



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 366 393**

51 Int. Cl.:
G01N 29/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **99300609 .7**

96 Fecha de presentación : **27.01.1999**

97 Número de publicación de la solicitud: **0933632**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.08.1999**

54 Título: **Determinación de la viscosidad de un fluido en un recipiente.**

30 Prioridad: **03.02.1998 US 17765**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
19.10.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
19.10.2011

73 Titular/es:
CAMERON INTERNATIONAL CORPORATION
1333 West Loop South, Suite 1700
Houston, Texas 77027, US

72 Inventor/es: **Hastings, Calvin R.;**
Estrada, Herbert;
Johnson, Steven J.;
Miller, Robert C. y
Augenstein, Donald R.

74 Agente: **Durán Moya, Carlos**

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

Determinación de la viscosidad de un fluido en un recipiente

5 SECTOR TÉCNICO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a la medición de la viscosidad de un fluido en el interior de un recipiente tal como un bidón, depósito o tubería. Más específicamente, la presente invención se refiere a la determinación de la viscosidad de un fluido en el interior de un recipiente mediante la determinación de la amortiguación de una señal acústica que circula a través del fluido y la velocidad del sonido en el fluido. El fluido puede estar en reposo o en movimiento.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

En las tuberías de conducción de petróleo o "pipelines" y en otras tuberías, existe la necesidad de medir determinadas características del fluido, que habitualmente está circulando.

En particular, se necesita una medición de la viscosidad (tanto absoluta como cinemática) para:

- (a) diferenciar fluidos,
- (b) detectar la superficie de separación entre dos fluidos diferentes,
- (c) caracterizar gradientes de presión en una tubería a efectos de detectar fugas y su situación,
- (d) determinar cuando se produce un cambio o una superficie de separación entre fluidos, y
- (e) determinar la cantidad precisa de un agente de dilución para cumplir con el límite máximo de viscosidad determinado por la potencia de bombeo y la presión nominal de la tubería.

Los medios disponibles actualmente para estas mediciones son complejos, costosos y a veces poco fiables. Por ejemplo, las fuerzas de viscosidad se miden a veces mediante sistemas vibratorios. En el caso de estos medios y en muchos otros, es necesaria una tubería de derivación para dirigir una parte del líquido que fluye hacia los medios de medición. La derivación puede quedar obstruida por ceras u otros elementos transportados por el líquido que fluye. Además, las partes móviles de dichos medios de medición pueden crear problemas de mantenimiento y de calibración. Muchas empresas de explotación de las "pipelines" toman muestras del líquido que fluye para determinar la densidad y la viscosidad, debido a que la precisión y la fiabilidad de los medios en línea no satisfacen sus requisitos. El coste del procedimiento de muestreo es evidente. Además, el procedimiento impide que la empresa de la "pipeline" tenga la capacidad de seguir y controlar las características de forma continua y en tiempo real.

El documento US 5.686.661 da a conocer un método para medir a distancia la viscosidad de materiales fundidos tales como cristal fundido, aleaciones fundidas, etc. durante el tratamiento del material.

El documento US 4.559.810 da a conocer un método para determinar la viscosidad dinámica de una muestra de una resina polimérica que está sometida a una temperatura variable con el tiempo, en el que el método incluye las etapas de hacer pasar una onda ultrasónica de detección de una amplitud conocida a través de la muestra, detectar la amplitud de la onda una vez que ha circulado a través de la muestra y, a partir del grado de amortiguación, obtener un valor que tiene una correlación lineal con el logaritmo de la viscosidad instantánea de la resina.

50 CARACTERÍSTICAS DE LA INVENCION

La invención está definida en las reivindicaciones independientes, a las cuales se hará referencia a continuación. En las reivindicaciones dependientes se describen las realizaciones preferentes de la invención.

El mecanismo puede utilizar transductores fijados al exterior del recipiente, tal como una tubería, (es decir, transductor externo) o transductores que penetran en el recipiente (es decir, transductor húmedo).

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

En los dibujos que se acompañan se muestra la realización preferente de la invención y los métodos preferentes de puesta en práctica de la invención, en los cuales:

Las figuras 1a y 1b son representaciones esquemáticas de vistas laterales y axiales, respectivamente, de transductores colocados sobre una tubería.

Las figuras 2a y 2b son representaciones esquemáticas de la trayectoria acústica con transductores externos y transductores húmedos, respectivamente.

La figura 3 es una representación del retraso en el tiempo y de la amortiguación de la señal de un oscilógrafo típico referente a la presente invención.

La figura 4 es una representación esquemática de la presente invención.

La figura 5 es una representación esquemática de una realización alternativa de la presente invención.

La figura 6 es un gráfico de A_{SPREAD} con respecto a C_f .

DESCRIPCIÓN DE LA REALIZACIÓN PREFERENTE

Haciendo referencia a continuación a los dibujos en los que numerales de referencia similares se refieren a partes similares o idénticas en las diversas vistas, y más concretamente a la figura 4 de los mismos, en ella se muestra un aparato -10- para medir la viscosidad de un fluido en el interior de un recipiente -12-, tal como una tubería. El aparato -10- comprende un mecanismo -14- para transmitir una señal a un fluido en el interior de un recipiente -12-. El mecanismo de transmisión -14- está adaptado para estar en contacto con el recipiente -12- y proporcionar la señal al fluido en el interior del recipiente -12-. El aparato -10- comprende un mecanismo -16- para recibir la señal una vez que la señal ha pasado a través del fluido. El mecanismo de recepción -16- está en contacto con el recipiente -12- y recibe la señal del fluido en el interior del recipiente -12-. El aparato -10- comprende un mecanismo -15- para determinar la viscosidad del fluido en el recipiente -12- a partir de la señal una vez que la señal ha pasado a través del fluido. El mecanismo de determinación -15- está conectado al mecanismo de recepción -16-. El mecanismo de determinación -15- está conectado al mecanismo de recepción -16- y al mecanismo de transmisión -14-.

Preferentemente, el mecanismo de transmisión -14- y el mecanismo de recepción -16- están dispuestos en la superficie exterior -18- de la tubería -12-, y la señal pasa desde el mecanismo de transmisión -14- a través de la pared -20- de la tubería, a través del fluido en el interior de la tubería -12- y a través de la pared -20- de la tubería al mecanismo de recepción -16-. Preferentemente, el mecanismo de transmisión -14- y el mecanismo de recepción -16- están en contacto con la pared de la tubería -12- o penetran en la tubería -12-, de modo que la señal procedente del mecanismo de transmisión -14- sigue una trayectoria -22- (bien en sentido diametral o en diagonal) a través de la tubería -12- hasta el mecanismo de recepción -16-. El mecanismo de transmisión -14- y el mecanismo de recepción -16- están dispuestos preferentemente sobre la tubería -12-, opuestos entre sí, de modo que la señal procedente del mecanismo de transmisión -14- sigue una trayectoria -22- hasta el mecanismo de recepción -16-. Preferentemente, el fluido es un líquido y el mecanismo de transmisión -14- incluye un primer transductor -24- que produce una señal acústica, y el mecanismo de recepción -16- incluye un segundo transductor -26- que recibe la señal acústica procedente del primer transductor -24-. La señal acústica producida por el primer transductor -24- pasa preferentemente a través de la pared -20- de la tubería al líquido en el interior de la tubería -12- y, a través de la pared -20- de la tubería, al segundo transductor -26-.

El mecanismo de transmisión -14- incluye preferentemente un transmisor -28- el cual aplica una primera señal de tensión al primer transductor -24- haciendo que este primer transductor -24- produzca la señal acústica que tiene la frecuencia f . El transmisor -28- está conectado al primer transductor -24-. El mecanismo de transmisión -14- incluye preferentemente un primer mecanismo -30- de medición de la tensión conectado al transmisor -28-, el cual mide la tensión aplicada al primer transductor -24- desde el transmisor -28- y registra el momento en el que se aplicó la tensión.

El mecanismo de recepción -16- incluye preferentemente un receptor -34- conectado al segundo transductor -26-. El segundo transductor -26- convierte la señal acústica en una segunda señal de tensión. El receptor -34- amplifica la segunda señal de tensión procedente del segundo transductor -26-. El mecanismo de recepción -16- incluye preferentemente un segundo mecanismo -32- de medición de la tensión conectado al receptor -34-, el cual mide la tensión de la segunda señal de tensión y registra el momento en el que se recibió la tensión.

El mecanismo de determinación -15- incluye preferentemente un mecanismo de tratamiento -36- que está conectado al primer y al segundo mecanismos -30-, -32- de medición de la tensión y determina la viscosidad del fluido en el interior de la tubería -12- en función de la tensión y del tiempo de tránsito (tiempo entre la transmisión registrada por -30- y la recepción registrada por -34-) medido por medio de los primer y segundo mecanismos de medición de la tensión -30-, -32-. Preferentemente, el mecanismo de determinación -15- incluye un mecanismo de cronometraje -32- para medir el tiempo de tránsito de la señal ultrasónica que recorre una distancia conocida en el interior del líquido y en el que el mecanismo de tratamiento -36- determina la velocidad del sonido en el líquido. Preferentemente, el dispositivo de tratamiento determina la viscosidad en función de la amortiguación de la señal acústica producida por el primer transductor -24- y recibida por el segundo transductor -26- cuando recorre una distancia conocida en el interior del líquido y la velocidad del sonido en el líquido que viene determinada por el tiempo de tránsito. Preferentemente, el dispositivo de tratamiento determina la viscosidad en el momento y en las

condiciones en las que la señal acústica pasa a través del líquido a partir de la amortiguación de la señal acústica y de la velocidad del sonido en el fluido en dicho momento y en la tubería -12-. Preferentemente, la señal acústica producida por medio del primer transductor -24- y recibida por el segundo transductor -26- es una señal ultrasónica.

En una realización alternativa (figura 5), el mecanismo de transmisión -14- incluye preferentemente un transductor -24- que produce una señal ultrasónica que es enviada al interior del líquido. El mecanismo de transmisión -14- incluye preferentemente un transmisor -28- que aplica una señal de tensión al transductor -24-. El mecanismo de transmisión -14- incluye preferentemente un mecanismo -30- de medición de la tensión que mide la tensión aplicada y registra el tiempo de tránsito. El mecanismo de transmisión -14- incluye un multiplexor -40- conectado al transmisor -28- y al transductor -24- que conmuta la primera señal de tensión al transductor -24-.

Preferentemente, el multiplexor -40- se utiliza para compartir el tiempo del transductor -24- entre el mecanismo de transmisión -14- y el mecanismo de recepción -16-. Cuando está conectado al mecanismo de recepción -16-, el transductor -24- convierte las señales ultrasónicas recibidas que recibe procedentes del fluido en señales de tensión una vez que las señales ultrasónicas han sido reflejadas en el interior de la tubería -12-. Existe asimismo un receptor -34- que recibe y amplifica las señales de tensión. El receptor -34- está conectado al multiplexor -40-. El multiplexor -40- conmuta las últimas señales de tensión procedentes del transductor -24- al receptor -34-.

El mecanismo de recepción -16- incluye preferentemente un segundo mecanismo -32- de medición de la tensión conectado al receptor -34- que mide la tensión de la última señal de tensión y registra cuando se recibió la tensión. Preferentemente, el mecanismo de determinación -15- incluye un mecanismo de tratamiento -36- que está conectado al primer y segundo mecanismos -30-, -32- de medición de la tensión y determina la viscosidad del fluido en el interior de la tubería -12- en función de las tensiones medidas por el primer y el segundo mecanismos -30- y -32- de medición de la tensión y del tiempo de tránsito entre la señal de transmisión registrado por -30- y la señal recibida registrada por -32-.

En general, una trayectoria acústica (ver figuras 2a y 2b) estará compuesta de un cierto número de superficies de separación, medios de amortiguación y reflexiones, tal como se indica a continuación:

- (1) Transductor 1/superficie de separación del cuerpo acústico envolvente -24- (figuras 2a y 2b).
- (2) Amortiguación del cuerpo envolvente -24- del transductor (figuras 2a y 2b).
- (3) Cuerpo envolvente del transductor -24-/superficie de separación de la pared -20- del recipiente (en el caso de transductores externos) (figura 2a).
- (4) Amortiguación de la pared -20- del recipiente (en el caso de transductores externos) (figura 2a).
- (5) Pared -20- del recipiente/superficie de separación del fluido -15- (en el caso de transductores externos) (figura 2a) y el cuerpo envolvente -24- a la superficie de separación del fluido -15- (en el caso de transductores húmedos) (figura 2b).
- (6) Amortiguación del fluido (figuras 2a y 2b). La amortiguación dependerá de la viscosidad del fluido, de la longitud de la trayectoria acústica y de la frecuencia del ultrasonido, entre otros factores.
- (7) Reflexiones en la pared -20- del recipiente (si es aplicable).
- (8) Fluido -15-/pared -20- del recipiente (en el caso de transductores externos) (figura 2a) y superficie de separación del fluido -15-/superficie de separación del cuerpo envolvente -20- (en el caso de transductores húmedos) (figura 2b).
- (9) Amortiguación de la pared -20- del recipiente (en el caso de transductores externos) (figura 2a).
- (10) Pared -20- del recipiente/superficie de separación del cuerpo envolvente -26- del transductor (en el caso de transductores externos) (figura 2a).
- (11) Amortiguación del cuerpo envolvente -26- del transductor (figuras 2a y 2b).
- (12) Amortiguación del cuerpo envolvente -26-/superficie de separación del transductor -2- (figuras 2a y 2b).

A medida que recorre su camino desde el transmisor eléctrico hasta el receptor electrónico, la energía transmitida será amortiguada, tanto eléctricamente como acústicamente. El cable eléctrico, las propiedades de transducción eléctrica/acústica de los transductores de transmisión y de recepción, y las características de amplificación de la tensión del receptor electrónico contribuyen a la determinación de la magnitud neta de la señal tal como es medida en la salida del receptor electrónico. Existen asimismo fuentes potenciales de amortiguación debidas al acoplamiento no ideal en las superficies de separación (1), (3), (10) y (12).

El aparato -10- (figuras 4 y 5) se basa preferentemente en los principios físicos descritos a continuación.

El transductor acústico es inversible. Cuando es excitado con impulsos de tensión, el transductor produce ondas de presión, y cuando está sometido a ondas de presión produce una tensión. La presión se propaga desde el transductor de transmisión a través de cada uno de los medios a los transductores de recepción. El aparato -10- utiliza la energía acústica reflejada así como la energía acústica transmitida.

1. Amortiguación no debida al fluido, A_{EXT} .

La amortiguación resultante de un cierto número de fuentes que no dependen del fluido contenido en la tubería se denomina A_{EXT} (decibelios). En ellas, están incluidas la eficiencia de conversión de la energía eléctrica en energía ultrasónica y de la energía ultrasónica en energía eléctrica, mediante los transductores de transmisión y de recepción, la eficiencia del acoplamiento del transductor a la pared de la tubería y de la pared de la tubería al transductor, la ganancia del receptor, etc. Habitualmente, todas estas fuentes de amortiguación están combinadas.

2. Energía transmitida a una superficie de separación entre medios, A_{TRANS} y A_{REF} .

Cuando la energía acústica encuentra una superficie de separación entre dos medios de densidades diferentes y de distintas velocidades de transmisión de los ultrasonidos, la (energía acústica) de la onda transmitida se amortigua (decibelios) según la ecuación siguiente:

$$A_{TRANS} = 10 \cdot \log \left[\frac{4\rho_2 C_2 \cdot \rho_1 C_1}{(\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1)^2} \right] \quad (\text{Ecuación A})$$

De manera similar, la energía acústica se amortigua (decibelios) de la forma siguiente:

$$A_{REF} = 20 \cdot \log \left[\frac{\rho_2 C_2 - \rho_1 C_1}{\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1} \right] \quad (\text{Ecuación B})$$

En que:

ρ_i = densidad del medio i

C_i = velocidad de propagación del ultrasonido en el medio i

1 = subíndice para el medio incidente

2 = subíndice para el medio refractante

A_{TRANS} = amortiguación en dB para la energía de transmisión a través de una superficie de separación del medio

A_{REF} = amortiguación en dB para la energía de reflexión en una superficie de separación del medio

3. Absorción acústica en el fluido A_{VIS}

Cuando la energía ultrasónica circula a través de un fluido viscoso, parte de la energía se disipa en pérdidas cuya magnitud está relacionada con la viscosidad, la densidad, la velocidad de propagación y la frecuencia del ultrasonido. Estas pérdidas se caracterizan por una constante de amortiguación dada por una relación de la forma siguiente:

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2\rho C^3} (a\eta + b\eta_B) = K_v \eta \frac{\omega^2}{2\rho C^3}$$

En que:

α = constante de amortiguación inversa a la longitud

ω = frecuencia angular (radianes / segundo)

C = velocidad de propagación del ultrasonido (pulgadas/segundo)

η = viscosidad absoluta al cizallamiento (poise)

η_B = viscosidad aparente absoluta (poise)

ρ = densidad másica del fluido (g/cm^3)

10 a, b = constantes relativas a la viscosidad al cizallamiento y aparente, determinadas mediante la estructura molecular del fluido. Teóricamente, los productos derivados del petróleo tienen $a = 4/3$ y $b = 1$.

$$K_v = \left| a + b \frac{\eta_B}{\eta} \right| = \text{factor de corrección de la viscosidad}$$

15 La amortiguación de la energía acústica en el fluido viscoso está relacionada exponencialmente con el coeficiente de amortiguación y con la distancia que recorre la energía acústica a través del fluido. En el caso de una onda acústica que circula a través de una tubería, la energía acústica que alcanza la pared más alejada viene dada por:

$$A_{\text{vis}} = -35,43 \frac{K_v f^2 \eta}{\rho C^3} L$$

(Ecuación C)

en la que:

A_{vis} = amortiguación debida a las pérdidas por viscosidad (dB)

L = longitud de la trayectoria

El factor de corrección de la viscosidad generalmente es desconocido y se determina idealmente para todos los fluidos que se puede esperar encontrar. Prácticamente, puede aproximarse a 2 para la mayor parte de fluidos, excepto el agua que es aproximadamente de 3.

4. Difusión de la amortiguación A_{SPREAD} .

Cuando un haz de energía ultrasónica se propaga a través de un medio, después de una cierta distancia se difunde, es decir, aumenta su anchura a medida que aumenta su distancia a la fuente. Dado que el tamaño del transductor de recepción es fijo, cuando aumenta la distancia entre los transductores de transmisión y de recepción, disminuye la cantidad de energía incidente en el transductor de recepción. En el límite, para una gran distancia la amortiguación de la difusión viene dada por la ecuación:

$$A_{\text{SPREAD}} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{f}{c \cdot L} \right) + K_s$$

(Ecuación D)

en la que:

A_{SPREAD} = amortiguación de la difusión en dB

f , c y L = definidas como anteriormente

K_s = constante dependiente de las dimensiones y características del transductor.

Dado que K_s es fijo, es decir, no dependiente del fluido, a veces está comprendido en A_{EXT} . La figura 6 muestra la dependencia calculada de la amortiguación de la difusión en la frecuencia, en el caso de un sistema compuesto de dos transductores de 2,54 cm (1 pulgada) de diámetro montados en tuberías de diámetros interiores diversos. Tal como puede verse, el comportamiento en el caso de tuberías mayores de 40,64 cm (16 pulgadas) de diámetro exterior está razonablemente de acuerdo con la ecuación anterior para tuberías de pequeño diámetro en las que existe una zona en la que la amortiguación de la difusión es casi independiente de la velocidad del sonido y para distancias menores, la amortiguación se incrementa al aumentar la velocidad del sonido.

El aparato -10- utiliza la dependencia de la señal de tensión recibida respecto a las características de amortiguación de las superficies de separación (5) y (7) de la lista anterior, así como la característica (6) de amortiguación del fluido.

Las ecuaciones que describen los principios físicos en los que se basa la invención facilitadas anteriormente, muestran que la amortiguación de la señal acústica en la pared del recipiente/superficies de separación del fluido está en función de la densidad de la velocidad del sonido del producto para el fluido y para el material de la pared de la tubería.

Con el objeto de calcular la amortiguación, se determina la velocidad del sonido en el fluido utilizando los datos del tiempo de tránsito de los impulsos medidos para la trayectoria acústica junto con los tiempos de retraso para los medios no fluidos.

Específicamente, la velocidad del ultrasonido viene dada mediante:

$$C_f = L / t_f$$

en la que:

t_f = tiempo medio de tránsito de los impulsos acústicos que circulan en sentido normal al eje de la tubería en el fluido

$$t_f = t_{\text{total}} - t_{\text{no-fluido}}$$

L = longitud de la trayectoria acústica en el fluido

en la que:

t_{TOTAL} = tiempo total de tránsito desde el transmisor electrónico hasta el receptor electrónico.

$t_{\text{no-fluido}}$ = total de todos los retrasos no debidos al fluido, incluyendo los tiempos de tránsito para cables, transductores y cuerpos envolventes, paredes de tuberías y dispositivos electrónicos de recepción.

La densidad del material de la pared de la tubería generalmente es bien conocida, o puede ser determinada antes de realizar las mediciones de las características del fluido. La velocidad del sonido en el material de la pared de la tubería a menudo es conocida o, si no lo es, puede ser medida utilizando medios ultrasónicos de medición del grosor. Para calibrar la adecuación del dispositivo de medición en el caso de la densidad, puede medirse la densidad de uno de los fluidos desconocidos que fluyen por la tubería mediante una muestra tomada o puede determinarse mediante una relación entre la velocidad del sonido y la densidad.

La frecuencia natural de los transductores de transmisión y de recepción se escoge de tal modo que produzca una amortiguación significativa en el propio fluido en toda la gama de viscosidades a medir.

La trayectoria acústica de medición de la viscosidad puede ser calibrada mediante la medición de la amortiguación con un fluido cuya viscosidad ha sido determinada con precisión por medio de una muestra tomada. A continuación, puede determinarse la viscosidad de otro fluido a partir de la amortiguación medida para dicho fluido con respecto a la amortiguación medida para el fluido de calibración.

En una realización, la medición de la amortiguación necesaria para la determinación de la viscosidad se realiza por medio de un dispositivo de control automático de la ganancia aplicado al receptor amplificador que realiza el tratamiento del impulso acústico recibido para la determinación de la amplitud y del tiempo de tránsito. El sistema automático de control de la ganancia detecta la amplitud de la señal recibida después de la amplificación y la compara con una referencia predeterminada. Si la señal está por debajo de la referencia, la ganancia aumenta, si está por encima de la referencia, la ganancia disminuye. La magnitud de la ganancia necesaria para conseguir este equilibrio es una medición directa de la amortiguación a medir. Si se compara la ganancia requerida para un fluido desconocido con la ganancia requerida para un fluido de referencia, puede calcularse la viscosidad utilizando las relaciones descritas hasta este momento.

Se considerará el caso de dos transductores ultrasónicos situados en posiciones diametralmente opuestas en un tramo de una tubería que contiene un fluido, Tal como se muestra en la figura 4, el transmisor -28- aplica un impulso de tensión conocido a un primer transductor ultrasónico -24-. Un primer mecanismo -30- de medición de la tensión (por ejemplo, un simple voltímetro) mide la tensión aplicada al primer transductor -24-. Cuando se aplica el impulso de tensión al primer transductor -24-, éste genera una señal ultrasónica de una frecuencia f que se propaga a través de la pared -20- de la tubería, al fluido -21- y a la pared opuesta -20- de la tubería, hasta el segundo transductor -26-. En el segundo transductor -26-, la señal ultrasónica se convierte en una señal eléctrica que es amplificada por medio del receptor -34- y es conectada a un segundo mecanismo -32- de medición de la tensión. La amortiguación expresada en dB se calcula mediante la ecuación:

$$A_{MES} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$$

(Ecuación E)

En que V_1 es la tensión medida mediante el segundo mecanismo -32- de medición de la tensión y V_2 es la tensión medida mediante el primer mecanismo -30- de medición de la tensión.

La amortiguación medida A_{MES} es el resultado de la suma total de todos los tipos de amortiguación, concretamente A_{EXT} , A_{TRANS} , A_{VIS} , A_{REF} y A_{SPREAD} . En el caso de una disposición tal como la mostrada en la figura 4, A_{MES} es igual a:

$$A_{MES} = A_{EXT} + A_{VIS} + A_{SPREAD} + 2 \cdot A_{TRANS}$$

(Ecuación F)

Otra disposición posible es utilizar un transductor único, tal como el mostrado en la figura 5. En este caso, la señal de tensión se mide después de dos pasos (ida y retorno) a través del fluido y después de haber sido reflejada tres veces por la pared de la tubería realizando cuatro pasos (ida y retorno dos veces) a través del fluido. En este caso, la amortiguación total para los dos pasos viene dada por

$$A_{MES2} = A_{EXT} + A_{VIS2} + A_{SPREAD2} + 2 \cdot A_{TRANS} + A_{REF}$$

(Ecuación G)

cuando el impulso es detectado después de cuatro pasos a través del fluido, la amortiguación total viene dada por

$$A_{MES4} = A_{EXT} + A_{VIS4} + A_{SPREAD4} + 2 \cdot A_{TRANS} + 3 \cdot A_{REF}$$

(Ecuación H)

restando la ecuación G de la ecuación H

$$A_{MES4} - A_{MES2} = A_{VIS4} - A_{VIS2} + A_{SPREAD4} - A_{SPREAD2} + 2 \cdot A_{REF}$$

(Ecuación I)

La ventaja de este planteamiento es que no es necesario determinar A_{TRANS} ni A_{EXT} . Además, el sistema requiere menos transductores.

Ejemplo 1

Determinación de la viscosidad utilizando dos transductores de un solo paso y la ecuación relativa a la velocidad del sonido y a la densidad.

Se midieron tres muestras de crudo de petróleo en el interior de una tubería que tenía un diámetro interior de 59,0 cm (23,23 pulgadas). La densidad del acero del que estaba fabricada la tubería era de 7,71 g/cm³ y su velocidad del sonido para una onda de compresión era de 5.904,0 m/seg. (232,437 pulgadas/segundo).

La velocidad del sonido en estos fluidos fue medida tal como se describe en la patente US N° 5.546.813 y la amortiguación fue medida tal como se ha descrito y calculado anteriormente utilizando la ecuación E.

Se obtuvieron los resultados siguientes:

$$18G \quad C_f = 1.272,57 \text{ m/s (50.101 pulgadas/segundo)} \quad A_{MES} = -29,0 \text{ dB}$$

$$WCH \quad C_f = 1.328,60 \text{ m/s (52.307 pulgadas/segundo)} \quad A_{MES} = -36,4 \text{ dB}$$

$$OCS \quad C_f = 1.408,48 \text{ m/s (55.452 pulgadas/segundo)} \quad A_{MES} = -46,4 \text{ dB}$$

Para esta clase de materiales (se obtuvo un cierto número de muestras diferentes de los productos mencionados anteriormente y se midió la densidad y la velocidad del sonido. Los resultados fueron registrados en un diagrama y dispuestos en una ecuación lineal utilizando el método de los mínimos cuadrados) se ha determinado que la densidad en gramos por centímetro cúbico puede ser relacionada con la velocidad del sonido en pulgadas / segundo mediante la ecuación

$$\rho_f = 0,130 + 0,0000144 \cdot C_f$$

Con el objeto de determinar la viscosidad de estos fluidos, es necesario conocer el valor de A_{EXT} . Dado que es difícil determinar esta magnitud directamente, se estimará mediante la utilización de la viscosidad conocida de uno de los productos. A tal fin se escogió el producto 18G dado que tiene la amortiguación total más baja y de este modo es menos susceptible a errores en la viscosidad medida. Además, dado que el diámetro de la tubería es grande, es aplicable la Ecuación D. En el caso de 18G, la viscosidad medida a la temperatura del fluido en el interior de la tubería en el momento de la medición de la amortiguación era de $3,43 \times 10^{-3}$ Pa·s (3,43 centipoises). Utilizando la velocidad del sonido medida, suponiendo $K_v = 2,0$ y las ecuaciones A, D y C se puede calcular

$$A_{\text{TRANS}} = -20,83 \text{ dB}$$

$$A_{\text{SPREAD}} = -1,32 \text{ dB}$$

$$A_{\text{VIS}} = -0,53 \text{ dB}$$

y dado que $A_{\text{MES}} = -29 \text{ dB}$, a partir de la Ecuación F se halló que $A_{\text{EXT}} = -6,32 \text{ dB}$

Calculando A_{TRANS} y A_{SPREAD} utilizando las Ecuaciones A y D en el caso de WCH, se halla

$$A_{\text{TRANS}} = -19,28 \text{ dB}$$

$$A_{\text{SPREAD}} = -1,69 \text{ dB}$$

y a continuación, a partir de la Ecuación F

$$A_{\text{VIS}} = -8,22 \text{ dB}$$

y la viscosidad calculada a partir de la Ecuación C es de $63,1 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (63,1 centipoises).

Calculando A_{TRANS} y A_{SPREAD} en el caso de OCS utilizando las Ecuaciones A y D, se halló

$$A_{\text{SPREAD}} = -19,28 \text{ dB}$$

$$A_{\text{SPREAD}} = -2,20 \text{ dB}$$

y a continuación a partir de la Ecuación F

$$A_{\text{VIS}} = -18,60 \text{ dB}$$

y a partir de la Ecuación C, la viscosidad calculada suponiendo $K_v = 2,0$ es de $179,0 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (179,0 centipoises). Esto puede ser comparado con el valor medido de una muestra de OCS a $180 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (180,0 centipoises).

Ejemplo 2

Determinación de una viscosidad elevada utilizando un transductor único de cuatro pasos menos dos pasos y la estimación de la difusión de la amortiguación

La diferencia en la amortiguación en el caso de cuatro pasos y de dos pasos ($A_{\text{MES4}} - A_{\text{MES2}}$) en una tubería rectangular de longitud corta (dimensiones interiores de 24,13 cm por 13,97 cm (9,5 pulgadas por 5,5 pulgadas)), con el sonido propagándose en paralelo a la dimensión más larga, fue medida en el caso de tres líquidos que tenían velocidades de sonido diferentes y teniendo todos ellos una amortiguación baja del fluido a la frecuencia de medición (1,0 MHz) como resultado de la viscosidad baja, dando los resultados de ($A_{\text{MES4}} - A_{\text{MES2}}$)

$$\text{Agua} \quad -8,2 \text{ dB}$$

$$\text{Alcohol etílico} \quad -4,2 \text{ dB}$$

$$\text{Queroseno} \quad -5,4 \text{ dB}$$

Las propiedades de estos materiales y el cálculo de la difusión de la amortiguación están resumidos en la tabla siguiente utilizando las Ecuaciones D, B e I

	Agua	Alcohol etílico	Queroseno
c_f m/s (pulgadas/segundo)	1.485,9 (58.500)	1.224,3 (48.199)	1.305,9 (51.412)
c_p m/s (pulgadas/segundo)	5.892,8 (232.000)	5.892,8 (232.000)	5.892,8 (232.000)
ρ_f gramos / cm^3	1,0	0,798	0,843
ρ_p gramos / cm^3	7,71	7,71	7,71
K_v	3,1	2 (supuesto)	2 (supuesto)
η Pa·s (centipoise)	$1,0 \times 10^{-3}$ (1,0)	$1,2 \times 10^{-3}$ (1,2)	$2,5 \times 10^{-3}$ (2,5)
$A_{\text{VIS4}} - A_{\text{VIS2}}$ dB	-0,104	-0,183	-0,356

	Agua	Alcohol etílico	Queroseno
$2 \cdot A_{REF}$ dB	-1,136	-0,739	-0,789
$A_{SPREAD4} - A_{SPREAD2}$ dB	-6,960	-3,278	-4,256

Utilizando el método de los mínimos cuadrados se determinó la diferencia en la amortiguación de la difusión en la ecuación:

$$A_{SPREAD4} - A_{SPREAD2} = 14,215 - 0,000361 \cdot c_f \quad E2$$

En una muestra de un aceite mineral de viscosidad desconocida, el valor medido de $A_{MES4} - A_{MES2}$ en la misma sección de tubería era de -21,3 dB y el valor medido de la velocidad del sonido era de 1.455,52 m/s (57.304 pulgadas/segundo). El valor medido de la densidad en un experimento independiente era de 0,93 gramos / cm³.

Las cantidades siguientes se calcularon utilizando las Ecuaciones B y E2 y K

$$2 \cdot A_{REF} = -0,871 \text{ dB}$$

$$A_{SPREAD4} - A_{SPREAD2} = -6,42 \text{ dB}$$

a continuación, a partir de la Ecuación 1

$$A_{VIS} = -14,0 \text{ dB}$$

y de la Ecuación B y utilizando un valor de K_v de 2,84

$$\eta = 128 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} \text{ (128 centipoises)}$$

Este valor puede ser comparado con el valor medido de 125×10^{-3} a 130×10^{-3} Pa·s (125 a 130 cS).

Ejemplo 3

Determinación de la viscosidad utilizando un transductor único de cuatro pasos menos dos pasos y estimación de la amortiguación de la difusión

Se midió la diferencia en la amortiguación en el caso de cuatro pasos y dos pasos ($A_{MES4} - A_{MES2}$) en un tubo rectangular corto (de dimensiones interiores de 24,13 cm por 13,97 cm (9,5 pulgadas por 5,5 pulgadas)) con el sonido propagándose en paralelo a la dimensión más corta, para dos líquidos que tenían velocidades de sonido diferentes y baja viscosidad, y como resultado de ello una baja amortiguación del fluido a la frecuencia de medición (5,0 MHz), dando los resultados ($A_{MES4} - A_{MES2}$) siguientes

$$\text{Agua} \quad -6,3 \text{ dB}$$

$$\text{Alcohol etílico} \quad -12,3 \text{ dB}$$

Las propiedades de estos materiales y el cálculo de la amortiguación de la difusión utilizando las Ecuaciones D, B e I están resumidos en la tabla siguiente

	Agua	Alcohol etílico
c_f m/s (pulgadas/segundo)	1.483,9 (58.421)	1.214,0 (47.795)
c_p m/s (pulgadas/segundo)	5.892,8 (232.000)	5.892,8 (232.000)
ρ_f gramos / cm ³	1,0	0,798
ρ_p gramos / cm ³	7,71	7,71
K_v	3,1	2,8 (ensayado previamente)
η Pa·s (centipoise)	$1,0 \times 10^{-3}$ (1,0)	$1,2 \times 10^{-3}$ (1,2)
$A_{VIS4} - A_{VIS2}$ dB	-1,52	-3,81
$2 \cdot A_{REF}$ dB	-1,1	-0,7
$A_{SPREAD4} - A_{SPREAD2}$ dB	-3,66	-7,38
f (frecuencia)	$5,0 \times 10^6$	$5,0 \times 10^6$

Utilizando un ajuste de línea recta se ajustó una amortiguación de la difusión en la ecuación

$$A_{\text{SPREAD4}} - A_{\text{SPREAD2}} = 20 \log (0,31452 - 0,012025 f/c_t) \quad \text{E3}$$

5 En el caso de una muestra de queroseno, el valor medido de $A_{\text{MES4}} - A_{\text{MES2}}$ en el mismo recipiente fue de 12,3 dB, y el valor medido de la velocidad del sonido fue de 1.291,5 m/s (50.848 pulgadas/segundo). El valor medido de la densidad en un experimento independiente fue de 0,843 g/cm³.

10 Las cantidades siguientes fueron calculadas utilizando las Ecuaciones B, y E3 e I.

$$2 \cdot A_{\text{REF}} = -0,8 \text{ dB}$$

$$A_{\text{SPREAD4}} - A_{\text{SPREAD2}} = -5,31 \text{ dB}$$

15 A continuación, de la Ecuación I

$$A_{\text{VIS4}} - A_{\text{VIS2}} \text{ dB} = -6,17 \text{ dB}$$

20 y de la Ecuación B

$$\eta = 2,3 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} \text{ (2,3 centipoises)}$$

Este valor puede ser comparado con el valor previsto de $2,5 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (2,5 centipoises).

25 Aunque la invención ha sido descrita con detalle en las realizaciones anteriores a efectos de ilustración, debe comprenderse que dichos detalles son solamente para este propósito y que los expertos en la técnica pueden realizar variaciones en la misma sin apartarse del ámbito de la invención, excepto tal como puede estar descrito en las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Aparato (10) para la medición de la viscosidad de un fluido (21) en el interior de un recipiente (12) o tubería (12), que comprende

un mecanismo (14) para transmitir una señal a un fluido desconocido (21) en el interior del recipiente (12) o de la tubería (12), estando adaptado dicho mecanismo de transmisión (14) para estar en contacto con dicho recipiente (12) o tubería (12) y proporcionar la señal al fluido (21) en el interior del recipiente (12) o tubería (12);

un mecanismo (16) para recibir la señal después de que la señal haya pasado a través del fluido desconocido (21) y haya sido amortiguada, estando adaptado dicho mecanismo de recepción (16) para estar en contacto con dicho recipiente (12) o tubería (12) y recibir la señal del fluido (21) en el interior del recipiente (12) o tubería (12); y

un mecanismo de determinación (15) conectado al mecanismo de recepción (16), para determinar la viscosidad del fluido desconocido (21) en el interior del recipiente (12) o tubería (12) directamente a partir de la señal amortiguada, una vez que la señal haya pasado a través del fluido (21) en base a la amortiguación de la señal dada mediante:

$$A_{MES} = A_{EXT} + A_{VIS} + A_{SPREAD} + 2 \cdot A_{TRANS};$$

en la que:

A_{EXT} es la amortiguación en decibelios de la señal a partir de un cierto número de fuentes que no son dependientes del fluido (21) contenido en el recipiente (12) o en la tubería (12), en que A_{EXT} es conocido a partir de un cálculo para un fluido de referencia;

A_{TRANS} es la amortiguación en decibelios de la energía que se transmite a través de la superficie de separación de un fluido (21) entre dos medios de densidades diferentes y de velocidades de transmisión del ultrasonido diferentes, según la fórmula siguiente:

$$A_{TRANS} = 10 \cdot \log \left[\frac{4\rho_2 C_2 \cdot \rho_1 C_1}{(\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1)^2} \right]$$

en la que:

ρ = densidad del fluido (21)

C = velocidad de propagación de la señal en el fluido (21)

1 = subíndice para el recipiente (12) o la tubería (12)

2 = subíndice para el fluido (21);

A_{VIS} es la amortiguación debida a las pérdidas por viscosidad en decibelios según la fórmula siguiente:

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2\rho C^3} (a\eta + b\eta_B) = K_v \eta \frac{\omega^2}{2\rho C^3}$$

en la que:

α = constante de amortiguación inversa a la longitud

ω = frecuencia angular (radianes / segundo)

C = velocidad de propagación de la señal en el fluido (21)

η = viscosidad absoluta al cizallamiento

η_B = viscosidad aparente absoluta

ρ = densidad másica del fluido (21)

a, b = constantes relativas a la viscosidad al cizallamiento y aparente, determinadas mediante la estructura molecular del fluido (21)

$$K_v = \left(a + b \frac{\eta_B}{\eta} \right) = \text{factor de corrección de la viscosidad}$$

$$A_{VIS} = -35,43 \frac{k_{\omega} f^2 \eta}{\rho C^3} L$$

5 en la que:

L = longitud de la trayectoria,

f = frecuencia;

10

y en que A_{SPREAD} es la amortiguación de la difusión en decibelios, según la fórmula siguiente:

$$A_{SPREAD} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{f}{C_f \cdot L} \right) + K_s$$

15 en la que:

f = frecuencia de la señal

C_f = velocidad del sonido en el fluido (21), y

20

L está definido como anteriormente

K_s = constante dependiente de las dimensiones y propiedades del mecanismo de transmisión (14);

25 en el que el mecanismo de determinación (15) está adaptado para calcular C_f , la velocidad del sonido en el fluido (21), a partir de una diferencia de tiempo entre el mecanismo de transmisión (14) que transmite la señal y el mecanismo de recepción (16) que recibe la señal procedente de una cierta longitud de la trayectoria de la señal;

30 en el que el mecanismo de determinación (15) está adaptado para medir la amortiguación A_{MES} a partir de una relación entre la señal transmitida y la señal recibida;

en el que el mecanismo de determinación (15) está adaptado para calcular los valores de A_{TRANS} y A_{SPREAD} a partir de C_f y A_{MES} ;

35 en el que el mecanismo de determinación (15) está adaptado para calcular A_{VIS} a partir de

$A_{MES} = A_{EXT} + A_{VIS} + A_{SPREAD} + 2 \cdot A_{TRANS}$; y

en el que el mecanismo de determinación (15) está adaptado para calcular la viscosidad η del fluido (21) a partir del

$$A_{VIS} = -35,43 \frac{k_{\omega} f^2 \eta}{\rho C^3} L$$

valor calculado de A_{VIS} y de la ecuación

40

2. Aparato (10) para medir la viscosidad de un fluido (21) en el interior de un recipiente (12) o de una tubería (12), que comprende:

45 un mecanismo (14) para transmitir una señal a un fluido desconocido (21) en el interior del recipiente (12) o de la tubería (12), estando adaptado dicho mecanismo de transmisión (14) para estar en contacto con dicho recipiente (12) o tubería (12) y para proporcionar la señal al fluido (21) en el interior del recipiente (12) o de la tubería (12);

50 un mecanismo (16) para recibir la señal una vez que la señal ha pasado a través del fluido desconocido (21) y ha sido amortiguada, estando adaptado dicho mecanismo de recepción (16) para estar en contacto con dicho recipiente (12) o tubería (12) y para recibir la señal del fluido (21) en el interior del recipiente (12) o tubería (12); en el que el mecanismo de recepción (16) recibe la señal después de haber realizado dos pasos y cuatro pasos a través del fluido (21) después de la reflexión de la señal por medio del recipiente (12) o de la tubería (12); y

55 un mecanismo de determinación (15) conectado al mecanismo de recepción (16), para determinar la viscosidad del fluido desconocido (21) en el interior del recipiente (12) o de la tubería (12), directamente a partir de la señal amortiguada, una vez que la señal ha pasado a través del fluido (21) en base a la diferencia entre la amortiguación de la señal después de cuatro pasos y la amortiguación de la señal después de dos pasos, dada mediante:

$$A_{MES4} - A_{MES2} = A_{VIS4} - A_{VIS2} - A_{SPREAD4} - A_{SPREAD2} + 2 \cdot A_{REF}$$

en la que

A_{VIS} es la amortiguación debida a las pérdidas por viscosidad en decibelios según las fórmulas siguientes:

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2\rho C^3} (a\eta + b\eta_B) = K_V \eta \frac{\omega^2}{2\rho C^3}$$

en la que:

α = constante de amortiguación inversa a la longitud

ω = frecuencia angular (radianes / segundo)

C = velocidad de propagación de la señal en el fluido (21)

η = viscosidad absoluta al cizallamiento

η_B = viscosidad aparente absoluta

ρ = densidad másica del fluido (21)

a, b = constantes relativas a la viscosidad al cizallamiento y aparente, determinadas mediante la estructura molecular del fluido (21)

$$K_V = \left(a + b \frac{\eta_B}{\eta} \right) = \text{factor de corrección de la viscosidad}$$

$$A_{VIS} = -35,43 \frac{k_\omega f^2 \eta}{\rho C^3} L$$

en la que:

L = longitud de la trayectoria,

f = frecuencia;

A_{SPREAD} es la amortiguación de la difusión en decibelios, según la fórmula siguiente:

$$A_{SPREAD} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{f}{C_f \cdot L} \right) + K_S$$

en la que:

f = frecuencia de la señal

C_f = velocidad del sonido en el fluido (21), y

L está definido como anteriormente

K_S = constante dependiente de las dimensiones y propiedades del mecanismo de transmisión (14); y en la que

A_{REF} es la amortiguación en decibelios de la energía reflejada en una superficie de separación del fluido (21), según la fórmula siguiente

$$A_{REF} = 20 \cdot \log \left[\frac{\rho_2 C_2 - \rho_1 C_1}{\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1} \right]$$

en el que el mecanismo de determinación (15) está adaptado para calcular C_f , la velocidad del sonido en el fluido (21), a partir de la diferencia en tiempo entre el mecanismo de transmisión (14) que transmite la señal y el mecanismo de recepción (16) que recibe la señal, y en una cierta longitud de trayectoria de la señal;

en el que el mecanismo de determinación (15) está adaptado para medir la amortiguación A_{MES4} , después de cuatro pasos, y la amortiguación A_{MES2} después de dos pasos, a partir de una relación entre la señal transmitida y la señal recibida, y calcula la diferencia entre la amortiguación de la señal después de cuatro pasos y la amortiguación de la señal después de dos pasos;

en el que el mecanismo de determinación (15) está adaptado para calcular el valor de A_{SPREAD} y de A_{REF} a partir de C_f ,

en el que el mecanismo de determinación (15) está adaptado para calcular $A_{VIS4} - A_{VIS2}$ a partir de $A_{MES4} - A_{MES2} = A_{VIS4} - A_{VIS2} + A_{SPREAD4} - A_{SPREAD2} + 2 \cdot A_{REF}$; y

en el que el mecanismo de determinación (15) está adaptado para calcular la viscosidad del fluido (21) a partir del

$$A_{VIS} = -35,43 \frac{k_{\omega} f^2 \eta}{\rho C^3} L$$

valor calculado de $A_{VIS4} - A_{VIS2}$ y de la ecuación

3. Aparato (10), según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de transmisión (14) y el mecanismo de recepción (16) están adaptados para estar en contacto con el recipiente (12) o la tubería (12), de tal modo que la señal procedente del mecanismo de transmisión (14) sigue una trayectoria (22) a través del recipiente (12) o de la tubería (12) hasta el mecanismo de recepción (16).

4. Aparato (10), según la reivindicación 3, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de transmisión (14) y el mecanismo de recepción (16) pueden funcionar para estar dispuestos sobre una superficie exterior (18) del recipiente (12) o de la tubería (12), de tal modo que la señal puede pasar desde el mecanismo de transmisión (14) a través del recipiente (12) o de la pared (20) de la tubería, a través del fluido (21) al interior del recipiente (12) o de la tubería (12), y a través del recipiente (12) o de la pared (20) de la tubería hasta el mecanismo de recepción (16).

5. Aparato (10), según la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de transmisión (14) incluye un primer transductor (24) que produce una señal acústica, y el mecanismo de recepción (16) incluye un segundo transductor (26) que recibe la señal acústica procedente del primer transductor (24).

6. Aparato (10), según la reivindicación 5, caracterizado por el hecho de que el primer y el segundo transductores están dispuestos de tal modo que la señal acústica producida por el primer transductor (24) pasa a través del recipiente (12) o de la pared (20) de la tubería, al fluido en el recipiente (12) o en la tubería (12), y a través del recipiente (12) o de la pared (20) de la tubería hasta el segundo transductor (26).

7. Aparato (10), según la reivindicación 6, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de transmisión (14) incluye un transmisor (28) que aplica una primera señal de tensión al primer transductor (24) haciendo que el primer transductor (24) produzca una señal acústica que tiene la frecuencia f , estando dicho transmisor (28) conectado a dicho primer transductor (24).

8. Aparato (10), según la reivindicación 7, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de transmisión (14) incluye un primer mecanismo (30) de medición de la tensión conectado al transmisor (28), el cual mide la tensión aplicada al primer transductor (24) desde el transmisor (28) y el momento en que se aplicó la tensión.

9. Aparato (10), según la reivindicación 8, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de recepción (16) incluye un receptor (34) conectado al segundo transductor (26), convirtiendo dicho segundo transductor (26) la señal acústica en una segunda señal de tensión, amplificando dicho receptor (34) la segunda señal de tensión procedente del segundo transductor (26).

10. Aparato (10), según la reivindicación 9, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de recepción (16) incluye un segundo mecanismo (32) de medición de la tensión conectado al receptor (34), el cual mide la tensión de la segunda señal de tensión y el momento en que se recibió la señal.

11. Aparato (10), según la reivindicación 10, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de determinación (15) incluye un mecanismo de tratamiento (36) que está conectado al primer y al segundo mecanismos (30), (32) de medición de la tensión y determina la viscosidad del fluido (21) en el interior del recipiente (12) o de la tubería (12) en función de la tensión medida por el primer y el segundo mecanismos de medición de la tensión (30), (32) y el tiempo de tránsito.

12. Aparato (10), según la reivindicación 11, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de determinación (15) incluye un mecanismo de cronometraje (32) para medir el tiempo de tránsito de la señal ultrasónica que recorre una distancia conocida en el interior del líquido y en el que el mecanismo de tratamiento (36) determina el líquido en el recipiente (12) o en la tubería (12) a partir de la viscosidad y de la velocidad del sonido en el líquido.

13. Aparato (10), según la reivindicación 12, caracterizado por el hecho de que el dispositivo de tratamiento está adaptado para determinar la viscosidad en función de la amortiguación de la señal acústica producida por el primer transductor (24) y recibida por el segundo transductor (26) cuando recorre una distancia conocida en el interior del líquido, y la velocidad del sonido en el líquido que se determina a partir del tiempo de tránsito.

14. Aparato (10), según la reivindicación 13, caracterizado por el hecho de que el dispositivo de tratamiento está adaptado para determinar la viscosidad en el momento y en las condiciones en que la señal acústica pasa a través del líquido a partir de la amortiguación de la señal acústica y la velocidad del sonido en el fluido (21) en dicho momento y en dicho recipiente (12) o tubería (12).

15. Aparato (10), según la reivindicación 14, caracterizado por el hecho de que la señal acústica producida por el primer transductor (24) y recibida por el segundo transductor (26) es una señal ultrasónica.

16. Aparato (10), según la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de transmisión (14) incluye un primer transductor (24) que produce una señal ultrasónica que es enviada al interior del fluido.

17. Aparato (10), según la reivindicación 16, cuando es dependiente de la reivindicación 2, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de transmisión (14) incluye un transmisor (28) que aplica una primera señal de tensión al primer transductor (24) y un primer mecanismo (30) de medición de la tensión que mide la tensión aplicada al primer transductor (24) desde el transmisor (28) y un multiplexor (40) conectado al transmisor (28) y al primer transductor (24) para controlar cuando la primera señal de tensión puede pasar al primer transductor (24).

18. Aparato (10), según la reivindicación 17, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de recepción (16) incluye asimismo el primer transductor (24) que convierte la señal ultrasónica que recibe del fluido (21), después de que la señal ultrasónica haya sido reflejada desde el recipiente (12) o de la tubería (12), en una segunda señal de tensión, y un receptor (34) que recibe la segunda señal de tensión y amplifica la segunda señal de tensión, estando conectado dicho receptor (34) al multiplexor (40), controlando dicho multiplexor (40) cuando la segunda señal de tensión procedente del primer transductor (24) puede pasar al receptor (34).

19. Aparato (10), según la reivindicación 18, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de recepción (16) incluye un segundo mecanismo (32) de medición de la tensión conectado al receptor (34) que mide la tensión de la segunda señal de tensión y el momento de recepción.

20. Aparato (10), según la reivindicación 19, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de determinación (15) incluye un mecanismo de tratamiento (36) que está conectado al primer y al segundo mecanismos de medición de la tensión (30), (32) y determina el fluido en el interior del recipiente (12) o de la tubería (12) en función de la tensión medida por el primer y segundo mecanismos de medición de la tensión (30), (32) y la velocidad del sonido.

21. Aparato (10), según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de transmisión (14) y el mecanismo de recepción (16) están adaptados para penetrar a través del recipiente (12) o de la pared (20) de la tubería y para estar en contacto con el interior del recipiente (12) o de la tubería (12).

22. Aparato (10), según la reivindicación 21, caracterizado por el hecho de que el mecanismo de transmisión (14) incluye un primer transductor (24) y el mecanismo de recepción (16) incluye un segundo transductor (26), y el primer transductor (24) y el segundo transductor (26) están en contacto con el recipiente (12) o con la tubería (12), de tal modo que la señal pasa entre ellos.

23. Método para medir la viscosidad de un fluido (21) en el interior de un recipiente (12) o tubería (12), que comprende las etapas de:

transmitir una señal al fluido (21) en el interior del recipiente (12) o tubería (12);

recibir la señal después de que la señal haya pasado a través del fluido (21) en el interior del recipiente (12) o de la tubería (12) y haya sido amortiguada;

determinar la amortiguación de la señal una vez que la señal haya pasado a través del fluido (21) en el interior del recipiente (12) o de la tubería (12); y

hallar la viscosidad del fluido (21) en el interior del recipiente (12) o de la tubería (12), directamente a partir de la amortiguación de la señal y C_r , la velocidad del sonido en el fluido (21), en que la amortiguación de la señal viene dada por:

$$A_{MES} = A_{EXT} + A_{VIS} + A_{SPREAD} + 2 \cdot A_{TRANS}$$

en la que

A_{EXT} es la amortiguación en decibelios de la señal a partir de un cierto número de fuentes que no son dependientes del fluido (21) contenido en el recipiente (12) o tubería (12), en que A_{EXT} es conocido a partir de un cálculo para un fluido de referencia;

A_{TRANS} es la amortiguación en decibelios de la energía transmitida a través de la superficie de separación de un fluido (21) entre dos medios de densidades diferentes y de velocidades distintas de transmisión de los ultrasonidos, según la fórmula siguiente:

$$A_{TRANS} = 10 \cdot \log \left[\frac{4\rho_2 C_2 \cdot \rho_1 C_1}{(\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1)^2} \right]$$

en la que:

ρ = densidad del fluido (21)

C = velocidad de propagación de la señal en el fluido (21)

1 = subíndice para el recipiente (12) o la tubería (12)

2 = subíndice para el fluido (21);

A_{VIS} es la amortiguación debida a las pérdidas por viscosidad en decibelios, según las fórmulas siguientes:

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2\rho C^3} (a\eta + b\eta_B) = K_v \eta \frac{\omega^2}{2\rho C^3}$$

en la que:

α = constante de amortiguación inversa a la longitud

ω = frecuencia angular (radianes / segundo)

C = velocidad de propagación de la señal en el fluido (21)

η = viscosidad absoluta al cizallamiento

η_B = viscosidad aparente absoluta

ρ = densidad másica del fluido (21)

a , b = constantes relativas a la viscosidad al cizallamiento y aparente, determinadas mediante la estructura molecular del fluido (21).

$$K_v = \left(a + b \frac{\eta_B}{\eta} \right) = \text{factor de corrección de la viscosidad}$$

$$A_{VIS} = -35,43 \frac{k_\omega f^2 \eta}{\rho C^3} L$$

en la que:

L = longitud de la trayectoria,

f = frecuencia;

y en la que A_{SPREAD} es la difusión de la amortiguación en decibelios, según la fórmula siguiente:

$$A_{SPREAD} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{f}{C_f \cdot L} \right) + K_s$$

en la que:

5 f = frecuencia de la señal

C_f = velocidad del sonido en el fluido (21), y

L está definido como anteriormente

10

K_s = constante dependiente de las dimensiones y propiedades del mecanismo de transmisión (14);

en el que hallar la viscosidad del fluido (21) en el interior de recipiente (12) o tubería (12) comprende:

15 calcular la velocidad del sonido en el fluido (21), C_f , a partir de una diferencia en el tiempo entre la transmisión de la señal y la recepción de la señal, y en una cierta longitud de la trayectoria de la señal;

medir la amortiguación A_{MES} , a partir de una relación entre la señal transmitida y la señal recibida;

20 calcular los valores de A_{TRANS} y A_{SPREAD} a partir de C_f y A_{MES} ;

calcular A_{VIS} a partir de $A_{MES} = A_{EXT} + A_{VIS} + A_{SPREAD} + 2 \cdot A_{TRANS}$; y

$$A_{VIS} = -35,43 \frac{k_{\pi} f^2 \eta}{\rho C^3} L$$

25

calcular la viscosidad η del fluido (21) a partir del valor calculado de A_{VIS} y de la ecuación

24. Método para medir la viscosidad de un fluido (21) en el interior de un recipiente (12) o tubería (12), que comprende las etapas de:

30 transmitir una señal al fluido (21) en el interior del recipiente (12) o tubería (12);

recibir la señal una vez que la señal ha pasado a través del fluido (21) en el recipiente (12) o tubería (12) y ha sido amortiguada, en que la señal es recibida después de haber realizado dos pasos y cuatro pasos a través del fluido (21) siguiendo la reflexión de la señal por medio del recipiente (12) o tubería (12);

35 determinar la amortiguación de la señal una vez que la señal haya realizado dos pasos y cuatro pasos a través del fluido (21) en el interior del recipiente (12) o de la tubería (12); y

hallar la viscosidad del fluido (21) en el interior del recipiente (12) o de la tubería (12) directamente a partir de la amortiguación de la señal y C_f , la velocidad del sonido en el fluido (21), en que la diferencia entre la amortiguación de la señal después de cuatro pasos y la amortiguación de la señal después de dos pasos viene dada por:

40

$$A_{MES4} - A_{MES2} = A_{VIS4} - A_{VIS2} + A_{SPREAD4} - A_{SPREAD2} + 2 \cdot A_{REF}$$

en la que:

45 A_{VIS} es la amortiguación debida a las pérdidas por viscosidad en decibelios, según las fórmulas siguientes:

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2\rho C^3} (a\eta + b\eta_B) = K_v \eta \frac{\omega^2}{2\rho C^3}$$

en la que:

50

α = constante de amortiguación inversa a la longitud

ω = frecuencia angular (radianes / segundo)

55 C = velocidad de propagación de la señal en el fluido (21)

η = viscosidad absoluta al cizallamiento

η_B = viscosidad aparente absoluta

ρ = densidad másica del fluido (21)

5 a, b = constantes relativas a la viscosidad al cizallamiento y aparente, determinadas mediante la estructura molecular del fluido (21).

$$K_v = \left(a + b \frac{\eta_B}{\eta} \right) = \text{factor de corrección de la viscosidad}$$

$$A_{VIS} = -35,43 \frac{k_{\sigma} f^2 \eta}{\rho C^3} L$$

10 en la que:

L = longitud de la trayectoria,

f = frecuencia;

15

A_{SPREAD} es la amortiguación de la difusión en decibelios, según la fórmula siguiente:

$$A_{SPREAD} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{f}{C_f \cdot L} \right) + K_s$$

20 en la que:

f = frecuencia de la señal

C_f = velocidad del sonido en el fluido (21), y

25

L está definido como anteriormente

K_s = constante dependiente de las dimensiones y propiedades del mecanismo de transmisión (14); y en la que

30 A_{REF} es la amortiguación en decibelios de la energía reflejada en la superficie de separación de un fluido (21), según la fórmula siguiente:

$$A_{REF} = 20 \cdot \log \left[\frac{\rho_2 C_2 - \rho_1 C_1}{\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1} \right]$$

35 en el que, hallar la viscosidad del fluido (21) en el interior del recipiente (12) o tubería (12), comprende:

calcular la velocidad del sonido en el fluido (21), C_f , a partir de una diferencia en el tiempo entre la transmisión de la señal y la recepción de la señal, y en una cierta longitud de la trayectoria de la señal;

40 medir la amortiguación A_{MES4} , después de cuatro pasos, y la amortiguación A_{MES2} después de dos pasos a partir de una relación de la señal transmitida a la señal recibida, y calcular la diferencia entre la amortiguación de la señal después de cuatro pasos y la amortiguación de la señal después de dos pasos;

calcular el valor de A_{SPREAD} y de A_{REF} a partir de C_f ;

45

calcular $A_{VIS4} - A_{VIS2}$ a partir de

$$A_{MES4} - A_{MES2} = A_{VIS4} - A_{VIS2} + A_{SPREAD4} - A_{SPREAD2} + 2 \cdot A_{REF};$$

50 y

calcular la viscosidad del fluido (21) a partir del valor calculado de $A_{VIS4} - A_{VIS2}$ y de la ecuación

$$A_{VIS} = -35,43 \frac{k_{\sigma} f^2 \eta}{\rho C^3} L$$

25. Método, según la reivindicación 23 ó 24, caracterizado por el hecho de que la etapa de transmisión incluye la etapa de transmitir la señal a través del recipiente (12) o de la pared (20) de la tubería al fluido (21), y la etapa de recepción incluye la etapa de recibir la señal después de haber pasado a través del fluido (21) y del recipiente (12) o de la pared (20) de la tubería.

5

26. Método, según la reivindicación 25, caracterizado por el hecho de que la etapa de determinación incluye la etapa de comparar la señal antes de ser transmitida a través del fluido (21) con la señal después de haber pasado a través del fluido (21).

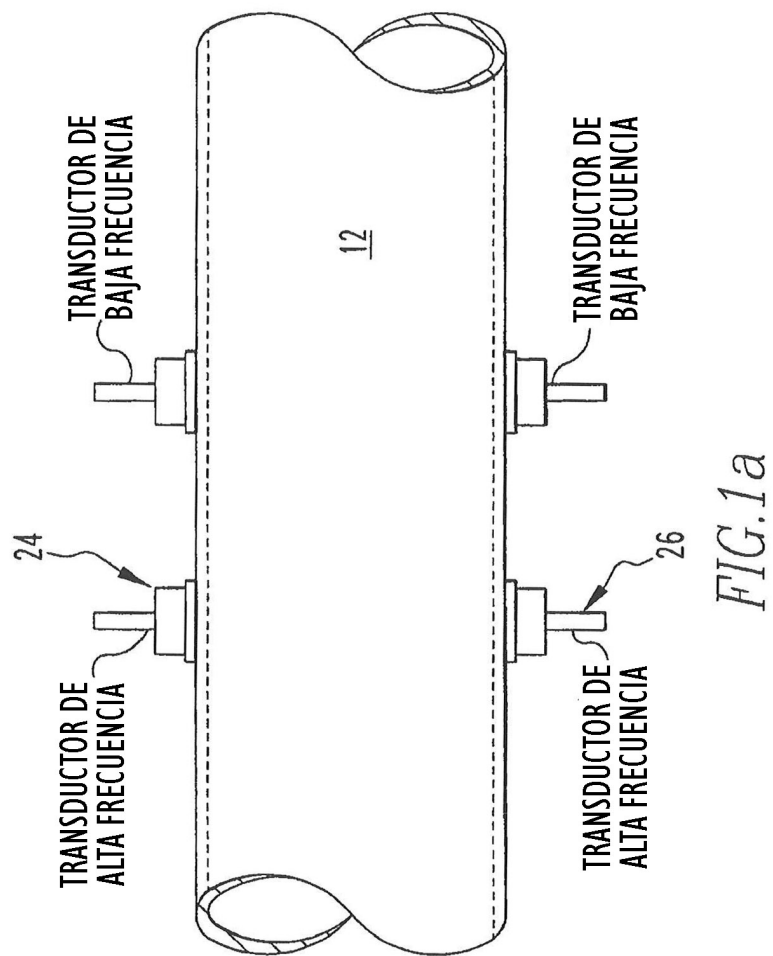


FIG. 1a

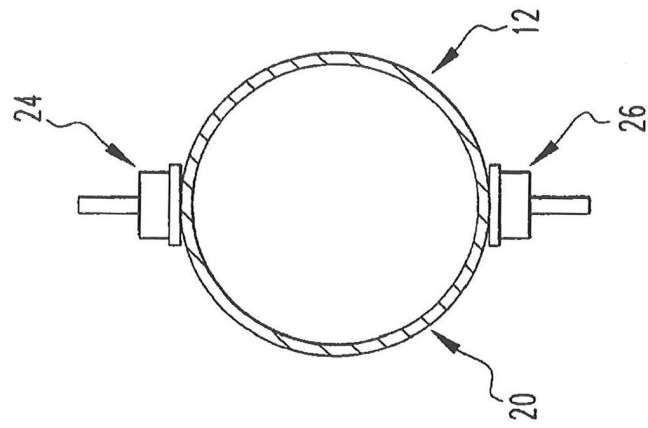


FIG. 1b

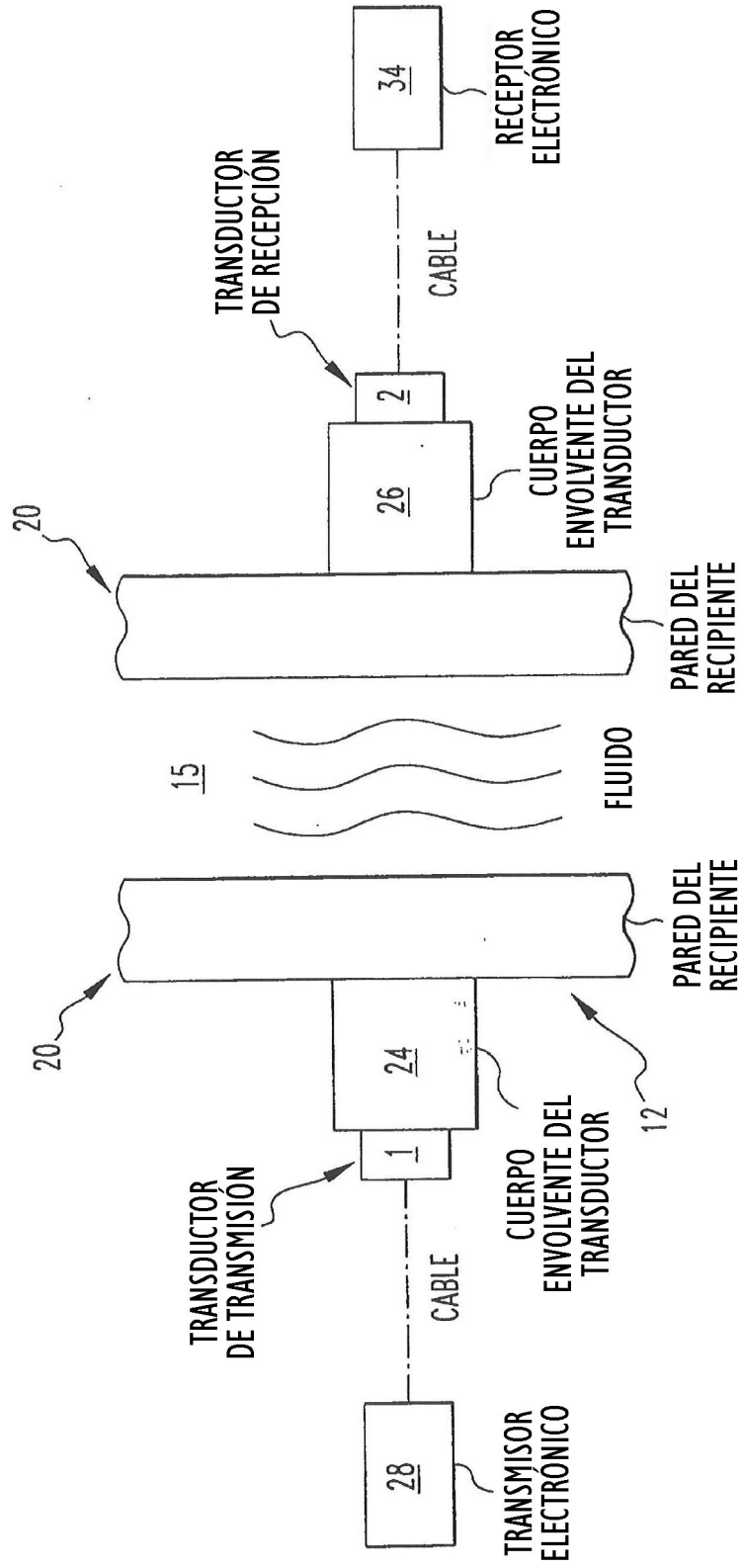


FIG. 2A

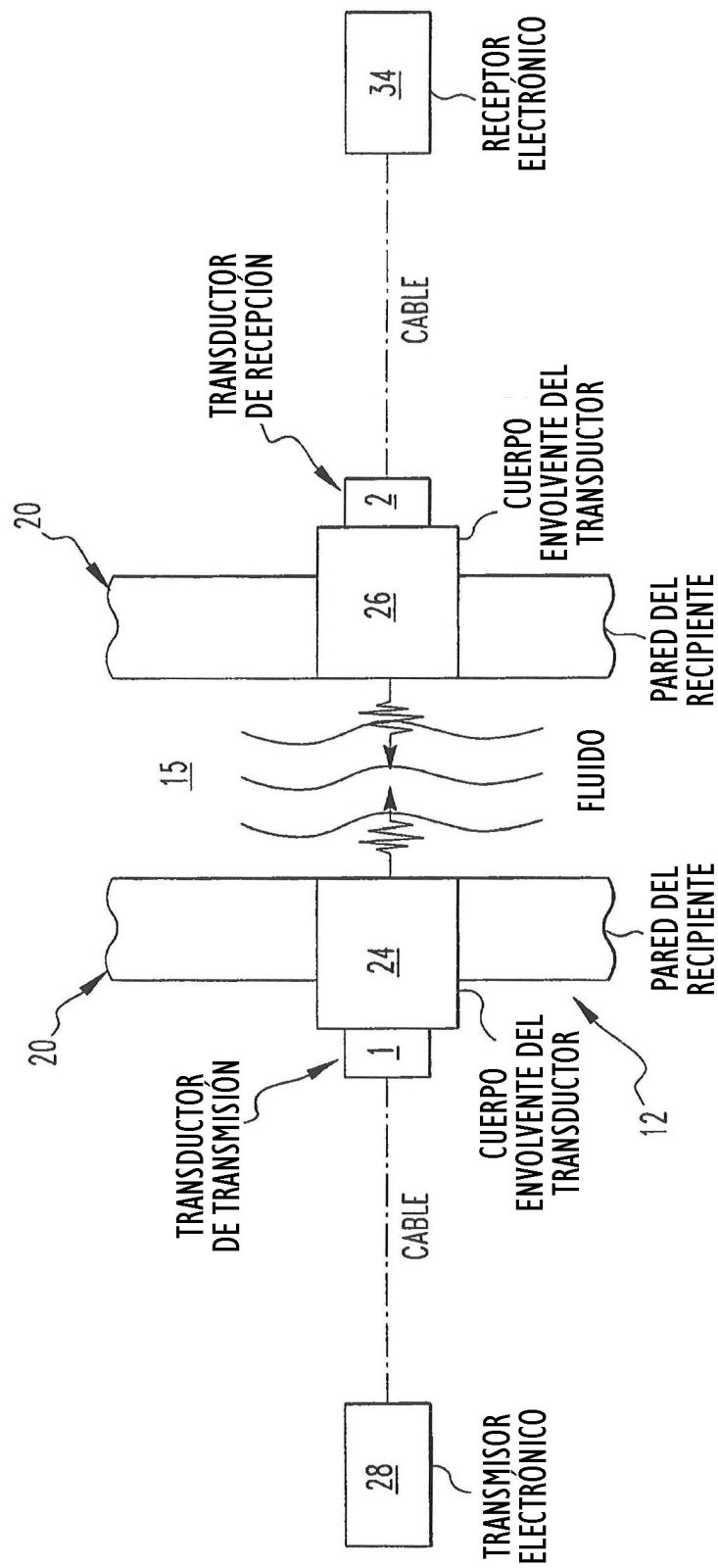


FIG.2B

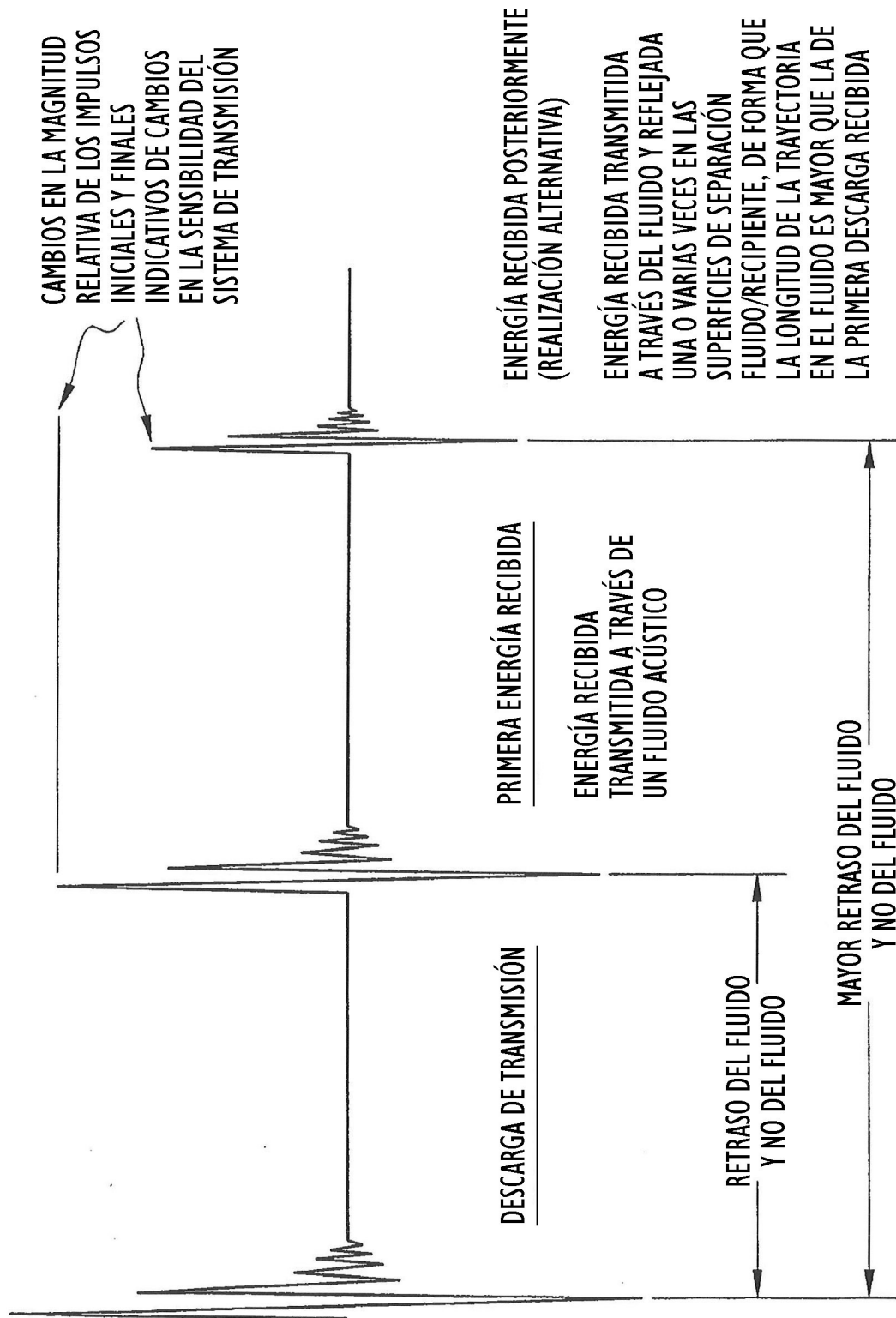


FIG.3

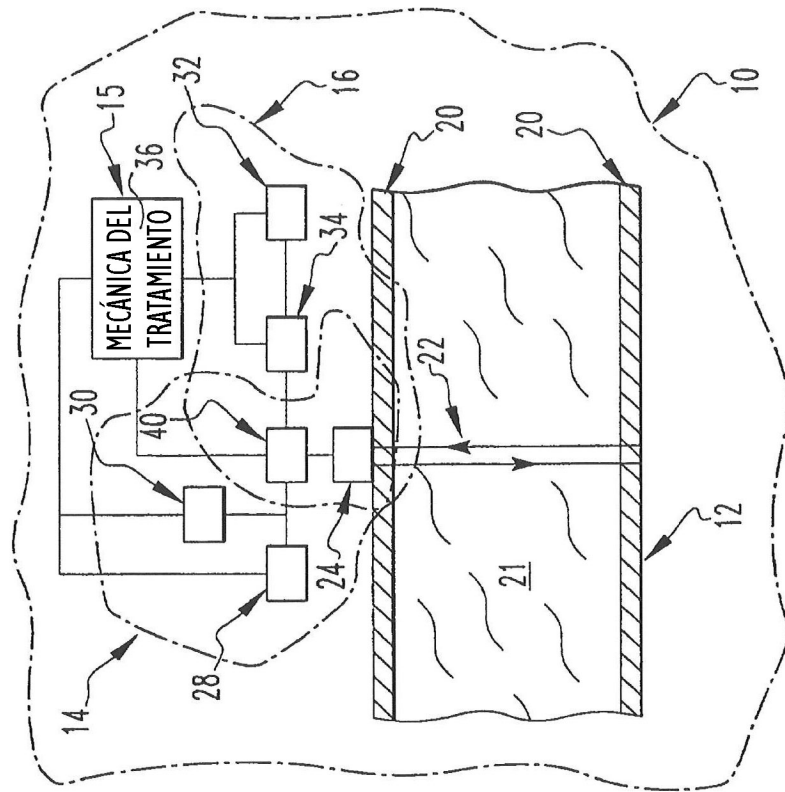


FIG. 5

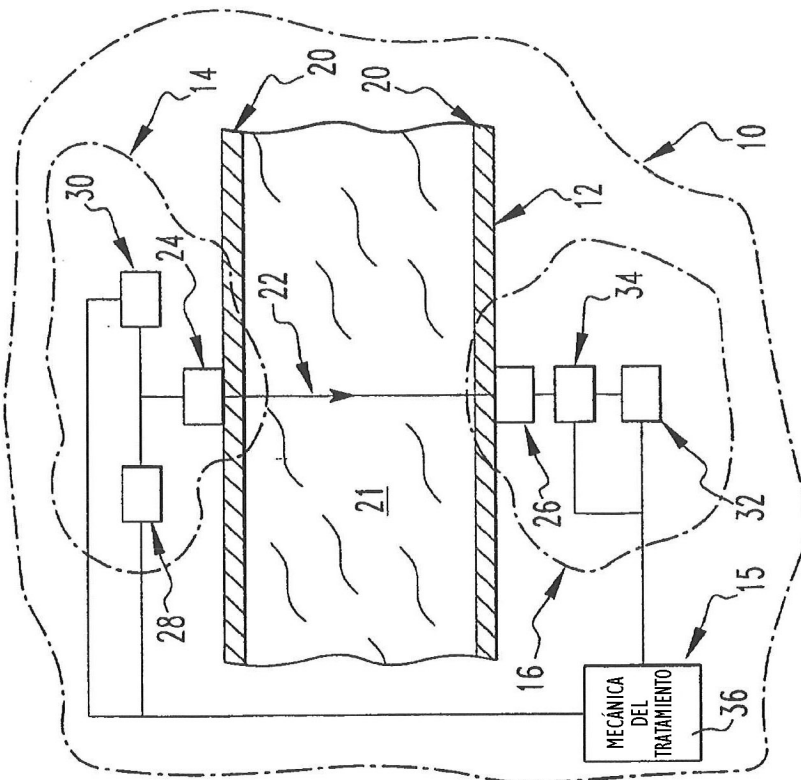


FIG. 4

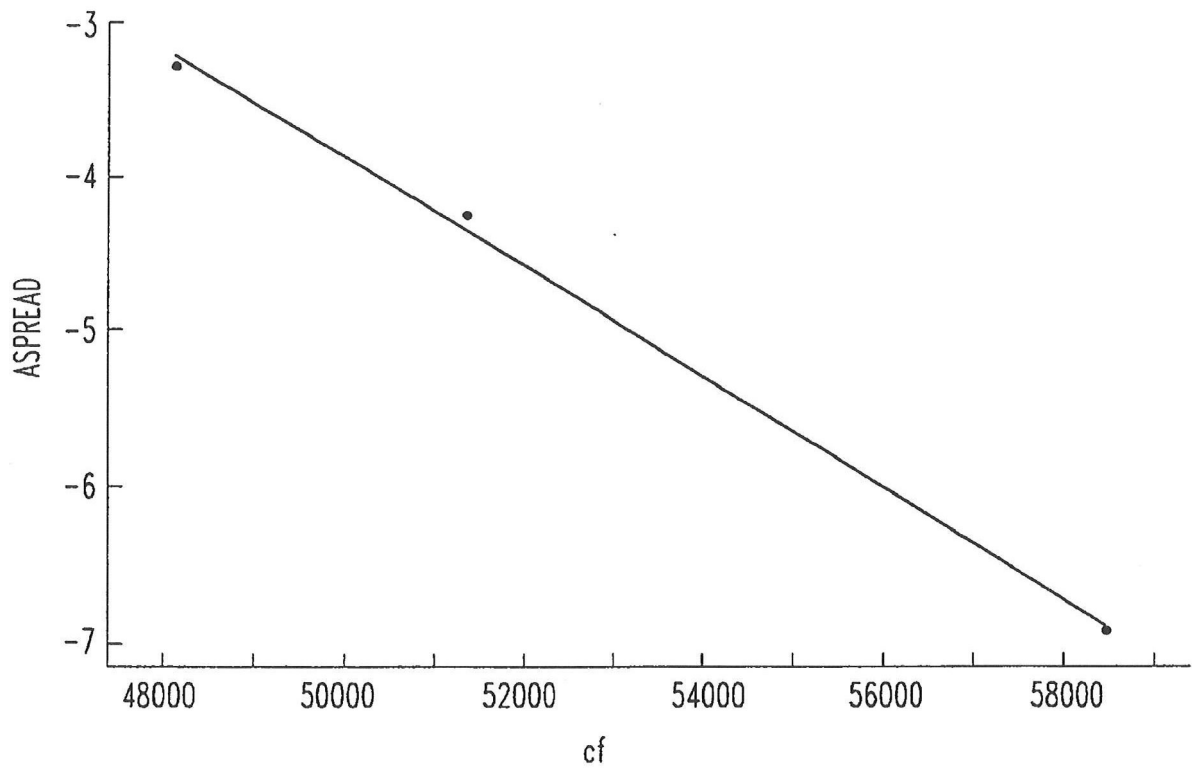


FIG.6