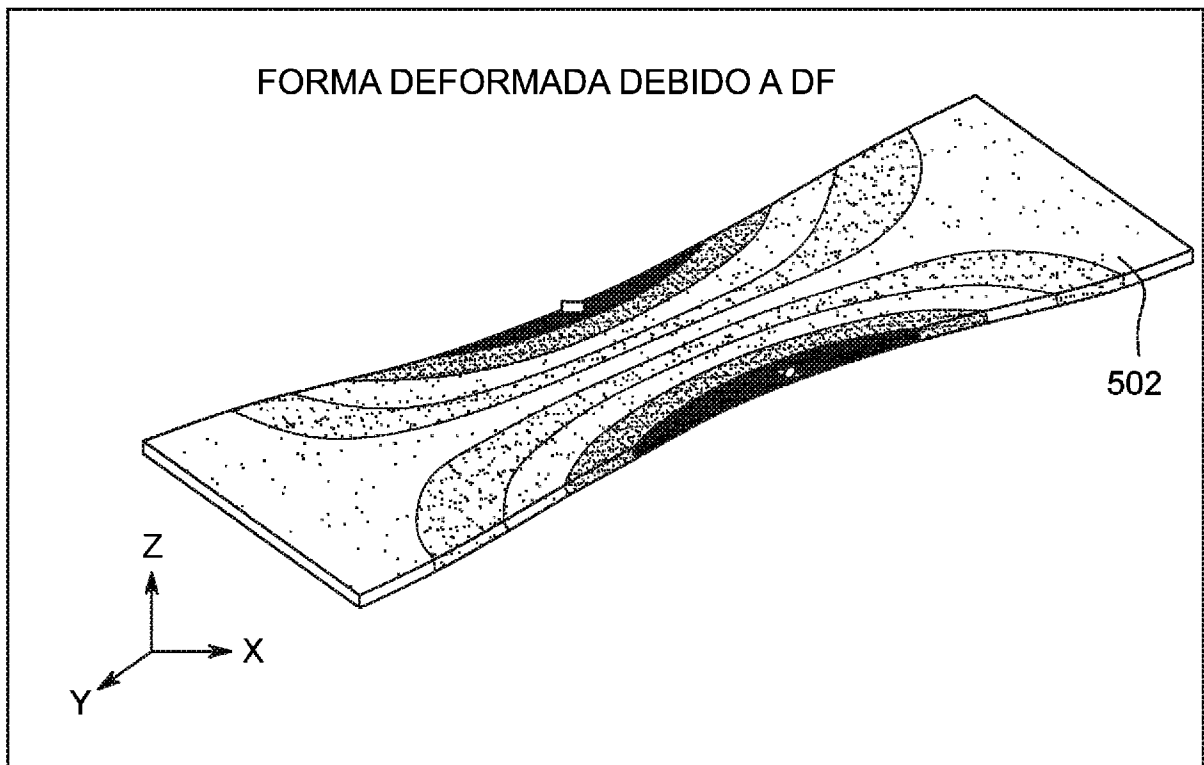


Figura 5B

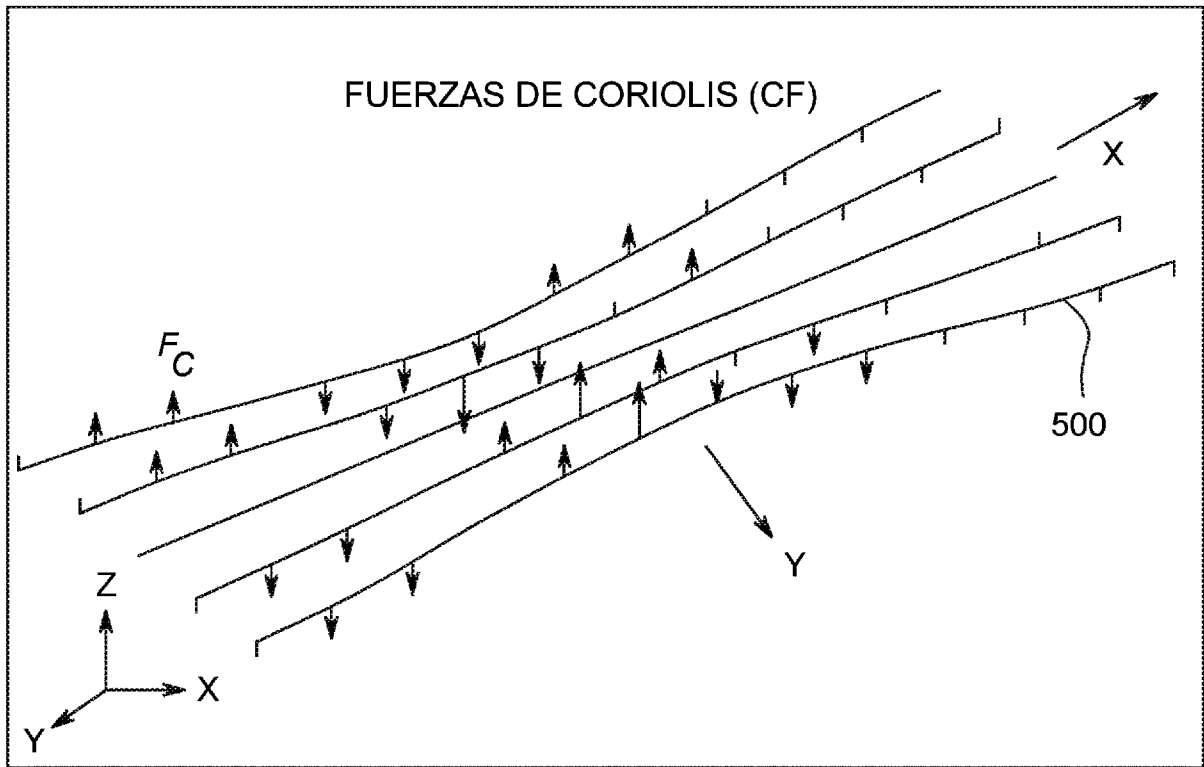


Figura 5C

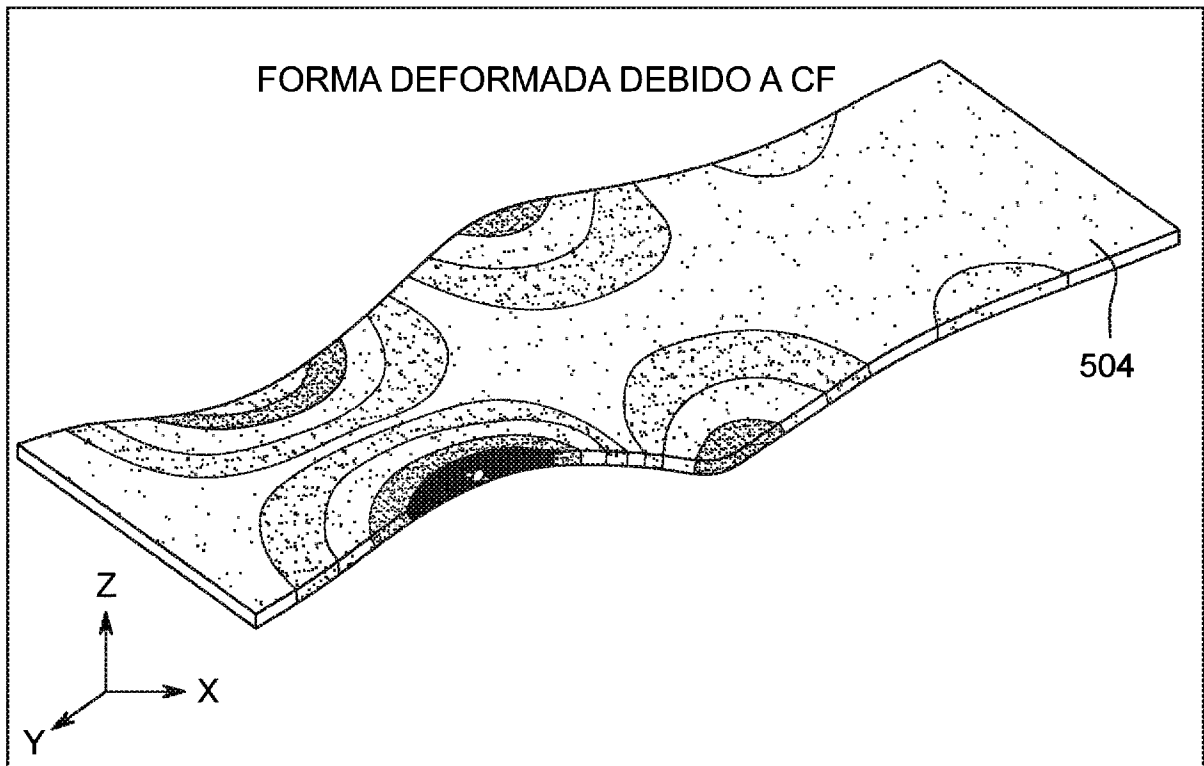


Figura 5D

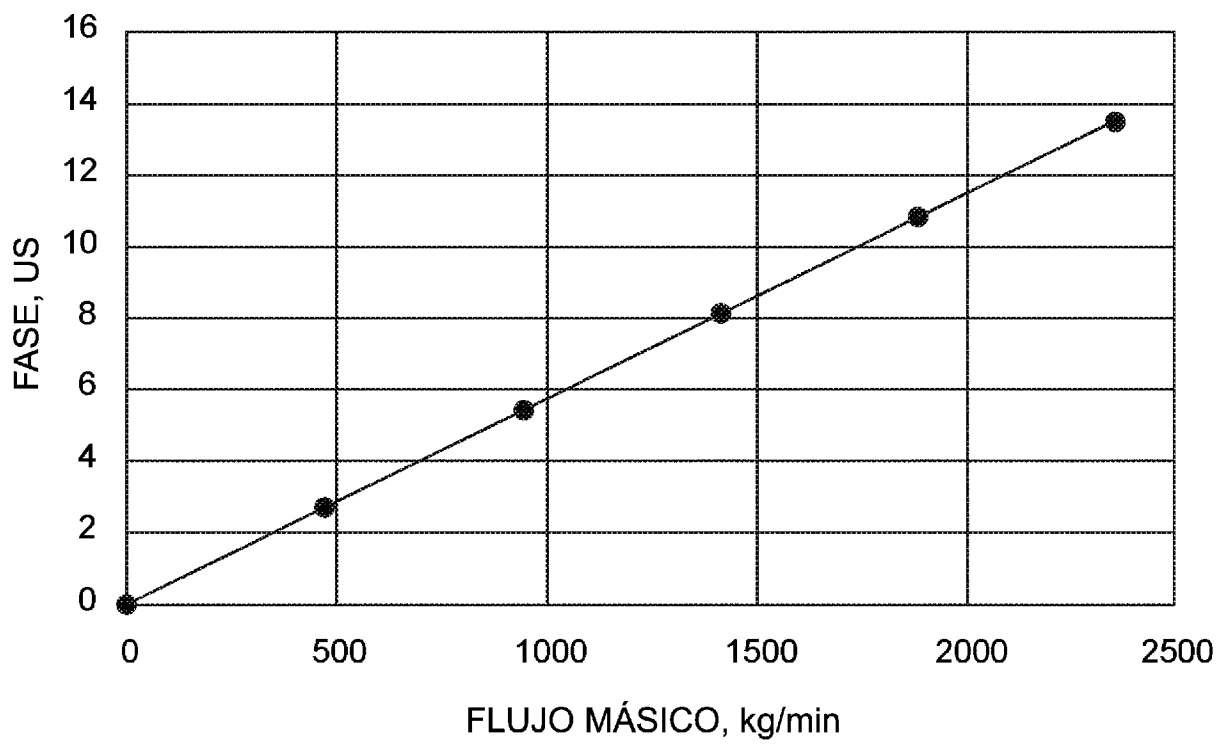


Figura 6

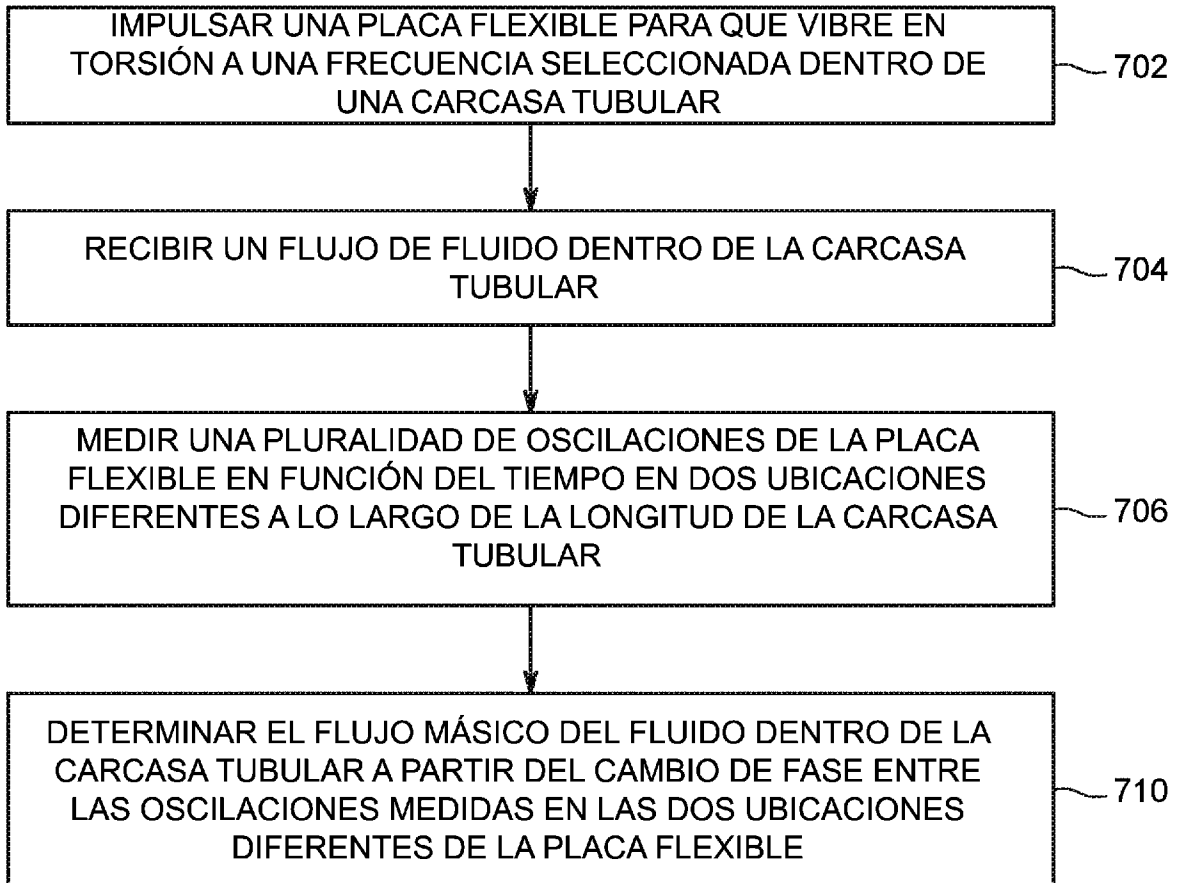


Figura 7