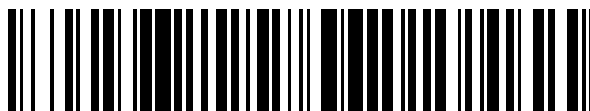


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 939**

51 Int. Cl.:

G01F 23/296 (2006.01)

G01N 29/024 (2006.01)

G01N 29/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.11.2008 PCT/GB2008/003812**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.05.2009 WO09063194**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2008 E 08850833 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019 EP 2217891**

54 Título: **Sistema de medición de nivel**

30 Prioridad:

13.11.2007 GB 0722256

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

21.10.2019

73 Titular/es:

**JOHNSON MATTHEY PLC (100.0%)
5th Floor, 25 Farringdon Street
London EC4A 4AB, GB**

72 Inventor/es:

**PARTINGTON, THOMAS, JOHN;
FEATONBY, PAUL, DAVID;
JAMES, KENNETH y
JACKSON, PETER**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 727 939 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

Sistema de medición de nivel

La presente invención se refiere a un sistema y aparato de medición de nivel y un método para detectar la localización de una interfaz entre diferentes materiales contenidos en un recipiente, por ejemplo, para la medición del nivel de un material dentro de un recipiente.

Los sistemas de medición de nivel, es decir, para su uso en la medición del nivel de un material dentro de un recipiente, son bien conocidos. También se sabe localizar los límites entre diferentes materiales en un recipiente midiendo la densidad de los contenidos del recipiente en diferentes localizaciones para formar un perfil de densidad del recipiente y los contenidos con el fin de identificar los cambios de densidad que son indicativos de regiones límite. Por ejemplo, en el documento WO 00/22387 se ha propuesto medir el perfil de densidad de un medio proporcionando un conjunto de fuentes de radiación gamma distribuidas axialmente para emitir haces colimados de dicha radiación y un conjunto de detectores distribuidos axialmente, dispuestos de manera que el medio sometido a estudio se extiende entre las fuentes y los detectores. Al monitorizar la radiación recibida por los detectores, puede determinarse la cantidad de radiación absorbida por el medio de cada haz y, por lo tanto, pueden detectarse variaciones en la densidad del medio. Una desventaja del sistema del documento WO 00/22387 es la necesidad de emplear materiales radiactivos que, en consecuencia, obligan a considerar problemas de salud y seguridad con el fin de garantizar un trabajo seguro.

El documento GB 1524303 describe un aparato usado para determinar el límite entre líquidos de diferentes densidades por medio de un elemento alargado a lo largo de cuya longitud se disponen una serie de alojamientos con espacios entre cada alojamiento, espacios en los que el medio sometido a estudio puede introducirse a través de perforaciones en la pared del elemento alargado. Cada alojamiento comprende un transmisor y un detector ultrasónicos y el extremo de cada alojamiento actúa como un reflector para devolver reflejadas las ondas desde el transmisor del siguiente alojamiento adyacente, a través del medio en el espacio entre los alojamientos, a ese siguiente alojamiento adyacente. Una desventaja de este tipo de disposición es que la resolución vertical está limitada por la necesidad de proporcionar un espacio vertical entre cada uno de los alojamientos.

El documento WO03/012379 describe un aparato para monitorizar la composición de un medio que comprende un elemento alargado para su inserción en dicho medio, teniendo dicho elemento un conjunto de transmisores y receptores de ondas ultrasónicas dispuestos a intervalos a lo largo de al menos parte de su longitud, y unos medios reflectores para reflejar las ondas ultrasónicas transmitidas a los receptores, estando dichos medios reflectores soportados por, pero lateralmente separados de, dicho elemento, por lo que, cuando dicho elemento alargado se inserta en dicho medio, el medio ocupa el espacio entre dicho elemento alargado y dichos medios reflectores, y estando dichos transmisores, receptores y medios reflectores dispuestos de manera que las ondas ultrasónicas transmitidas pasan a través de dicho medio en ruta hacia los receptores, y proporcionando los medios de monitorización una señal que depende del tiempo que tarda una onda de sonido ultrasónica en desplazarse desde un transmisor hasta un receptor asociado con el mismo.

El documento US 4.565.088 describe un aparato para la detección de cambios de composición en un recipiente de desalinización en el que una sonda ultrasónica emite sonido hacia un espejo que está dispuesto para desplazarse verticalmente dentro de un tubo de inmersión. El espejo dirige la energía sónica fuera del tubo de inmersión hacia un reflector colocado separado del tubo de inmersión dentro del recipiente, de manera que la energía se devuelva reflejada al espejo y suba por el tubo de inmersión para que la sonda la reciba.

El documento US4535628 desvela un aparato para medir las características de transmisión acústica de al menos un medio a medir en el que se sumerge al menos una cámara hueca alargada. La cámara está cerrada en su extremo inferior y se llena con un líquido de conexión acústica, y al menos dos transductores móviles separados se sumergen en el líquido de conexión dentro de la cámara en relación espaciada con la pared de la misma, teniendo la cámara una forma de sección transversal tal que una trayectoria acústica direccional entre el emisor opuesto y los transductores colectores pasa a través del medio a medir, estando el medio fuera de contacto directo con los transductores.

Un objeto de la presente invención es proporcionar un método mejorado, un aparato para su uso en la realización del método y un sistema para la determinación de los niveles de contenido dentro de un recipiente. De acuerdo con un primer aspecto de la invención, un método para determinar la localización de una interfaz entre dos materiales dentro de un recipiente comprende las etapas de:

- (a) proporcionar una pluralidad de primeros transductores ultrasónicos capaces de transmitir ultrasonidos a través de al menos uno de dichos materiales, estando dichos primeros transductores localizados dentro de un primer alojamiento alargado, separados entre sí a lo largo de un eje longitudinal del alojamiento,
- (b) proporcionar una pluralidad de segundos transductores ultrasónicos capaces de recibir ultrasonidos

transmitidos por dichos primeros transductores ultrasónicos y generar una señal eléctrica en respuesta a los mismos, estando dichos segundos transductores localizados dentro de un segundo alojamiento alargado, separados entre sí a lo largo de un eje longitudinal del alojamiento,

(c) estando cada uno de dichos primeros transductores ultrasónicos asociado con uno respectivo de dichos segundos transductores ultrasónicos para formar un par de transmisor-receptor, de tal manera que los ultrasonidos emitidos por un elemento de dicho par pueden recibirse por y generar una señal eléctrica en el otro elemento de dicho par,

(d) localizar los alojamientos primero y segundo dentro del recipiente, de tal manera que los ultrasonidos transmitidos por al menos uno de los primeros transductores pueda detectarse por al menos un segundo transductor respectivo y que los alojamientos primero y segundo que contienen los transductores se sumerjan al menos parcialmente en al menos uno de los materiales contenidos en el recipiente,

(e) transmitir pulsos ultrasónicos desde más de uno de dichos primeros transductores ultrasónicos a los segundos transductores ultrasónicos respectivos y monitorizar la señal generada por cada uno de dichos segundos transductores ultrasónicos en respuesta a los ultrasonidos transmitidos por dichos primeros transductores ultrasónicos,

(f) comparar la señal generada por cada segundo transductor ultrasónico o un parámetro calculado a partir de dicha señal con una señal correspondiente o un parámetro calculado a partir de la misma generada por un segundo transductor ultrasónico adyacente para determinar si cambian las características acústicas del material localizado entre el primer alojamiento y el segundo alojamiento entre las posiciones de los segundos transductores adyacentes,

en el que dichos primeros transductores ultrasónicos comprenden un conjunto lineal de transmisores ultrasónicos T_n , donde n es un número entero de 1 a x y x es el número de transmisores en el conjunto, dichos segundos transductores ultrasónicos comprenden un conjunto lineal de receptores ultrasónicos R_n , formando dichos transmisores y receptores una pluralidad de pares de transmisor-receptor TR_n , y ambos alojamientos primero y segundo se colocan en un recipiente, alineados y paralelos entre sí, orientados de tal manera que los alojamientos se extienden hacia el fondo del recipiente, estando T_1 y R_1 más cerca del fondo del recipiente, en el que la etapa (f) comprende las etapas de:

i. medir la amplitud de la señal A_n recibida por el transductor de recepción R_n ;

ii. comparar A_n con una amplitud predeterminada A_L ;

iii. si $A_n > A_L$ entonces medir TOF_n , donde TOF_n es el tiempo de vuelo del sonido entre T_n y R_n ;

iv. si $A_n < A_L$ entonces registrar TR_n como localizado dentro de una fase de material que tiene altas propiedades de atenuación de sonido;

v. repetir las etapas i - iv para cada TR_n hasta que $n = x$;

vi. comparar TOF_n con TOF_{n+1} ;

vii. si $TOF_{n+1} > TOF_n + P\%$, entonces registrar que un límite de fase de material se encuentra entre TR_n y TR_{n+1} , donde P es un valor predeterminado que representa un factor de significancia.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención un aparato para determinar la localización de una interfaz entre dos materiales dentro de un recipiente comprende:

(a) una pluralidad de primeros transductores ultrasónicos capaces de transmitir ultrasonidos a través de al menos uno de dichos materiales, estando dichos primeros transductores localizados dentro de un primer alojamiento alargado, separados entre sí a lo largo de un eje longitudinal del alojamiento,

(b) una pluralidad de segundos transductores ultrasónicos capaces de recibir los ultrasonidos transmitidos por dichos primeros transductores ultrasónicos y generar una señal eléctrica en respuesta a los mismos, estando dichos segundos transductores localizados dentro de un segundo alojamiento alargado, separados entre sí a lo largo de un eje longitudinal del alojamiento,

(c) estando cada uno de dichos primeros transductores ultrasónicos asociado con uno respectivo de dichos segundos transductores ultrasónicos para formar un par de transmisor-receptor, de tal manera que los ultrasonidos emitidos por un elemento de dicho par pueden recibirse por y generar una señal eléctrica en el otro elemento de dicho par,

(d) medios de montaje para dichos alojamientos primero y segundo, siendo dichos medios de montaje capaces de mantener dichos alojamientos primero y segundo en una posición relativa entre sí, de tal manera que cada elemento de un par de transmisor-receptor se alinee con el otro elemento del par de transmisor-receptor y que los ultrasonidos transmitidos por al menos uno de los primeros transductores pueda detectarse por al menos un segundo transductor respectivo,

(e) medios de montaje para montar los alojamientos primero y segundo dentro de un recipiente, de tal manera que al menos una parte de los alojamientos primero y segundo que contienen los transductores pueda sumergirse en al menos uno de los materiales contenidos en el recipiente,

(f) un medio de procesamiento de señales y datos, capaz de comparar las señales generadas por los segundos transductores ultrasónicos o un parámetro calculado a partir de dichas señales para determinar si las características acústicas de cualquier material localizado entre el primer alojamiento y el segundo alojamiento cambian entre cualquiera de los pares de transmisor-receptor,

(g) una fuente de alimentación, y

(h) un generador de pulsos para accionar los primeros transductores para emitir ultrasonidos de la frecuencia requerida,

en el que dichos primeros transductores ultrasónicos comprenden un conjunto lineal de transmisores ultrasónicos T_n , donde n es un número entero de 1 a x y x es el número de transmisores en el conjunto, dichos segundos transductores ultrasónicos comprenden un conjunto lineal de receptores ultrasónicos R_n , formando dichos transmisores y receptores una pluralidad de pares de transmisor-receptor TR_n , y ambos alojamientos primero y segundo se colocan en un recipiente, alineados y paralelos entre sí, orientados de tal manera que los alojamientos se extienden hacia el fondo del recipiente, estando T_1 y R_1 más cerca del fondo del recipiente, en el que el medio de procesamiento de señales es capaz de realizar las etapas de:

- i. medir la amplitud de la señal A_n recibida por el transductor de recepción R_n ;
- ii. comparar A_n con una amplitud predeterminada A_L ;
- iii. si $A_n > A_L$ entonces medir TOF_n , donde TOF_n es el tiempo de vuelo del sonido entre T_n y R_n ;
- iv. si $A_n < A_L$ entonces registrar TR_n como localizado dentro de una fase de material que tiene altas propiedades de atenuación de sonido;
- v. repetir las etapas i - iv para cada TR_n hasta que $n = x$;
- vi. comparar TOF_n con TOF_{n+1} ;
- vii. si $TOF_{n+1} > TOF_n + P\%$, entonces registrar que un límite de fase de material se encuentra entre TR_n y TR_{n+1} , donde P es un valor predeterminado que representa un factor de significancia.

Debe tenerse en cuenta que "recibir", "receptor", etc., tal como se usa en relación con la recepción de sonido por un transductor en la presente memoria descriptiva, incluye el significado de "detectar" y "detector". Los transductores ultrasónicos comprenden, preferentemente, materiales piezoeléctricos. Un material piezoeléctrico es capaz de generar y transmitir vibraciones sónicas en respuesta a una tensión adecuada o cambio de tensión y también puede generar una señal eléctrica cuando se estimula por una vibración sónica adecuada. Los materiales piezoeléctricos adecuados incluyen polímeros y cristales piezoeléctricos. Los transductores primero y segundo pueden ser, y preferentemente son, de un tipo similar. Los transductores primero y segundo comprenden preferentemente cristales piezoeléctricos. La frecuencia de las ondas ultrasónicas puede seleccionarse de acuerdo con el material a través del que se espera que pase la radiación. Para la medición de un nivel dentro de un sistema líquido, el intervalo preferido de frecuencias usadas es de 20 kHz a 25 MHz. Un material en fase gaseosa puede requerir emisiones de frecuencia más baja, por ejemplo, 1 - 100 kHz, mientras que para la medición en un sistema líquido, la frecuencia usada puede optimizarse de 2 a 10 MHz, más preferentemente de 1 a 5 MHz. Los transductores pueden seleccionarse para emitir a la misma frecuencia entre sí, o uno o más de los mismos pueden emitir sonido a una frecuencia diferente de los otros transductores. Uno o más de los transductores pueden ser capaces de emitir/transmitir y recibir un intervalo de frecuencias diferentes. Al menos un par de transductores de transmisor-receptor puede adaptarse para emitir y recibir sonido en una pluralidad de frecuencias diferentes. Los transductores pueden estimularse periódicamente para emitir ondas de una frecuencia adecuada para inducir la cavitación del fluido en la superficie del transductor y el alojamiento, con el fin de limpiar la superficie del transductor y el alojamiento adyacente y evitar la acumulación de suciedad e incrustaciones de minerales. El límite superior práctico de las frecuencias usadas para dicha limpieza es de aproximadamente 10 MHz. Los transductores también pueden seleccionarse para transmitir y/o detectar vibraciones fuera del espectro ultrasónico, por ejemplo, frecuencias en el intervalo audible y que bajan hasta 1 Hz. Como una alternativa adicional, la frecuencia a la que cada transductor se adapta para transmitir y recibir puede ser diferente en diferentes localizaciones del aparato. Por ejemplo, cuando el aparato está diseñado para su uso en la identificación de fase en un recipiente de separación de petróleo, los transductores en el extremo del alojamiento o el tubo de inmersión localizado en la parte superior del recipiente pueden sintonizarse para transmitir el sonido a una frecuencia seleccionada para la transmisión a través de una fase gaseosa, mientras que los transductores localizados a una mayor distancia de la parte superior pueden sintonizarse a frecuencias adaptadas para transmitirse a través de una fase líquida. Como una alternativa adicional, puede proporcionarse al menos un conjunto adicional de transductores que sean capaces de transmitir y recibir sonidos que tengan características diferentes de los transmitidos y recibidos por la primera y segunda pluralidad de transductores. El o los conjuntos adicionales pueden estar presentes dentro del mismo alojamiento que la primera y/o la segunda pluralidad de transductores. Como alternativa, tales conjuntos adicionales pueden proporcionarse (cada uno) en un alojamiento separado.

El número de transductores ultrasónicos proporcionados depende del tamaño del recipiente, la profundidad del material y la resolución requerida. La resolución alcanzable, es decir, la distancia a la que puede detectarse un cambio en las propiedades acústicas y, por lo tanto, una interfaz, se rige por la distancia entre los pares de transductores a lo largo del alojamiento, que está determinada, en parte, por el tamaño de los transductores usados. Usando transductores fácilmente disponibles, el espaciamiento mínimo es de aproximadamente 10 mm, de centro a centro. Cuando los transductores están muy próximos entre sí, es deseable proporcionar una señal codificada o una activación y detección temporizadas con el fin de evitar interferencias, es decir, la transmisión y la recepción del ultrasonido entre diferentes pares de transductores. Para un aparato adecuado para su uso en un separador de petróleo industrial del tipo usado en la industria de recuperación de petróleo y gas, el número de pares de

transductores varía habitualmente de 2 a 500, pero puede ser mayor. El espaciamiento entre los pares de transductores adyacentes puede variar a lo largo de la longitud de los alojamientos, pero normalmente es más constante.

5 Preferentemente, los transductores primero y segundo se montan dentro de los alojamientos primero y segundo respectivos. Los alojamientos pueden tener una sección transversal circular o de otro tipo. En una realización, la sección transversal del alojamiento está diseñada para proporcionar una superficie normal a la dirección de transmisión del ultrasonido con el fin de minimizar la dispersión de las ondas reflejadas. Por lo tanto, los alojamientos pueden tener una o más paredes planas, por ejemplo, para proporcionar una sección de caja u otra forma poligonal. Los alojamientos no necesitan tener una sección transversal regular. Por ejemplo, pueden ser, en general, circulares pero tener una pared plana opuesta a los transductores. Preferentemente, los alojamientos están dispuestos sustancialmente paralelos entre sí, preferentemente separados, preferentemente a una distancia de 10-300 mm. El aparato de la invención incluye medios de montaje, tales como soportes o sujeciones, por ejemplo, que son capaces de mantener los alojamientos primero y segundo en la disposición deseada entre sí. Preferentemente, los alojamientos se forman de un material que es fuerte y resistente al entorno, en el que se realizan las mediciones, pero que también es relativamente transparente al ultrasonido. Se prefieren los metales de baja densidad. Para su uso en separadores e instalaciones de almacenamiento de petróleo, los alojamientos se forman, preferentemente, de titanio o una aleación de titanio que es resistente a la corrosión y es significativamente menos atenuante con respecto al ultrasonido que el acero. En una realización preferida, el aparato comprende al menos dos tubos de inmersión de titanio, mantenidos en paralelo y separados entre 10 y 300 mm por un medio de montaje, conteniendo cada tubo de inmersión de 2 a 500 transductores ultrasónicos dispuestos, en general, de forma lineal a lo largo de la longitud del tubo de inmersión. Los alojamientos pueden ser continuos con la pared de un recipiente o fijarse al recipiente de tal manera que el interior del recipiente pueda mantenerse a una presión y temperatura elevadas fuera de los alojamientos. Los alojamientos forman una barrera protectora entre los transductores y el contenido de un recipiente en el que están colocados. Preferentemente, cada transductor se monta en contacto cercano con la pared interna del alojamiento. Esto puede lograrse montando los transductores en uno o más bloques de soporte sólidos, dispuestos dentro del alojamiento para colocar el transductor adyacente a la pared interna del alojamiento. Como alternativa, los transductores pueden montarse usando un medio de empuje para mantener el transductor en su lugar contra la pared del alojamiento.

30 Los alojamientos también contienen las conexiones eléctricas necesarias entre cada transductor, una fuente de alimentación y un medio de procesamiento de señales para analizar la respuesta de los segundos transductores "detectores" a los ultrasonidos recibidos. Preferentemente, los alojamientos también contienen un fluido de acoplamiento, es decir, un medio de acoplamiento acústico, seleccionado para minimizar la pérdida de energía ultrasónica a medida que pasa a través del espacio y la pared internos del alojamiento y el medio adyacente. En ausencia de un fluido de acoplamiento, la energía ultrasónica se pierde a medida que las ondas de sonido pasan a través del aire, lo que es altamente atenuante con respecto al ultrasonido. Cuando el aparato de medición de nivel está diseñado para usarse en un entorno que tiene riesgo de explosión, la presencia de un fluido de acoplamiento también puede servir para reducir el riesgo de explosión debido a que excluye el oxígeno de las proximidades de las conexiones eléctricas. El fluido de acoplamiento puede seleccionarse para que sea adecuado para la aplicación de la medición de nivel. Para su uso en separadores de petróleo, se prefiere un fluido de acoplamiento eléctricamente aislante, resistente a altas temperaturas, tal como un aceite de silicona. En algunas realizaciones, los tubos de inmersión se recubren en sus superficies internas y/o externas con un recubrimiento seleccionado para proporcionar acoplamiento acústico entre el material del tubo de inmersión y el medio con el que está en contacto. Los recubrimientos de acoplamiento, en general, minimizan el cambio de densidad en la interfaz entre el tubo de inmersión de metal y el medio fluido que de otro modo podría disipar una parte de la energía ultrasónica.

45 El aparato comprende además una fuente de alimentación y un generador de pulsos para accionar los primeros transductores para emitir ultrasonidos de la frecuencia requerida. El generador de pulsos puede proporcionar pulsos regulares o irregulares, pulsos codificados que pueden tener diferentes intervalos y amplitudes (tensión) para cada transductor o para un grupo de transductores. Al agrupar eléctricamente los pares de transductores en m conjuntos separados longitudinalmente, por ejemplo, siendo cada m th transductores parte del mismo conjunto, es posible escalar la transmisión de ultrasonidos entre transductores adyacentes, lo que reduce aún más el riesgo de que cualquier transductor detecte los ultrasonidos de otro par de transductores. El uso de señales codificadas también puede ser deseable para situaciones donde hay una relación de señal a ruido muy baja con el fin de que las señales puedan extraerse desde dentro de la banda de ruido. Se usa preferentemente un circuito de conmutación para secuenciar los pulsos enviados a los transductores de transmisión y también, opcionalmente, para proporcionar la detección temporizada de los pulsos secuenciados por los transductores de detección.

60 El medio de procesamiento de señales recibe las señales electrónicas procedentes de los transductores detectores por medio de una conexión por cable convencional, un enlace de fibra óptica o por medio de una transmisión inalámbrica. El medio de procesamiento de señales y/o un medio de procesamiento de datos asociados son capaces de comparar las señales generadas por los segundos transductores ultrasónicos o un parámetro calculado a partir de dichas señales para determinar si las características acústicas de cualquier material localizado entre el primer alojamiento y el segundo alojamiento cambian entre cualquiera de los segundos transductores adyacentes. La

fuelle de alimentación, el generador de pulsos, los circuitos de conmutación y el medio de procesamiento de señales están localizados, preferentemente, dentro de un alojamiento de "control" separado que puede conectarse a los alojamientos que contienen los transductores ultrasónicos. El alojamiento de control puede comprender medios de montaje mediante los cuales pueden montarse los alojamientos de transductor en el alojamiento de control para formar un instrumento de medición de nivel contiguo. Los datos pueden comunicarse a un usuario por medio de una pantalla visual o una alarma audible o visual para avisar al usuario de un cambio específico en el nivel durante la operación del método. Como alternativa, la información procedente del aparato de medición de nivel puede usarse directamente en un sistema de control para controlar el nivel de material que se ha medido. La información procedente del medio de procesamiento de señales puede transmitirse a una localización remota para que se use por un usuario o en un sistema de control. Por ejemplo, cuando el aparato de medición de nivel se usa en un recipiente separador de petróleo submarino, las señales procedentes de los transductores pueden procesarse localmente por el medio de procesamiento de señales y, a continuación, transmitirse a un sistema de control, un procesador de datos o un operador localizado remotamente en la superficie.

El aparato puede comprender además uno o más sensores de temperatura para medir la temperatura del material entre los transductores primero y segundo. La medición de la temperatura puede lograrse usando uno o más sensores colocados en o dentro de los alojamientos de transductor o dentro de un alojamiento independiente separado de los alojamientos de transductor. Como alternativa, una sonda de temperatura puede extenderse desde una o más de los alojamientos. La sonda de temperatura, si está presente, se conecta eléctricamente al medio de procesamiento de datos, de manera que la información relativa a la temperatura puede usarse para calcular una propiedad del material, por ejemplo, la densidad o la composición, a partir de los datos de transmisión ultrasónica.

Durante la operación, se prefiere que los ultrasonidos emitidos por un primer transductor se detecten por un segundo transductor y la señal procedente del segundo transductor se use para calcular el tiempo de vuelo y/o la atenuación de la energía a través del material entre los transductores primero y segundo. Esta disposición difiere en principio de la descrita en el documento WO03/012379, en el que se proporcionó un único conjunto lineal de transductores ultrasónicos separado de un reflector que devolvía reflejados los ultrasonidos emitidos al transductor de emisión.

Normalmente, los transductores primero y segundo son capaces tanto de transmitir como de recibir sonido. En la presente memoria descriptiva, las referencias a los primeros transductores que son emisores y a los segundos transductores que son receptores de sonido no pretenden excluir los métodos y aparatos en los que los primeros transductores detectan el sonido emitido por los segundos transductores. En un método preferido de acuerdo con la invención, tanto el primer como el segundo transductor emiten y reciben ultrasonidos. En una realización, un primer transductor emite ultrasonidos hacia un segundo transductor respectivo, que, tras recibir el pulso, se estimula para transmitir de nuevo al primer transductor de inicio. Dicha operación, por la que la recepción de ultrasonidos activa una transmisión posterior, se denomina "impulsión predesencadenada". Cuando tanto el primer como el segundo transductor emiten y detectan ultrasonidos, pueden denominarse par de transductores primero/segundo, en lugar de transmisor y receptor. Una ventaja de operar de esta manera es la autoverificación inherente ofrecida. Por ejemplo, si no se detecta una señal procedente de un transductor de recepción en respuesta a una transmisión de ultrasonidos, puede deberse a una dispersión excesiva de las ondas de sonido por un medio altamente disperso (por ejemplo, partículas de arena en agua o una espuma o emulsión) o por un transductor defectuoso. Sin embargo, en una operación de impulsión predesencadenada, el otro transductor de un par de transductores puede proporcionar una señal que indicaría que el medio entre los transductores no es la causa de la falta de señal. El modo de operación de impulsión predesencadenada puede extenderse a tres o más transductores, si es necesario.

La información sobre el material a través del que pasan los ultrasonidos desde un transductor de transmisión a un transductor de recepción puede obtenerse a partir del "tiempo de vuelo" (TOF) de los ultrasonidos, es decir, el tiempo entre la emisión de los ultrasonidos desde un transductor de transmisión y la recepción de los ultrasonidos por un transductor de recepción. En un fluido, la velocidad del sonido, $c = \sqrt{K/\rho}$, donde K es el módulo de elasticidad volumétrico del fluido y ρ (rho) representa la densidad. La presión de un fluido, especialmente un gas, influye en su densidad, al igual que la composición de un líquido. La velocidad del sonido en el agua de mar, por ejemplo, depende de la salinidad del agua de mar. Por lo tanto, el tiempo entre la emisión y la recepción de los ultrasonidos varía de acuerdo con la densidad del material a través del que se transmite el sonido y la densidad puede calcularse a partir de los datos TOF, siempre que se conozca la temperatura y la presión. En la práctica, el aparato y el método son más útiles para detectar la presencia y la localización de los límites entre los materiales en un recipiente, es decir, para detectar regiones de diferente densidad o composición a lo largo de la longitud de los alojamientos. Esta aplicación no requiere que se realice un cálculo de densidad absoluta: es suficiente que el tiempo de vuelo entre los diferentes pares de transmisor-receptor se mida con la precisión suficiente para que pueda detectarse una diferencia entre la transmisión a través de un material, por ejemplo, el petróleo, y otro material, por ejemplo, el agua. La diferencia entre el TOF de los ultrasonidos a través de dos materiales, tales como el petróleo y el agua, normalmente varía con la temperatura. A temperaturas más altas, las diferencias suelen ser mayores. Por ejemplo, la velocidad del sonido a través del agua aumenta de aproximadamente 1427 m/s a 5 °C hasta aproximadamente 1555 m/s a 70 °C. La velocidad del sonido a través del petróleo crudo disminuye en este intervalo de temperatura de aproximadamente 1400 m/s a aproximadamente 1150 m/s, dependiendo de la composición del petróleo.

Como alternativa, o además de, la medición de TOF, puede medirse la atenuación de los ultrasonidos en la transmisión a través del material entre el transmisor y el receptor. Las ondas de sonido se desvían en los límites de fase y muestran una atenuación significativa cuando se transmiten a través de materiales discontinuos tales como emulsiones, espumas y suspensiones. La atenuación puede detectarse monitorizando la tensión a través del transductor de detección. Al determinar la atenuación, es posible estimar, por ejemplo, la cantidad de arena suspendida dentro de las fases fluidas del contenido de un recipiente separador de petróleo. En una realización preferida, tanto la atenuación como el tiempo de vuelo de las ondas ultrasónicas se calculan a partir de la respuesta del transductor de recepción.

En una realización específica del método de la invención, puede monitorizarse la detección por uno o más de los transductores de sus propias emisiones que se devuelven reflejadas por la pared interna del alojamiento. La detección de ultrasonidos reflejados internamente puede facilitarse mediante métodos de detección temporizada o mediante el uso de pulsos codificados. Un pulso ultrasónico generado para el análisis de reflexión interna puede ser de menor amplitud que un pulso generado para la transmisión a otro transductor. La cantidad de energía reflejada por la pared interna del alojamiento puede proporcionar información sobre el acoplamiento acústico entre la pared externa del alojamiento y el material externo e inmediatamente adyacente a la misma. Cuando el acoplamiento es bueno, la energía ultrasónica puede penetrar a través de la pared hacia el medio circundante. Cuando el acoplamiento es menos bueno, se transmite menos energía a través de la pared, de manera que se devuelve reflejada más energía al transductor dentro del alojamiento. Un cambio en el acoplamiento puede indicar una acumulación de incrustaciones u otros depósitos en el alojamiento, o un cambio en el material en bloque en contacto con el alojamiento adyacente al transductor, por ejemplo, una interfaz de metal de espuma tiene características de acoplamiento acústico diferentes de una interfaz de metal líquido.

En otra realización, el aparato comprende al menos un transductor ultrasónico adicional montado de tal manera que transmite ultrasonidos esencialmente en perpendicular a una superficie superior del material contenido en el recipiente. Normalmente, este transductor adicional se monta dentro de su propio alojamiento y se orienta para transmitir ultrasonidos en la dirección del eje longitudinal de los alojamientos de transductor primero y segundo. El transductor adicional está destinado a indicar la posición del nivel superior de un material en fase condensada dentro del recipiente. En un separador de petróleo, el nivel superior puede comprender una espuma, que puede ser difícil de distinguir de un gas por la diferencia de densidad o tiempo de vuelo de los ultrasonidos debido a que la espuma puede atenuarse demasiado con respecto a los ultrasonidos para generar una señal fiable. El uso de un transductor adicional simplemente para emitir ultrasonidos hacia la capa superior y recibir reflejos desde la superficie de la capa superior proporciona un medio adicional para localizar el nivel de dicha superficie. Las características de los ultrasonidos reflejados también pueden proporcionar información sobre la naturaleza de la superficie, por ejemplo, su rugosidad o movimiento. El transductor ultrasónico adicional puede localizarse en la parte superior de un recipiente para localizar la superficie superior o en la parte inferior de un recipiente para localizar una interfaz inferior. En un separador de petróleo, la capa inferior a menudo contiene arena y es relativamente densa. En tal posición, la atenuación del ultrasonido en tal fase puede ser relativamente alta, lo que dificulta las mediciones de reflexión. El transductor ultrasónico adicional puede estar unido a o formar parte de otras partes del aparato o puede estar separado de esas otras partes. Es preferible que, incluso cuando el aparato esté separado del transductor adicional, la señal procedente del transductor adicional pueda recibirse y procesarse por el medio de procesamiento de datos y señales del que está provisto el aparato de la invención.

En consecuencia, la presente invención proporciona un aparato para monitorizar la composición de un medio multifase que comprende dos o más alojamientos alargados para su inserción en dicho medio, teniendo cada alojamiento mencionado un conjunto de transmisores y receptores de ondas ultrasónicas dispuestos a intervalos a lo largo de al menos parte de su longitud, por lo que, cuando dichos alojamientos se insertan en dicho medio, el medio ocupa el espacio entre dichos alojamientos alargados, y dichos transmisores y receptores están dispuestos de manera que las ondas ultrasónicas transmitidas pasan a través de dicho medio en ruta hacia los receptores, y un medio de monitorización que proporciona una señal que depende del tiempo transcurrido para que una onda de sonido ultrasónica se desplace desde un transmisor a un receptor asociado con el mismo.

Las ondas ultrasónicas se transmiten como pulsos y se monitoriza el tiempo transcurrido entre la transmisión y la recepción de un pulso. Esta vez, el "tiempo de vuelo", es, por lo tanto, indicativo del tiempo total transcurrido para que la onda ultrasónica se desplace desde el transmisor, a través del medio, hasta el receptor, y por lo tanto depende de la velocidad de la onda a través del medio. Al calibrar midiendo los tiempos con diferentes materiales, tales como petróleo, agua y aire, como medio, el tiempo monitorizado puede usarse como una indicación de la naturaleza del medio en la localización del transmisor y del receptor. Midiendo los tiempos en pares de transmisor/receptor en diferentes localizaciones espaciales a lo largo de la longitud de los elementos alargados, puede determinarse la localización de las interfaces o los límites entre diferentes materiales de dicho medio. Muchas aplicaciones no requieren que se haga un cálculo de densidad absoluta: es suficiente que el tiempo de vuelo entre diferentes pares de transmisor-receptor, especialmente adyacentes, se mida con suficiente precisión para que se pueda detectar una diferencia entre la transmisión a través de un material, por ejemplo, petróleo, y otro material, por ejemplo, gas. Se requiere poca o ninguna calibración en tales aplicaciones.

5 Cuando el aparato se inserta en un recipiente que contiene un fluido multifase que se estratifica de acuerdo con la densidad de cada fase, el tiempo de vuelo del sonido entre el transmisor y el receptor de pares de transmisor-receptor adyacentes y/o la atenuación del sonido medido como una pérdida de señal en el receptor, puede compararse con el fin de identificar un cambio gradual entre el tiempo de vuelo registrado entre un primer par de transductores y el de un segundo par de transductores adyacentes, lo que indicaría que se produce un cambio de fase entre o en la región de los pares de transmisor-receptor primero y segundo. Preferentemente, la comparación se realiza entre un promedio del tiempo de vuelo y/o las mediciones de amplitud registradas en cada par de transductor-receptor, tomándose el promedio durante un período de tiempo adecuado. El tiempo durante el que se mide el promedio depende de la tasa de cambio de los niveles esperados en el recipiente y la precisión de tiempo 10 requerida del aparato, y puede variar dentro de límites amplios, por ejemplo, desde menos de un segundo hasta varios minutos. Al usar mediciones promedio o al aplicar otros métodos conocidos de filtrado de datos, puede reducirse el error en la localización de la región interfase provocado por picos de datos o ruido. Es una ventaja específica del aparato y el método de la invención que, al comparar la amplitud de la señal recibida y el TOF medido por transductores adyacentes en un alojamiento, pueden ignorarse los efectos de la temperatura y la presión, que cambian las propiedades acústicas del medio fluido. En esta forma del aparato y del método, no se requiere calcular la velocidad real del sonido ni la densidad del medio, debido a que el cambio en las propiedades acústicas entre las posiciones de los transductores adyacentes se usa para identificar la presencia de una interfaz de material. La naturaleza de los materiales que forman la interfaz puede deducirse de la posición de la interfaz y del conocimiento del contenido del recipiente.

20 Por lo tanto, en la invención, el método incluye las etapas de comparar el tiempo de vuelo de sonido TOF_1 medido por un primer par de transmisor-receptor TR_1 con el tiempo de vuelo de sonido TOF_2 medido por un segundo par de transmisor-receptor TR_2 y calcular si TOF_1 difiere de TOF_2 más que un valor predeterminado. TR_1 y TR_2 pueden ser adyacentes, pero no es necesario cuando se requiere determinar si una interfaz entre dos materiales en el recipiente se encuentra entre dos pares de transmisor-receptor no adyacentes. En lugar del TOF medido por los pares TR , 25 puede compararse la amplitud de la señal recibida por los respectivos receptores R_1 y R_2 . Esto es útil cuando la velocidad del sonido es similar en diferentes fases dentro del recipiente. Es preferible comparar el tiempo de vuelo y/o la amplitud registrada por el TR_1 con un valor predeterminado basado en el tiempo de vuelo y/o la amplitud registrada por el TR_2 , siendo el valor predeterminado un límite superior y/o inferior dentro del cual puede esperarse que el valor del tiempo de vuelo o la amplitud varíe dentro de la misma fase de material. Por ejemplo, puede determinarse que se produce un cambio de fase entre las localizaciones de los pares de transmisor-receptor adyacentes cuando el tiempo de vuelo medido por cada par varía en más de un cierto porcentaje seleccionado P , por ejemplo, del 0,5 % al 5 %, es decir, cuando:

$$TOF_1 < TOF_2 - ((P/100) * TOF_2)$$

o

$$TOF_1 > TOF_2 + ((P/100) * TOF_2)$$

35 siendo TOF_1 y TOF_2 , en este caso, el tiempo de vuelo medido en los pares de transmisor-receptor adyacentes 1 y 2. De acuerdo con la invención, dichos primeros transductores ultrasónicos comprenden un conjunto lineal de transmisores ultrasónicos T_n , donde n es un número entero de 1 a x y x es el número de transmisores en el conjunto, comprendiendo dichos segundos transductores ultrasónicos un conjunto lineal de receptores ultrasónicos R_n , formando dichos transmisores y receptores una pluralidad de pares de transmisor-receptor TR_n , y colocándose ambos alojamientos primero y segundo en un recipiente, alineados y en paralelo entre sí, orientados de tal manera que los alojamientos se extiendan hacia el fondo del recipiente, estando T_1 y R_1 más cerca del fondo del recipiente, en el que la etapa (f) comprende las etapas de:

- 45 i. preferentemente a partir de $n = 1$, medir la amplitud de la señal A_n recibida por el transductor de recepción R_n ;
- ii. comparar A_n con una amplitud predeterminada A_L ;
- iii. si $A_n > A_L$ entonces medir TOF_n , donde TOF_n es el tiempo de vuelo del sonido entre T_n y R_n ;
- iv. si $A_n < A_L$ entonces registrar TR_n como localizado dentro de una fase de material que tiene altas propiedades de atenuación de sonido, por ejemplo, una fase que contiene sólidos, una fase gaseosa o una fase discontinua, tal como una espuma o una emulsión;
- 50 v. repetir las etapas i - iv para cada TR_n hasta que $n = x$;
- vi. comparar TOF_n con TOF_{n+1} ;
- vii. si $TOF_{n+1} > TOF_n + P\%$, entonces registrar que un límite de fase de material se encuentra entre TR_n y TR_{n+1} , donde P es un valor predeterminado que representa un factor de significancia.

55 A_L es preferentemente al menos el 10 %, más preferentemente al menos el 20 %, opcionalmente un valor de hasta aproximadamente el 50 % de la amplitud de la señal que se recibiría si el material entre los alojamientos primero y

- segundo fuera una fase líquida homogénea. Al puede calcularse a partir de los parámetros de los ultrasonidos transmitidos y las propiedades del aparato o puede obtenerse mediante una calibración. Normalmente, P está entre aproximadamente el 0,1 % y aproximadamente el 5 % y se usa para calcular si el cambio en el TOF entre transductores adyacentes es significativo o simplemente debido al ruido estadístico. P puede seleccionarse basándose en pruebas de calibración para determinar el ruido inherente en el sistema de medición o puede ser un valor calculado. A_n y TOF_n preferentemente se promedian en el tiempo como se ha descrito anteriormente, es decir, de tal manera que A_n y TOF_n se calculan como valores promedio de los valores A y TOF medidos a intervalos durante un período de tiempo.
- 5
- 10 Preferentemente, el método también incluye la etapa de recopilar un perfil de fase del material dentro del recipiente a partir de la localización de cada TR_n y las mediciones de TOF_n y A_n .

Con el fin de verificar adicionalmente la localización de una interfaz, el método preferido puede incluir las etapas adicionales de:

- 15
- viii. comparar TOF_n con TOF_{n+2} y opcionalmente TOF_{n+3} ;
 - ix. si cada uno de TOF_{n+1} , TOF_{n+2} y, opcionalmente, $TOF_{n+3} > TOF_n + P\%$, entonces registrar que un límite de fase de material se encuentra entre TR_n y TOF_{n+1} .

- Esta etapa verifica que los transductores superiores a TR_{n+1} también registran un límite de fase de material para reducir el riesgo de que variaciones espurias en TR_{n+1} o TR_n se interpreten erróneamente como un límite de fase. Esta etapa se prefiere cuando se espera que haya más de dos o tres transductores localizados dentro de cada fase del material, en función de los parámetros conocidos del recipiente y su contenido.
- 20

- Normalmente, se conoce el número de fases presentes en el recipiente y su composición aproximada y esta información puede usarse para interpretar la información obtenida comparando el tiempo de vuelo y la señal procedente de los pares de transductores. Por ejemplo, se esperaría que las fases en un separador de petróleo incluyeran petróleo, agua, gas y, probablemente, una emulsión de petróleo/agua, una espuma y, posiblemente, una fase pesada en el fondo del recipiente que contiene arena u otros sólidos. Cuando la transmisión acústica entre un par de transmisor-receptor en el fondo del recipiente es muy baja o no puede medirse, ($A_n < A_L$), entonces puede suponerse que ese par está localizado dentro de la fase que contiene sólidos. A medida que se monitoriza cada par de transmisor-receptor sucesivo localizado más lejos del fondo del recipiente, la transmisión acústica aumenta bastante por encima del nivel de los sólidos y puede suponerse que esto significa el nivel más bajo del agua. Al monitorizar los pares de transmisor-receptor por encima de este nivel, otro cambio en la transmisión acústica entre pares adyacentes, normalmente con un tiempo de vuelo más largo, indica la localización de la fase de petróleo. Una pérdida de señal entre las fases de petróleo y agua, posiblemente acompañada por un tiempo de vuelo intermedio (si puede medirse) normalmente indicaría la presencia de una fase de emulsión. La velocidad del sonido a través de una emulsión normalmente se encuentra entre la velocidad del sonido en cada uno de sus líquidos componentes y es proporcional a la cantidad de cada líquido en la emulsión. Antes de la fase de petróleo, una pérdida de señal (amplitud) y un TOF más largo pueden indicar una fase de espuma o de gas. Una transición de fase adicional anterior a la espuma o el gas puede ser confirmatoria debido a que es probable que, a continuación, la fase desconocida sea espuma, indicando el cambio de fase adicional una transición a la fase gaseosa anterior a la espuma. Si hay un transductor adicional para medir la altura de la fase condensada, puede confirmarse aún más la presencia de espuma y su altura, si están presentes.
- 25
- 30
- 35
- 40

El aparato de la invención también puede proporcionar información sobre el flujo de fluidos en el que se localiza al menos uno de los pares de transductores. Por ejemplo, al comparar el tiempo de vuelo de los ultrasonidos entre un par de transductores en una dirección con el tiempo de vuelo en la otra dirección, puede estimarse la velocidad y la dirección del flujo de fluido.

- 45
- 50 En otra realización de la invención, los transductores son capaces de emitir/transmitir y recibir un intervalo de diferentes frecuencias. Al monitorizar y comparar el tiempo de vuelo y la atenuación de la energía ultrasónica a través de un medio en diferentes frecuencias de transmisión, es decir, en un espectro de frecuencias, puede obtenerse información adicional sobre la naturaleza del medio. Dicha información puede usarse para calcular las características de una fase discontinua dentro de una fase continua de un medio multifase, tal como una emulsión o espuma, o para proporcionar información sobre la cantidad y el tamaño de las partículas sólidas, tales como la arena suspendida en un medio líquido.

- La invención es de especial utilidad en la industria de la recuperación de petróleo y gas, especialmente en un separador de petróleo/agua. Por lo tanto, un separador de petróleo/agua puede estar provisto de una entrada para una mezcla de petróleo/agua y unas salidas independientes para las fases de petróleo y agua separadas y provisto de un aparato de monitorización de acuerdo con la invención, conteniendo los alojamientos los transductores ultrasónicos que están dispuestos de manera sustancialmente vertical en el recipiente con un conjunto de transmisores y receptores dispuestos a lo largo de la longitud de los alojamientos que atraviesan el límite de petróleo/agua esperado. Preferentemente, los alojamientos también están provistos de un conjunto de transmisores
- 55

y receptores dispuestos a lo largo de la longitud de cada alojamiento que atraviesa el límite de gas/líquido esperado. Las velocidades de flujo hacia la entrada y/o desde las salidas pueden controlarse en respuesta a los niveles monitorizados de los límites de petróleo/agua y/o gas/líquido. Existen muchas otras aplicaciones en diversas industrias en las que debe identificarse la localización de las transiciones de fase de material, por ejemplo, monitorizar la sedimentación de sólidos dentro de un precipitador o proceso de tratamiento o la separación de una emulsión, por ejemplo, después de un proceso de lavado, como el descrito en el documento US 4.565.088.

La invención se describirá en detalle en el siguiente ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, que son:

Figura 1: un dibujo esquemático de una sección transversal a través de un recipiente separador de petróleo en el que se ha instalado un aparato de la invención;

10 Figura 2: una representación de las características de la señal recibida en cada fase de un sistema multifase.

Figura 3: una sección transversal a través de una realización de un aparato de acuerdo con la invención.

Figura 4: una sección transversal a través de un aparato alternativo de acuerdo con la invención.

Figura 5A: una primera sección transversal longitudinal a través de un aparato de la invención.

15 Figura 5B: una segunda vista en sección transversal longitudinal a través del aparato de la figura 5A que se muestra girado 90° con respecto a la 5A.

En la figura 1, un recipiente separador de petróleo 10 contiene un flujo de fluido multifase procedente de un pozo de petróleo y gas. El flujo comprende una fase gaseosa 11, petróleo crudo 14 y agua 18. También están presentes fases heterogéneas adicionales, a saber, una espuma 12 que se forma entre las fases de petróleo y gas, una emulsión 16 entre el petróleo y el agua y una fase de menor densidad 20 que incorpora partículas sólidas de arena y otros materiales pesados. Los fluidos entran en el recipiente a través de un puerto de entrada (no mostrado), se separan en fases, por la gravedad, y, a continuación, se extraen del recipiente por separado a través de puertos de salida independientes (no mostrados). Pueden añadirse productos químicos a los fluidos con el fin de romper las fases de espuma y emulsión de manera que se separen en las fases deseadas de gas, petróleo y agua. El aparato de la invención comprende unos tubos de inmersión de titanio 24A que contienen, cada uno de los mismos, una pluralidad de transductores ultrasónicos 26A, B soportados en una disposición lineal a lo largo de la longitud de los tubos de inmersión. Cada transductor 26A está dispuesto para transmitir y recibir ondas ultrasónicas hacia y desde un transductor respectivo de los transductores 26B para formar un par de transmisor/receptor. Los transductores de un par se localizan a la misma distancia a lo largo de su tubo de inmersión respectivo y se orientan para recibir ondas ultrasónicas, preferentemente del otro transductor del par. Los tubos de inmersión están soportados por un alojamiento 30 y se dimensionan para encajar en el recipiente a través de un puerto de inspección 22. Un alojamiento independiente contiene un transductor ultrasónico adicional 28, orientado para transmitir hacia la superficie de la espuma 12. Las conexiones eléctricas (no mostradas) se extienden a lo largo de los tubos de inmersión y hacia el alojamiento 30 para llevar alimentación y señales a los transductores y las señales de los transductores a una unidad de procesamiento de datos dentro del alojamiento. El alojamiento 30 contiene, además, un modulador de pulsos, un procesador de señales/datos y una fuente de alimentación, adecuada para alimentar los transductores, el generador de pulsos y el procesador de datos. La fibra óptica 32 conecta el aparato a un sistema de control y lleva datos desde el procesador de datos a una estación de monitorización. El aparato se coloca en el recipiente de manera que los tubos de inmersión penetren a través de las diferentes fases de fluido 11-20.

La figura 3 muestra una sección transversal a través de los tubos de inmersión 24A, B. Cada tubo de inmersión está formado por una pared de aleación de titanio 36 que tiene un recubrimiento interno 34 y un recubrimiento externo 38. El recubrimiento 34 se selecciona para acoplar acústicamente la superficie interna del tubo de inmersión al fluido de acoplamiento 40. El recubrimiento 38 se selecciona para acoplar acústicamente la superficie externa del tubo de inmersión al medio en el que va a sumergirse. Los transductores ultrasónicos 26 se montan en un bloque de soporte 42 provisto de unas conexiones eléctricas 44 para llevar alimentación eléctrica y señales hacia y desde los transductores.

En la operación, el generador de pulsos genera y transmite una señal eléctrica a un elemento A de uno o más pares de transductores A-B. El transductor A responde transmitiendo un pulso ultrasónico al otro transductor de su par, el transductor B. Al recibir el pulso ultrasónico, el transductor B genera una señal eléctrica en respuesta. La señal se envía al procesador de señales/datos y, simultáneamente, estimula al transductor B para que transmita un segundo pulso ultrasónico al transductor A, que también genera una señal eléctrica al recibir el pulso. El procesador de señales/datos calcula el tiempo necesario para que cada señal pase del transmisor al receptor (tiempo de vuelo), lo que está directamente relacionado con la densidad del medio a través del que se ha desplazado la onda y la amplitud de la onda ultrasónica recibida, a partir de lo cual puede calcularse la atenuación debida a una pérdida interfacial. La figura 2 muestra cómo el tiempo de vuelo (barras horizontales) y la amplitud (línea discontinua) varían

entre los pares de transductores localizados en las fases 11-20 descritas en la figura 1. La velocidad del sonido en la fase gaseosa es mucho menor que en una fase condensada, por lo que el tiempo de vuelo es relativamente largo. Cuando el tiempo de vuelo es similar en diferentes fases, por ejemplo, entre el petróleo 14, la emulsión 16 y el agua 18, las fases pueden distinguirse más fácilmente comparando la atenuación del sonido a medida que pasa a través de las fases. La línea discontinua representa la intensidad de señal recibida (amplitud) en diferentes fases. Las fases discontinuas de emulsión y espuma producen más atenuación a medida que la energía sónica se disipa en los límites entre la fase incluida y la fase continua, de manera que la intensidad de señal recibida es relativamente baja en comparación con la transmisión a través de una fase continua. La fase de arena pesada 20 es altamente atenuante, de manera que se espera que se transmita una señal muy débil o ninguna señal, dependiendo de la cantidad de partículas de arena presentes. Cuando hay una diferencia significativa en el tiempo de vuelo y/o la atenuación de la señal entre pares de transductores longitudinalmente adyacentes, puede inferirse un cambio de fase en el fluido circundante. Como alternativa, el procesador de datos puede, mediante calibración, calcular densidades reales y relativas de una o más de las fases del sistema. La señal recibida por el transductor 28, como un reflejo procedente de la superficie de la espuma 12, establece la distancia entre el transductor 28 y la superficie de la espuma cuando se conoce la densidad de la fase gaseosa a través de la que se desplazan los ultrasonidos. De esta manera, puede confirmarse la localización de la superficie de espuma.

La figura 4 muestra una realización alternativa en la que están presentes tres tubos de inmersión 50. El tubo de inmersión 50A contiene un soporte 52 que soporta dos conjuntos verticales de sensores piezoeléctricos 26A y 56A orientados para transmitir ondas síncas en diferentes direcciones. El transductor 26A transmite a y recibe del transductor 26B localizado en el tubo de inmersión 50B. El tubo de inmersión 50C contiene un soporte 42C que aloja un conjunto de transductores 56B. Los transductores 26 A & B se seleccionan para transmitir y recibir energía ultrasónica a aproximadamente 2 - 3 MHz. El transductor 56A transmite a y recibe del transductor 56B localizado en el tubo de inmersión 50C. Los transductores 56 A & B se seleccionan para transmitir y recibir sonidos de frecuencias más bajas entre 1 y 20 kHz. Esta realización es útil para detectar el nivel de medios gaseosos y de espuma que son altamente atenuantes con respecto a la energía ultrasónica. La figura 5 muestra el aparato dispuesto en un medio multifase 11 - 20 como se ha descrito anteriormente. La figura 5A es una vista dibujada con un giro de 90° con respecto la vista de la figura 5B. El tubo de inmersión 50C, que contiene el conjunto de transductores de baja frecuencia, es más corto que los tubos de inmersión 50A y 50B debido a que no se requieren transductores de baja frecuencia en la parte del recipiente que contiene el medio líquido. En disposiciones alternativas, pueden proporcionarse diferentes conjuntos de transductores en toda la profundidad del medio fluido o solo una profundidad parcial como se muestra en este caso. La línea de puntos 58 en la figura 2 representa la intensidad de señal recibida medida por los transductores de frecuencia más baja 56 A & B.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar la localización de una interfaz entre dos materiales (11, 12, 14, 16, 18, 20) dentro de un recipiente (10) que comprende las etapas de:

- 5 (a) proporcionar una pluralidad de primeros transductores ultrasónicos (26A) capaces de transmitir ultrasonidos a través de al menos uno de dichos materiales (11, 12, 14, 16, 18, 20), estando dichos primeros transductores (26A) localizados dentro de un primer alojamiento alargado (24A), separados entre sí a lo largo de un eje longitudinal del alojamiento;
- 10 (b) proporcionar una pluralidad de segundos transductores ultrasónicos (26B) capaces de recibir los ultrasonidos transmitidos por dichos primeros transductores ultrasónicos (26A) y generar una señal eléctrica en respuesta a los mismos, estando dichos segundos transductores (26B) localizados dentro de un segundo alojamiento alargado (24B), separados entre sí a lo largo de un eje longitudinal del alojamiento,
- 15 (c) estando cada uno de dichos primeros transductores ultrasónicos (26A) asociado con uno respectivo de dichos segundos transductores ultrasónicos (26B) para formar un par de transmisor-receptor, de tal manera que los ultrasonidos emitidos por un elemento de dicho par puedan recibirse por y generar una señal eléctrica en el otro elemento de dicho par;
- 20 (d) localizar los alojamientos primero y segundo (24A, 24B) dentro del recipiente (10), de tal manera que los ultrasonidos transmitidos por al menos uno de los primeros transductores (26A) puedan detectarse por al menos un segundo transductor respectivo (26B) y que los alojamientos primero y segundo (24A, 24B) que contienen los transductores se sumerjan al menos parcialmente en al menos uno de los materiales (11, 12, 14, 16, 18, 20) contenidos en el recipiente (10),
- 25 (e) transmitir pulsos ultrasónicos desde más de uno de dichos primeros transductores ultrasónicos (26A) a los segundos transductores ultrasónicos respectivos (26B) y monitorizar la señal generada por cada uno de dichos segundos transductores ultrasónicos (26B) en respuesta a los ultrasonidos transmitidos por dichos primeros transductores ultrasónicos (26A),
- (f) comparar la señal generada por un segundo transductor ultrasónico de recepción (26B) o un parámetro calculado a partir de dicha señal con la señal generada por un transductor ultrasónico de recepción diferente o un parámetro calculado a partir de dicha señal para determinar si cambian las características acústicas del material localizado entre el primer alojamiento (24A) y el segundo alojamiento (24B) entre los transductores de recepción comparados,

30 en el que dichos primeros transductores ultrasónicos (26A) comprenden un conjunto lineal de transmisores ultrasónicos T_n donde n es un número entero de 1 a x y x es el número de transmisores en el conjunto, dichos segundos transductores ultrasónicos (26B) comprenden un conjunto lineal de receptores ultrasónicos R_n , formando dichos transmisores y receptores una pluralidad de pares de transmisor-receptor TR_n , y ambos alojamientos primero y segundo (24A, 24B) se colocan en un recipiente (10), alineados y paralelos entre sí, orientados de tal manera que los alojamientos (24A, 24B) se extienden hacia el fondo del recipiente (10), estando T_1 y R_1 más cerca del fondo del recipiente (10), en el que la etapa (f) comprende las etapas de:

- 40 i. viii. medir la amplitud de la señal A_n recibida por el transductor de recepción R_n ;
- ii. comparar A_n con una amplitud predeterminada A_L ;
- iii. si $A_n > A_L$ entonces medir TOF_n , donde TOF_n es el tiempo de vuelo del sonido entre T_n y R_n ;
- 45 iv. si $A_n < A_L$ entonces registrar TR_n como localizado dentro de una fase de material que tiene altas propiedades de atenuación de sonido;
- v. repetir las etapas i - iv para cada TR_n hasta que $n = x$;
- vi. comparar TOF_n con TOF_{n+1} ;
- vii. si $TOF_{n+1} > TOF_n + P\%$, entonces registrar que un límite de fase de material se encuentra entre TR_n y TR_{n+1} , donde P es un valor predeterminado que representa un factor de significancia.

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que un primer transductor (26A) transmite un pulso ultrasónico hacia un segundo transductor respectivo (26B), que, tras recibir el pulso, se estimula para transmitirlo de vuelta al primer transductor de iniciación (26A).

3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que un generador de pulsos proporciona a cada transductor de transmisión una secuencia codificada de pulsos y en el que, además, la codificación de pulsos de los transductores de transmisión adyacentes es diferente.

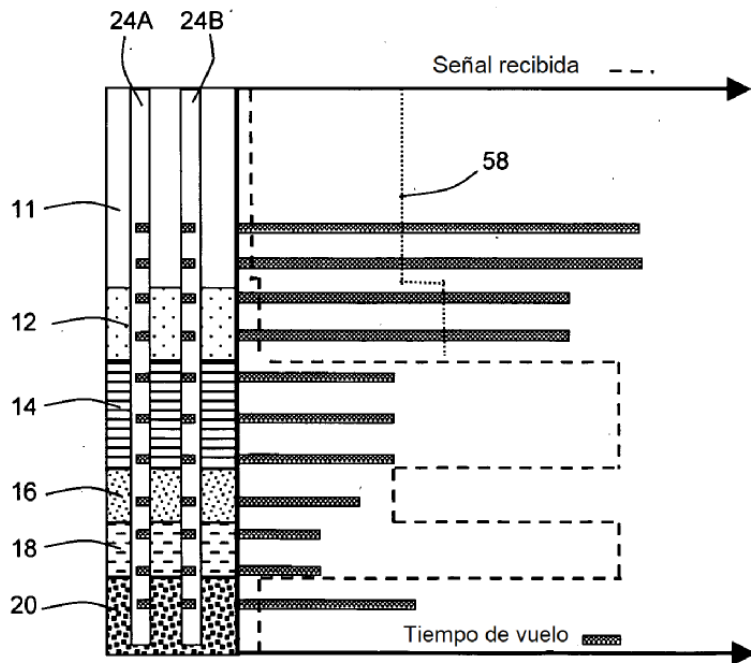
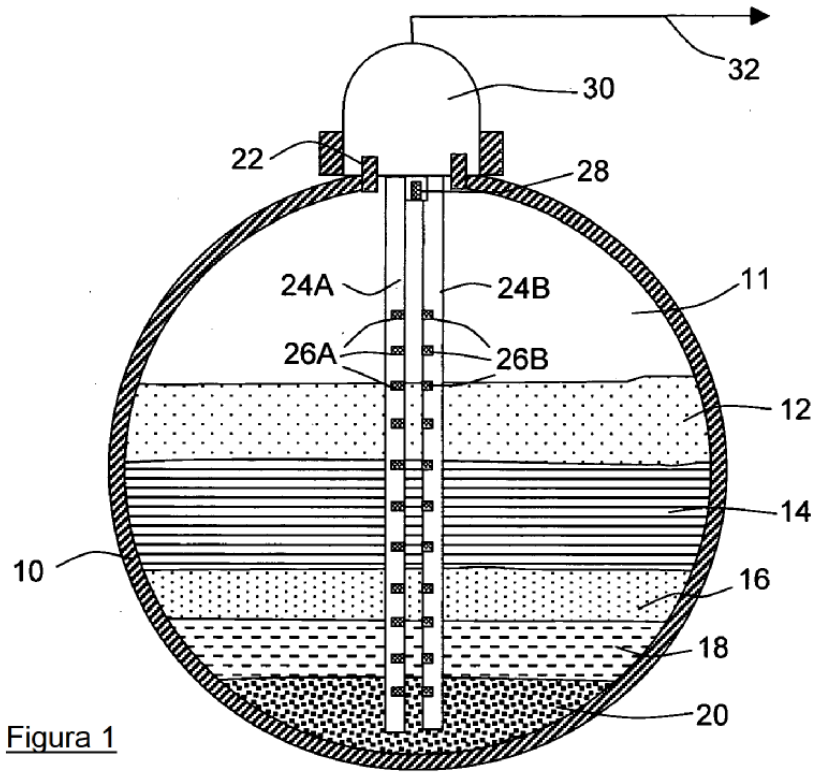
4. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que se estimulan los transductores de transmisión adyacentes (26A) para transmitir en diferentes momentos.

5. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que el tiempo de vuelo de la energía ultrasónica entre un primer par de transmisor-receptor se compara con el tiempo de vuelo de la energía ultrasónica entre un par de transmisor-receptor adyacente.

6. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que la atenuación de la energía ultrasónica entre un primer par de transmisor-receptor se compara con la atenuación de la energía ultrasónica entre un par de transmisor-receptor adyacente.
- 5 7. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las etapas i - iv se realizan para cada TR_n en una secuencia a partir de TR_1 .
8. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 7, que comprende además las etapas de comparar TOF_n con TOF_{n+2} y, opcionalmente, TOF_{n+3} , y si cada uno de TOF_{n+1} , TOF_{n+2} y, opcionalmente, $TOF_{n+3} > TOF_n + P\%$, entonces registrar que un límite de fase de material se encuentra entre TR_n y TOF_{n+1} .
- 10 9. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos uno de los transductores (26A) genera una señal en respuesta a la detección de sus propias emisiones reflejadas de vuelta desde la pared interna del alojamiento (24A) y en el que la señal se procesa para proporcionar información sobre el acoplamiento acústico entre la pared externa del alojamiento y el material externo e inmediatamente adyacente a la misma.
- 15 10. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tiempo de vuelo de la energía ultrasónica entre los elementos de un par de transmisor-receptor en una dirección se compara con el tiempo de vuelo en la otra dirección, de tal manera que puede estimarse la velocidad y la dirección del flujo de fluido.
11. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos algunos de los transductores (26A) se estimulan periódicamente para emitir ondas de sonido de una frecuencia adecuada para inducir la cavitación del fluido en la superficie del transductor (26A) y el alojamiento (24A).
- 20 12. Un aparato adaptado para usarse para realizar el método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-11, que comprende:
- (a) una pluralidad de primeros transductores ultrasónicos (26A) capaces de transmitir ultrasonidos a través de al menos uno de dichos materiales (11, 12, 14, 16, 18, 20), estando dichos primeros transductores (26A) localizados dentro de un primer alojamiento alargado (24A), dispuestos como un conjunto lineal, separados entre sí a lo largo de un eje longitudinal del alojamiento (24A);
- 25 (b) una pluralidad de segundos transductores ultrasónicos (26B) capaces de recibir ultrasonidos transmitidos por dichos primeros transductores ultrasónicos (26A) y generar una señal eléctrica en respuesta a los mismos, estando dichos segundos transductores (26B) localizados dentro de un segundo alojamiento alargado (24B), dispuestos como un conjunto lineal, separados entre sí a lo largo de un eje longitudinal del alojamiento (24B),
- 30 (c) estando cada uno de dichos primeros transductores ultrasónicos (26A) asociado con uno respectivo de dichos segundos transductores ultrasónicos (26B) para formar un par de transmisor-receptor, de tal manera que los ultrasonidos emitidos por un elemento de dicho par pueden recibirse por y generar una señal eléctrica en el otro elemento de dicho par;
- 35 (d) medios de montaje para dichos alojamientos primero y segundo (24A, 24B), siendo dichos medios de montaje capaces de mantener dichos alojamientos primero y segundo (24A, 24B) en una posición relativa entre sí, de tal manera que cada elemento de un par de transmisor-receptor se alinee con el otro elemento del par de transmisor-receptor y que los ultrasonidos transmitidos por al menos uno de los primeros transductores (26A) pueda detectarse por al menos un segundo transductor respectivo (26B),
- 40 (e) medios de montaje para montar los alojamientos primero y segundo (24A, 24B) dentro de un recipiente, de tal manera que al menos una parte de los alojamientos primero y segundo (24A, 24B) que contienen los transductores pueda sumergirse en al menos uno de los materiales (11, 12, 14, 16, 18, 20) contenidos en el recipiente (10),
- 45 (f) un medio de procesamiento de señales, capaz de comparar las señales generadas por los segundos transductores ultrasónicos (26B) o un parámetro calculado a partir de dichas señales para determinar si las características acústicas de cualquier material localizado entre el primer alojamiento (24A) y el segundo alojamiento (24B) cambian entre cualquiera de los pares de transmisor-receptor,
- (g) una fuente de alimentación, y
- 50 (h) un generador de pulsos para accionar los primeros transductores para emitir ultrasonidos de la frecuencia requerida,
- en el que dichos primeros transductores ultrasónicos (26A) comprenden un conjunto lineal de transmisores ultrasónicos T_n , donde n es un número entero de 1 a x y x es el número de transmisores en el conjunto, dichos segundos transductores ultrasónicos (26B) comprenden un conjunto lineal de receptores ultrasónicos R_n , formando dichos transmisores y receptores una pluralidad de pares de transmisor-receptor TR_n , y ambos alojamientos primero y segundo (24A, 24B) se colocan en un recipiente (10), alineados y paralelos entre sí, orientados de tal manera que los alojamientos (24A, 24B) se extienden hacia el fondo del recipiente (10), estando T_1 y R_1 más cerca del fondo del recipiente (10), en el que el medio de procesamiento de señales es capaz de realizar las etapas de:
- 55

- 5
- i. viii. medir la amplitud de la señal A_n recibida por el transductor de recepción R_n ;
 - ii. comparar A_n con una amplitud predeterminada A_L ;
 - iii. si $A_n > A_L$ entonces medir TOF_n , donde TOF_n es el tiempo de vuelo del sonido entre T_n y R_n ;
 - iv. si $A_n < A_L$ entonces registrar TR_n como localizado dentro de una fase de material que tiene altas propiedades de atenuación de sonido;
 - v. repetir las etapas i - iv para cada TR_n hasta que $n = x$;
 - vi. comparar TOF_n con TOF_{n+1} ;
 - vii. si $TOF_{n+1} > TOF_n + P\%$, entonces registrar que un límite de fase de material se encuentra entre TR_n y TR_{n+1} , donde P es un valor predeterminado que representa un factor de significancia.
- 10
- 15
13. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 12, que comprende una pluralidad de terceros transductores (56A) capaces de transmitir energía sónica a través de al menos uno de dichos materiales (11, 12, 14, 16, 18, 20) y una pluralidad de cuartos transductores (56B) capaces de recibir la energía sónica transmitida por dichos terceros transductores ultrasónicos (56A) y generar una señal eléctrica en respuesta a los mismos; estando cada uno de dichos terceros transductores (56A) asociado con uno respectivo de dichos cuartos transductores (56B) para formar un par de transmisor-receptor, de tal manera que los ultrasonidos emitidos por un elemento de dicho par puedan recibirse por y generar una señal eléctrica en el otro elemento de dicho par.
14. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 13, en el que dichos transductores tercero y cuarto (56A, 56B) están adaptados para transmitir y recibir energía sónica de una frecuencia diferente de dichos transductores primero y segundo (26A, 26B).

20



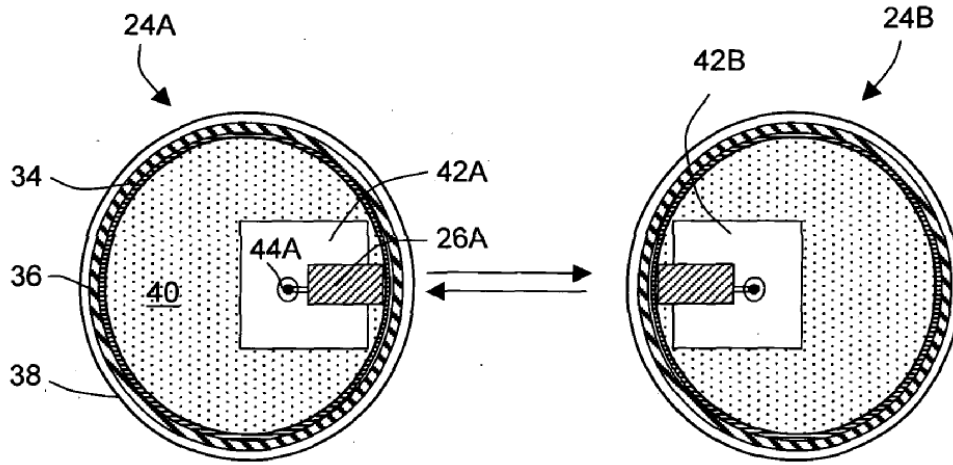


Figura 3

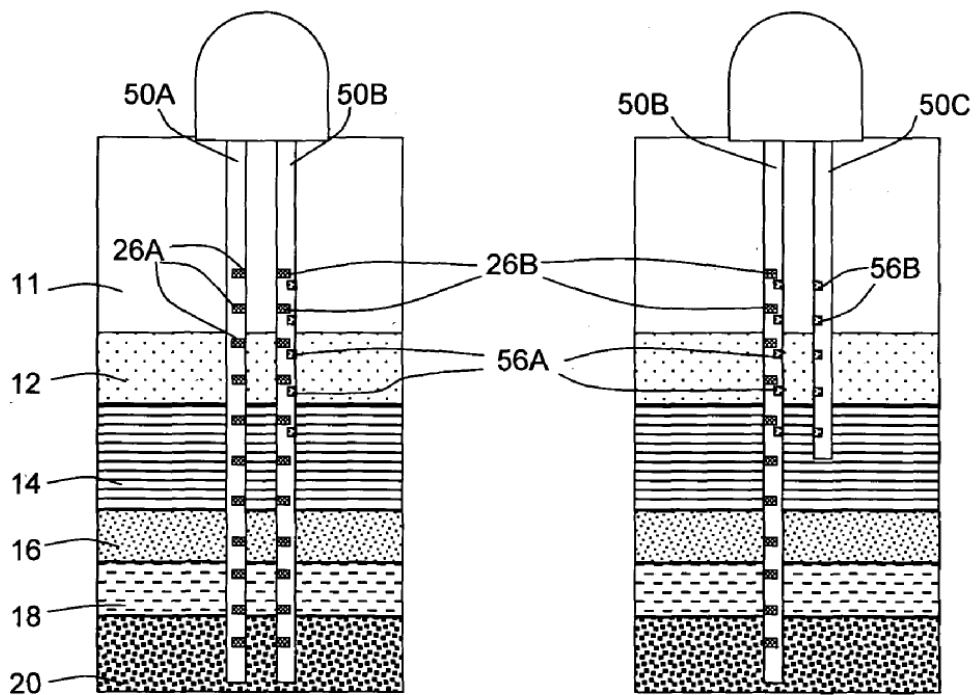


Figura 5A

Figura 5B

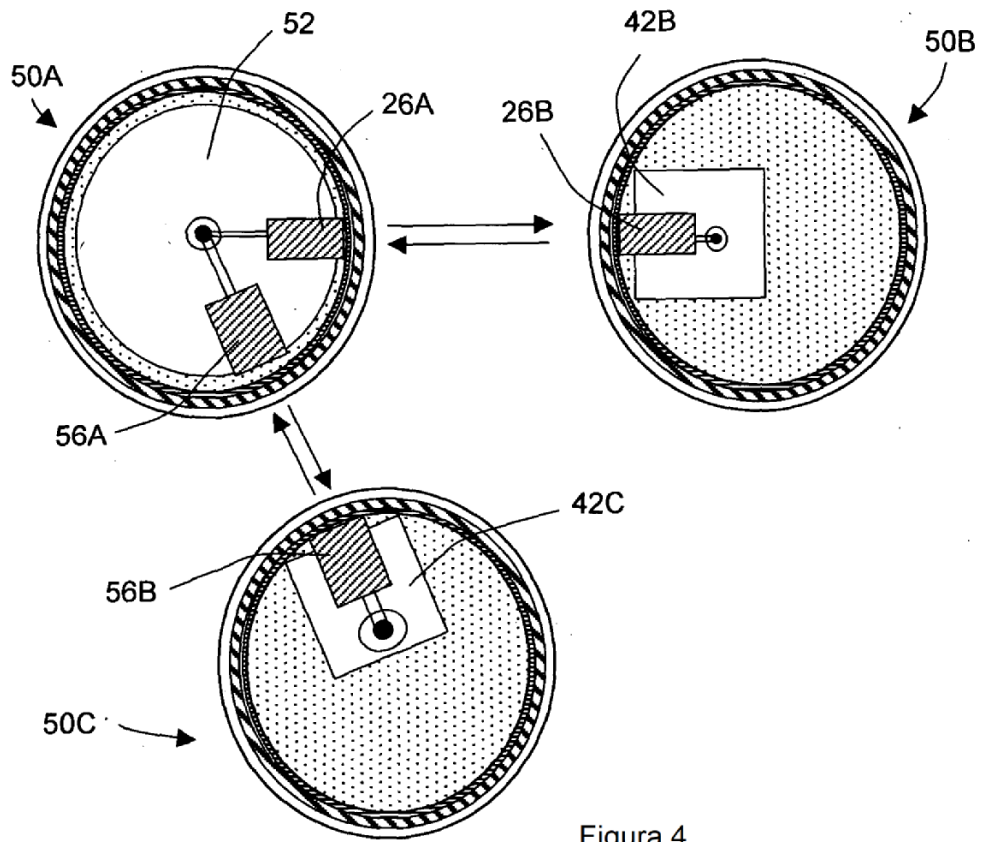


Figura 4