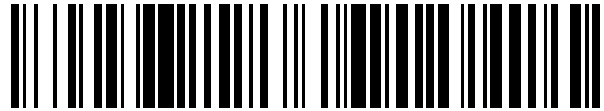


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 775 741**

51 Int. Cl.:

G01K 11/26 (2006.01)

G01L 11/04 (2006.01)

G01L 19/00 (2006.01)

G01D 5/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.12.2016 PCT/GB2016/054002**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.08.2017 WO17141002**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2016 E 16822231 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.01.2020 EP 3417257**

54 Título: **Sensor de presión y de temperatura de resonancia acústica**

30 Prioridad:

15.02.2016 GB 201602670

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

28.07.2020

73 Titular/es:

**FT TECHNOLOGIES (UK) LTD (100.0%)
Sunbury House Brooklands Close
Sunbury on Thames, TW16 7DX, GB**

72 Inventor/es:

KAPARTIS, SAVVAS

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 775 741 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sensor de presión y de temperatura de resonancia acústica

5 Campo de la divulgación

La presente divulgación se refiere a un sensor para la medición de la presión barométrica o, más generalmente, de la presión y/o de la temperatura de fluidos.

10 Antecedentes de la divulgación

Son conocidos los termómetros que miden la temperatura de un gas mediante la detección del tiempo de tránsito de una señal acústica en el gas. Dichos termómetros son capaces de responder rápida y precisamente a cambios de temperatura en el gas debido a que su elemento de detección incluye el gas en sí mismo. Más aún, dichos termómetros miden la temperatura media del volumen del gas en la trayectoria de la señal acústica, a diferencia de otros tipos de termómetros que miden la temperatura en un área o volumen más localizados.

Como un ejemplo, se hace referencia a los documentos de la técnica anterior:

20 EP 2 853 871 A1, GB 931 233 A, US 3 621 453 A, US 4 869 097 A y US 4 265 125 A, todos los cuales divulgan un sensor de temperatura de resonancia acústica, en el que la temperatura de un fluido se calcula a partir de su frecuencia de resonancia dentro de un resonador acústico.

25 La presente invención busca proporcionar un sensor novedoso para medir la presión barométrica y/o la temperatura del aire y otros fluidos.

Sumario de la divulgación

30 De acuerdo con un primer aspecto de la divulgación, se proporciona un sensor de acuerdo con la reivindicación 1.

De acuerdo con un segundo aspecto de la divulgación se proporciona un método de medición de la temperatura de un fluido de acuerdo con la reivindicación 8.

35 Realizaciones de la divulgación proporcionan un sensor que puede fabricarse de una forma compacta, robusta, efectiva en coste y fácil de usar adecuada para un amplio intervalo de aplicaciones.

40 Realizaciones de la divulgación pueden poseer una o más de las siguientes propiedades: operativa a temperatura muy alta y muy baja; rápida, sensible y precisa; requiriendo poco o ningún mantenimiento periódico; disipando una potencia mínima; provocando una perturbación despreciable al fluido que se mide; y funcionando bajo condiciones ambientales extremas.

45 Realizaciones de la presente divulgación pueden integrarse en el caudalímetro de fluido de resonancia acústica descrito en la publicación de patente europea EP 0801311 B1 con solamente un mínimo incremento en la complejidad y con mínimo coste extra.

Se describen a continuación realizaciones específicas, únicamente a modo de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

50 La figura 1 es una vista en sección transversal esquemática de un sensor de una realización de la presente divulgación.

La figura 2 es una vista esquemática de la sección AA o la sección BB del sensor mostrado en la figura 1.

55 La figura 3 es una vista en sección transversal esquemática de un sensor de una segunda realización de la presente divulgación.

La figura 4 es una vista esquemática de la sección CC del sensor mostrado en la figura 3.

La figura 5 es un diagrama que muestra una respuesta de señal en el dominio de la frecuencia de ejemplo de un resonador acústico.

60 Descripción detallada de realizaciones preferidas

65 Con referencia a las figuras 1 a 5, un sensor 2 para medición de la presión y/o temperatura del fluido comprende una unidad electrónica 4 y una unidad resonadora 6. En esta realización, el fluido es aire. Sin embargo, el sensor puede funcionar con otros fluidos y la divulgación se extiende a sensores para medir la presión y/o la temperatura de fluidos en general.

La unidad electrónica 4 se acopla a la unidad resonadora 6 y se dispone para hacer que la unidad resonadora 6 genere una señal acústica durante un intervalo de frecuencias. La unidad electrónica 4 también se dispone para usar una respuesta de la señal acústica de la unidad resonadora 6 para deducir la presión barométrica y/o la temperatura del aire en la unidad resonador a 6. En esta realización, la unidad electrónica 4 incorpora un procesador y una memoria (no mostrados) que contiene instrucciones que hacen que el procesador implemente el método descrito a continuación.

La unidad resonadora 6 se proporciona con un primer reflector 10 y un segundo reflector 12. Los reflectores 10, 12 son placas circulares dispuestas en paralelo entre sí y separadas una distancia entre ellas mediante una pluralidad de separadores 14 situados a intervalos alrededor del perímetro de los reflectores 10, 12. Se muestran cuatro separadores 14 en las realizaciones divulgadas. En esta realización, los reflectores 10, 12 son también coaxiales entre sí, de modo que se posicionan en los extremos de un cilindro imaginario. Pueden proporcionarse otras formas de reflectores 10, 12 y los reflectores 10, 12 pueden separarse de formas diferentes, por ejemplo, mediante una estructura de soporte externa o uniéndose a lados opuestos de un recipiente o conducto que contiene el aire. El tamaño de los reflectores 10, 12 no es crítico más allá de algún tamaño mínimo requerido para establecer las ondas acústicas estacionarias, tal como se explicará a continuación y de modo que puede conseguirse fácilmente un diseño compacto del sensor 2.

Se define un resonador acústico 18 entre los reflectores 10, 12. El resonador acústico 18 está delimitado en una dirección primaria mediante reflectores 10, 12 y el resonador acústico 18 no está delimitado en las direcciones secundarias paralelas a los reflectores 10, 12 y perpendiculares a la dirección primaria. En las direcciones secundarias, el resonador acústico 18 está generalmente abierto y el grado del resonador acústico 18 se define de modo efectivo por el perímetro exterior o borde de los reflectores 10, 12, aunque la señal acústica no está limitada al interior de los confines del resonador acústico 18. En la figura 1, la dirección primaria es vertical y las direcciones secundarias son horizontales.

El resonador acústico 18 está abierto al flujo de aire en las direcciones secundarias y está ocupado por aire que es libre de circular a través del resonador acústico 18 en cualquier dirección secundaria.

La unidad resonadora 6 se proporciona con dos transductores 22, 24. Los transductores 22, 24 son transductores electroacústicos que emiten una señal acústica en respuesta a una señal eléctrica recibida y/o produce la salida de una señal eléctrica en respuesta a una señal acústica recibida. Los transductores 22, 24 pueden ser de cualquier tipo conocido tales como transductores piezoeléctricos, inductivos o electrostáticos. La transducción desde la señal eléctrica a acústica y viceversa realizada por los transductores es sustancialmente lineal y las señales son de naturaleza analógica.

Al menos uno de los transductores 22, 24 funciona como un transductor de excitación. En esta realización, el transductor 22 montado sobre el primer reflector 10 se dispone para funcionar como un transductor de excitación y se acopla a la unidad electrónica 4 por medio de un cable de conexión 26. El transductor 22 funcionando como un transductor de excitación se dispone para emitir una señal acústica al interior del resonador acústico 18 en respuesta a una señal de excitación eléctrica recibida desde la unidad electrónica 4. El contenido espectral de la señal acústica emitida es sustancialmente el mismo que el contenido espectral de la señal de excitación eléctrica.

Al menos uno de los transductores 22, 24 funciona como un transductor de respuesta. En esta realización, el transductor 24 montado sobre el segundo reflector 12 se dispone para funcionar como un transductor de respuesta y se acopla a la unidad electrónica 4 por medio de un cable de conexión 28. El transductor 24 funcionando como un transductor de respuesta se dispone para producir la salida de una señal de respuesta eléctrica hacia la unidad electrónica 4 en respuesta a la recepción de la señal acústica presente en el resonador acústico 18. El contenido espectral de la señal de respuesta eléctrica es sustancialmente el mismo que el contenido espectral de la señal acústica recibida.

Las realizaciones se extienden a sensores que tienen uno o varios transductores 22, 24, que pueden montarse sobre uno u otro reflector 10, 12 o compartirse entre los reflectores 10, 12 en cualquier formación, permitiendo una considerable flexibilidad en el diseño del sensor 2. En una realización, mostrada en las figuras 3 y 4, se proporciona un tercer transductor 30 además de los dos transductores 22, 24 descritos anteriormente y los tres transductores 22, 24, 30 se montan sobre el primer reflector 10 de modo que la unidad electrónica 4 puede montarse directamente por debajo del reflector 10 y los cables de conexión 26 y 28 (no mostrados en la figura 3) pueden encerrarse completamente en un recinto 32 que contiene la unidad electrónica 4. Esta disposición proporciona un instrumento compacto, robusto, autocontenido.

Durante el funcionamiento del sensor 2, la unidad electrónica 4 proporciona una señal de excitación al transductor 22 funcionando como un transductor de excitación y recibe una señal de respuesta desde al menos el transductor 24 funcionando como un transductor de respuesta. La unidad electrónica 4 determina una respuesta de señal acústica del resonador acústico 18 partir de la señal de excitación eléctrica y la señal de respuesta eléctrica en un intervalo de frecuencias, aplicadas simultáneamente o en secuencia.

La señal acústica emitida dentro del resonador acústico 18 por el transductor 22 funcionando como un transductor de excitación se somete a varias reflexiones sucesivas en los reflectores 10, 12 y dependiendo de la relación entre la separación de los reflectores 10, 12 y la longitud de onda de la señal acústica, presenta una superposición constructiva o destructiva de las reflexiones sucesivas.

5 A algunas frecuencias, las reflexiones sucesivas de la señal acústica se superponen constructivamente, conduciendo a un refuerzo de la señal acústica y al establecimiento de una condición de resonancia en la que se forman ondas acústicas estacionarias en la dirección primaria del resonador acústico 18.

10 La superposición de diversas reflexiones sucesivas significa que la trayectoria de propagación efectiva de la señal acústica en la condición de resonancia es considerablemente más larga que el hueco entre los reflectores 10, 12. Esta magnificación de trayectoria sucede a una frecuencia fundamental y sus armónicos y proporciona un mecanismo sensible para medir las características de propagación del sonido a través del aire en un amplio intervalo de frecuencias, lo que podría en caso contrario ser difícil de obtener en un instrumento compacto.

15 Las ondas acústicas estacionarias tienen lugar en la dirección primaria del resonador acústico 18 y no en las direcciones secundarias que carecen de reflectores. Las frecuencias para las que se establece la condición de resonancia dependen por lo tanto de la separación entre los reflectores 10, 12 y no de cualquier otra dimensión del resonador acústico 18.

20 Se muestra en la figura 5 una respuesta 34 de señal acústica en el dominio de la frecuencia de ejemplo de la unidad resonadora 6, en la que la amplitud de la señal de respuesta eléctrica se trata como una respuesta de amplitud 36 y la fase de la señal de respuesta eléctrica con relación a la señal de excitación eléctrica se trata como la respuesta de fase 38, contra la frecuencia creciente de la señal de excitación eléctrica. Por brevedad y claridad, la figura 5 muestra una única frecuencia de resonancia f_r , la frecuencia de resonancia fundamental y omite el patrón de repetición de resonancias que tienen lugar en los armónicos de la frecuencia fundamental. La respuesta de amplitud 36 y/o la respuesta de fase 38 pueden usarse como la respuesta de señal acústica 34 en diferentes realizaciones. Podría usarse de modo equivalente una respuesta de señal acústica en el dominio del tiempo como la respuesta de señal acústica 34 en algunas realizaciones.

30 Tal y como se ilustra en la figura 5, la respuesta de señal acústica 34 muestra normalmente un cambio brusco tanto en la respuesta de amplitud 36 como en la respuesta de fase 38 en la proximidad de la frecuencia de resonancia f_r , de modo que incluso el más pequeño cambio en la frecuencia de la señal de excitación en la condición de resonancia produce cambios fácilmente detectables en la respuesta de señal acústica 34 del resonador acústico 18. Una medida comúnmente usada para describir la selectividad de frecuencia es el factor de calidad (factor Q). El factor Q del resonador acústico 18 puede superar fácilmente 200. Este gran factor Q significa que el resonador acústico 18 es altamente selectivo y funciona de modo efectivo como un filtro de banda estrecha frontal permitiendo una inmunidad al ruido y mejora de la precisión de medición.

40 Como se trata a continuación, la presión y/o temperatura del aire pueden determinarse a partir de la respuesta de señal acústica 34 de la unidad resonadora 6.

45 En términos generales, la presión barométrica del aire afecta a la respuesta de amplitud 36 de la unidad resonadora 6 y no tiene virtualmente ningún impacto sobre las frecuencias de resonancia de la unidad resonadora 6. La presión barométrica del aire puede determinarse convenientemente a partir de la respuesta de señal acústica 34 medida usando una curva de calibración o tabla de valores que relacionan la amplitud de la señal acústica a la frecuencia fundamental f_r y/o a los armónicos de la frecuencia fundamental f_r con la presión barométrica del aire.

50 Con más detalle, el máximo local en el pico de resonancia, que tiene lugar en cada uno de los picos de resonancia asociados a la frecuencia fundamental y sus armónicos, puede identificarse a partir de la respuesta de amplitud 36 y la magnitud del máximo local usado para representar la amplitud de la señal acústica a esa frecuencia.

55 La curva de calibración o tabla de valores que relacionan la amplitud de la señal acústica en una o más frecuencias de resonancia con la presión, puede deducirse mediante experimentación. Los valores en la tabla de calibración que relacionan las amplitudes de la señal máxima local en una o más de las frecuencias de resonancia y sus armónicos con la presión se establecen tentativamente en la unidad o cualquier otro valor por omisión conveniente y se guardan en la memoria de programa del sensor. El sensor 2 se coloca en una cámara de altitud (cámara de presión variable), que permite que se fije por el operario la presión con precisión. La presión en la cámara de altitud se altera gradualmente en el intervalo de interés, y el valor de presión determinado por el sensor 2 usando la tabla de calibración y la presión verdadera indicada por la cámara de altitud se registran para un cierto número de diferentes presiones. La presión verdadera se resta del valor de presión indicado por el sensor para deducir un valor de error que puede usarse para ajustar los valores en tabla de calibración. Este proceso se repite para ajustar los valores en la tabla de calibración para reducir el valor de error por debajo de límites aceptables.

65 La temperatura del aire afecta a las frecuencias de resonancia de la unidad resonadora 6. La temperatura del aire puede determinarse convenientemente a partir de una frecuencia de resonancia, normalmente de los armónicos de

orden inferior de la frecuencia de resonancia fundamental f_r o de la frecuencia fundamental f_r en sí misma.

Con más detalle, la temperatura absoluta del aire T , en kelvin, puede determinarse, con buena precisión, a partir de la expresión que sigue:

5

$$T = \{(2 * D * f_r(n) / n)^2 + u_a^2\} * k$$

donde

10

D es la distancia entre los reflectores 10, 12 del resonador acústico 18 en metros (m)
 $f_r(n)$ es la frecuencia del armónico n -ésimo del resonador acústico 18 en hercios (Hz). Se entiende que $f_r(1)$ indica la frecuencia fundamental, esto es $f_r(1) = f_r$.

n es el índice del armónico, un entero adimensional mayor que 0

15

u_a es la velocidad del aire en la dirección secundaria perpendicular a la onda estacionaria, en metros por segundo (m/s)

k = es una constante.

El valor de k depende de la composición del fluido que se está midiendo y en el caso del aire el valor está también afectado por la humedad.

20

Un valor adecuado de k puede deducirse experimentalmente para cualquier fluido como sigue. k se fija tentativamente a la unidad o a cualquier otro valor por omisión conveniente y se guarda en la memoria de programa del sensor. El sensor 2 se coloca en una cámara ambiental (cámara de temperatura y humedad variables) que contiene el fluido, lo que permite que se fijen por el operario la temperatura y la humedad con precisión. La temperatura en la cámara ambiental se altera gradualmente en el intervalo de interés y el valor de temperatura calculado por el sensor 2 usando la expresión anterior y la temperatura verdadera del ambiente indicada por la cámara ambiental, se registran para un cierto número de diferentes temperaturas. La temperatura verdadera se resta del valor de temperatura proporcionado por el sensor 2 para deducir un valor de error que puede usarse para ajustar el valor de k almacenado en la memoria de programa. Si el valor de error es positivo entonces se reduce k en la cantidad necesaria para reducir el valor de error por debajo de límites aceptables. Por el contrario, si el valor del error es negativo entonces se incrementa k correspondientemente.

25

30

A todo lo largo del experimento, se mantiene la humedad constante en cualquier valor deseable.

35

El experimento puede repetirse con diferentes valores de humedad para deducir una tabla de valores de k que se aplican en diferentes entornos de humedad y también para aire seco. Una medición de la humedad del aire puede usarse a continuación para seleccionar el valor de k correcto a ser usado. Como alternativa, el sensor 2 puede usar solamente un único valor de k , seleccionado por ejemplo basándose en la humedad esperada en el entorno en el que se usará el sensor 2.

40

En realizaciones de la invención, por lo tanto, se usa una velocidad del aire u_a medida en el cálculo de la temperatura del aire T . Esta medición puede llevarse a cabo por cualquier sensor capaz de medir la velocidad del aire: uno de dichos dispositivos se describe en la publicación de patente europea EP0801311A.

45

En algunas realizaciones, el sensor 2 puede diseñarse con un deflector u otra estructura que reduzca la velocidad del aire en la dirección secundaria, para minimizar el efecto de la velocidad del aire sobre la temperatura calculada T .

50

Por simplicidad de cálculo, y para evitar el requisito de medir la velocidad del aire, en algunas realizaciones puede usarse un valor estimado para la velocidad del aire u_a para calcular la temperatura T . En algunas realizaciones la velocidad del aire estimada es cero. Esto puede ser apropiado, por ejemplo, en donde el aire está fijo o prácticamente fijo tal como dentro de una habitación o un recipiente cerrado o donde puede tolerarse una precisión reducida.

55

La presente invención hace uso del mismo fenómeno físico de la resonancia acústica que se utiliza por el caudalímetro divulgado en la publicación de patente europea EP0801311A. Las realizaciones pueden hacer uso de la misma disposición de reflectores superior e inferior y los mismos transductores que se divulgan en la publicación de patente europea EP0801311A. Además, los circuitos electrónicos necesarios para implementar el sensor 2 divulgado pueden implementarse fácilmente en el mismo instrumento. Por consiguiente, las realizaciones del caudalímetro divulgadas en la publicación de patente europea EP0801311A y el sensor 2 de la divulgación actual pueden combinarse y compartir todo el hardware en un instrumento que, por consiguiente, mide la velocidad del flujo de fluido y adicionalmente la temperatura y/o la presión del fluido, con pequeño coste y complejidad adicionales.

60

REIVINDICACIONES

1. Un sensor (2), que comprende:
 una unidad resonadora (6), comprendiendo la unidad resonadora (6) un resonador acústico (18) para contener un
 5 fluido, siendo operativo el resonador acústico (18) para soportar ondas acústicas estacionarias, siendo operativa la
 unidad resonadora (6) para convertir una señal de excitación eléctrica en una señal acústica en el resonador
 acústico (18), para establecer las ondas acústicas estacionarias, y operativo para convertir la señal acústica en el
 resonador acústico (18) en una señal de respuesta eléctrica, y
 10 una unidad electrónica (4), acoplada a la unidad resonadora (6), siendo operativa la unidad electrónica (4) para
 proporcionar la señal de excitación eléctrica a la unidad resonadora (6) y para recibir la señal de respuesta eléctrica
 de la unidad resonadora (6) para procesar la señal de excitación eléctrica y la señal de respuesta eléctrica para
 determinar una respuesta de señal acústica,
 en donde la unidad electrónica (4) es operativa para determinar una frecuencia de resonancia (f_r) de las ondas
 acústicas estacionarias a partir de la respuesta de señal acústica, y para determinar la temperatura del fluido en el
 15 resonador acústico (18), a partir de la frecuencia de resonancia (f_r), y un valor de la velocidad del flujo (u_a) del fluido
 a través del resonador acústico en una dirección secundaria perpendicular a las ondas acústicas estacionarias.
2. El sensor según la reivindicación 1, en el que la unidad electrónica (4) es operativa para determinar la respuesta
 de señal acústica a través de un intervalo de frecuencias de la señal de excitación eléctrica y para determinar la
 20 frecuencia de resonancia (f_r) de las ondas acústicas estacionarias a partir de la respuesta de señal acústica como
 una frecuencia con la respuesta de amplitud local más grande.
3. El sensor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la unidad electrónica (4) es operativa para
 medir la velocidad de flujo (u_a) del fluido a través del resonador acústico (18) y para usar la velocidad de flujo (u_a) del
 25 fluido medida como el valor de la velocidad de flujo (u_a) del fluido.
4. El sensor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el resonador acústico (18) comprende un
 primer reflector (10) y un segundo reflector (12), separado del primer reflector (10), en donde el primer reflector (10)
 y el segundo reflector (12) definen los límites del resonador acústico (18), de modo que el resonador acústico (18)
 30 sea operativo para soportar las ondas acústicas estacionarias entre el primer reflector (10) y el segundo reflector
 (12).
5. El sensor según la reivindicación 4, en el que la unidad electrónica (4) es operativa para determinar la temperatura
 del fluido usando una frecuencia resonante de las ondas acústicas estacionarias, un valor de la velocidad de flujo
 35 (u_a) del fluido a través del resonador acústico en una dirección secundaria perpendicular a las ondas acústicas
 estacionarias y a la distancia entre el primer reflector (10) y el segundo reflector (12).
6. El sensor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el resonador acústico (18) es para la
 contención de un gas y la unidad electrónica (4) es operativa para determinar la respuesta de señal acústica a través
 40 de un intervalo de frecuencias de la señal de excitación eléctrica y para determinar la presión del gas a partir de una
 amplitud de la señal acústica, a una o más de entre la frecuencia fundamental y sus armónicos, derivadas de la
 respuesta de señal acústica.
7. El sensor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la unidad resonadora (6) comprende uno
 o más transductores (22, 24, 30), siendo operativo cada transductor (22, 24, 30) para convertir la señal de excitación
 45 eléctrica en la señal acústica en el resonador acústico (18) y/u operativo para convertir la señal acústica en el
 resonador acústico (18) en una señal de respuesta eléctrica.
8. Un método para medir la temperatura de un fluido, que comprende aplicar una señal de excitación eléctrica a al
 menos un transductor (22, 24, 30) operativo para convertir la señal de excitación eléctrica en una señal acústica en
 un resonador acústico (18) para contener un fluido y para establecer ondas acústicas estacionarias en el resonador
 acústico (18), para recibir una señal de respuesta eléctrica desde al menos un transductor (22, 24, 30), operativo
 para convertir la señal acústica en el resonador acústico (18) en una señal de respuesta eléctrica, para procesar la
 50 señal de excitación eléctrica y la señal de respuesta eléctrica, para determinar una respuesta de señal acústica y
 para determinar una frecuencia resonante (f_r) de las ondas acústicas estacionarias a partir de la señal de respuesta
 acústica, y para determinar la temperatura del fluido en el resonador acústico (18) a partir de la frecuencia de
 resonancia (f_r) y de un valor de la velocidad de flujo (u_a) del fluido a través del resonador acústico en una dirección
 55 secundaria perpendicular a las ondas acústicas estacionarias.

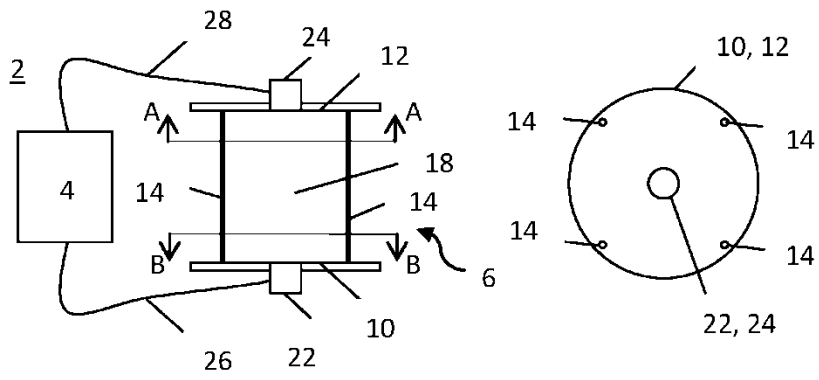


Figura 1

Figura 2

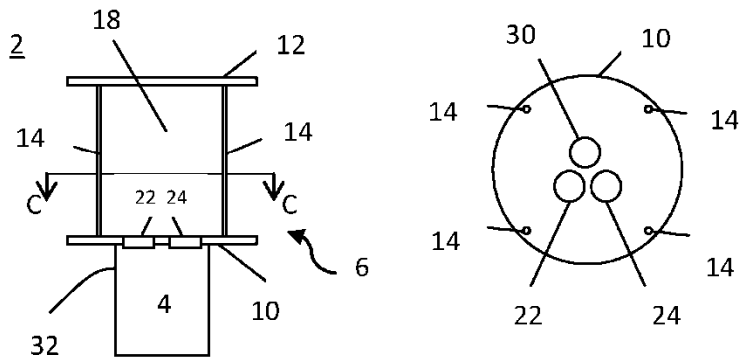


Figura 3

Figura 4

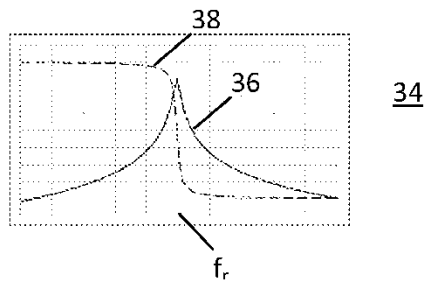


Figura 5