

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 585 105**

51 Int. Cl.:

G01F 1/34 (2006.01)
G01F 1/66 (2006.01)
G01F 1/704 (2006.01)
G01F 15/00 (2006.01)
G01F 15/02 (2006.01)
G01N 11/02 (2006.01)
G01N 11/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2012** **E 12751603 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016** **EP 2739942**

54 Título: **Sistema y método de visualización y caracterización de fluidos**

30 Prioridad:

04.08.2011 ZA 201105745

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

03.10.2016

73 Titular/es:

**CAPE PENINSULA UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY (50.0%)
Keizersgracht and Tennant Street Zonnebloem
8000 Cape Town, ZA y
SP TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE OF
SWEDEN (50.0%)**

72 Inventor/es:

**WIKLUND, JOHAN;
HALDENWANG, RAINER y
KOTZÉ, REINHARDT**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 585 105 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 y método de visualización y caracterización de fluidos

5 Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere a un método y sistema para visualizar y caracterizar los fluidos que fluyen en un medio que define una ruta de flujo de fluido.

10 La velocimetría de ultrasonidos pulsados (VUP) es una técnica para medir un perfil de velocidad instantáneo en el flujo de líquido a lo largo de un eje de haz de ultrasonidos pulsados. El perfil de velocidad instantáneo se obtiene detectando los retardos de tiempo relativo de los ecos de ultrasonidos de retrodispersión de las partículas en movimiento entre las emisiones de pulsos sucesivos. Como se muestra en el artículo de D.W. Baker, "Pulsed Ultrasonic Doppler Blood-Flow Sensing", IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, vol. SU-17, N.º 3, julio 1970, 15 incorporado en el presente documento por referencia, las señales de ultrasonidos pueden usarse para las mediciones no invasivas de las velocidades del fluido.

Sería deseable adaptar tales técnicas para proporcionar un método para la medición, la visualización y la 20 caracterización reológica del flujo de fluido.

Los medidores de flujo ultrasónicos disponibles comercialmente están basados en o el tiempo de tránsito o los métodos Doppler pulsados. Sería deseable usar una combinación de los métodos de tiempo de tránsito y de ultrasonidos pulsados para mejorar las mediciones de caudal volumétrico y por lo tanto mejorar también la precisión de la reometría en línea.

25 Los métodos para la reometría en línea se basan a menudo en los conceptos tradicionales de viscosimetría de tubo en los que las tasas de corte se obtienen a partir de mediciones del caudal volumétrico en las tuberías y los estreses de corte en las paredes de tubería interiores se determinan a partir de mediciones simultáneas de la diferencia de presión a través de distancias fijas a lo largo de la tubería.

30 La técnica UVP con las mediciones de diferencia de presión (PD), por lo general denominada como la metodología UVP + PD, se usa para caracterizar los fluidos que fluyen en las rutas de flujo de fluido, por ejemplo, en las tuberías.

35 La metodología UVP + PD se ha aplicado a una amplia gama de sistemas de fluidos, incluyendo una gama de modelos y fluidos y suspensiones industriales, que contienen tanto partículas como fibras blandas y duras con diámetros de unos pocos nanómetros hasta varios centímetros de longitud. También se ha evaluado para varias aplicaciones industriales potenciales, tal como la reología de fusión de polímero, la pasta de papel, las suspensiones minerales concentradas, y la cristalización de grasa.

40 Sin embargo, no hay un sistema PD + PD comercial disponible fácilmente en el mercado y los sistemas usados hasta ahora se han basado en general en los transductores y las electrónicas listos para usar y, por lo tanto, son más adecuados para una caracterización de flujo sencilla con una precisión limitada y sin cumplir con los requisitos industriales.

45 Además, los instrumentos de UVP + PD convencionales normalmente usados en entornos de investigación, los sistemas/instrumentos y las metodologías no poseen la robustez y la precisión necesaria en aplicaciones industriales. Un problema es que los transductores y la instrumentación convencionales de tipo listos para usar usados en los sistemas UVP (y UVP + PD) no están diseñados para las mediciones dentro de geometrías pequeñas y complejas, tales como las tuberías de procesamiento industrial. Además, los instrumentos UVP convencionales se han adaptado a partir de diseños y metodologías simplificados encontrados en la industria médica para la medición 50 del flujo sanguíneo. Sin embargo, la sangre humana, y también el agua, no son atenuantes en comparación con los sistemas de fluidos industriales actuales y por lo tanto los instrumentos UVP existentes no son capaces de proporcionar la funcionalidad deseada para estos últimos.

55 También se hace referencia a los tres documentos de la técnica anterior siguientes:

La publicación PCT N.º WO 2001/069231 desvela un método y un aparato que usa las señales ultrasónicas para medir las propiedades de reología de un flujo de fluido. El método incluye la determinación y el análisis de los desplazamientos Doppler de las reflexiones acústicas asociadas con una pluralidad de regiones de muestreo para 60 determinar una o más propiedades reológicas del fluido. El aparato incluye un transmisor para transmitir una señal acústica en el flujo de fluido, un receptor para recibir las reflexiones acústicas de los reflectores acústicos dentro del flujo de fluido, y un módulo electrónico para determinar una velocidad frente al perfil de posición del flujo de fluido.

65 HUGHES P E ET AL: "Pulsatile velocity distribution and wall shear rate measurement using pulsed Doppler ultrasound", JOURNAL OF BIOMECHANICS, PERGAMON PRESS, Nueva York, NY, Estados Unidos, vol. 27, n.º 1, 1 enero de 1994 (01-01-1994), páginas 103 - 110, XP026264399, ISSN: 0021-9290, DOI: 10.1016/0021-9290 (94)

90037-X. En este documento, los perfiles de velocidad pulsátil instantánea se midieron en un tubo cilíndrico usando un sistema de ultrasonido Doppler pulsado a 20 MHz. La resolución espacial del dispositivo se mejoró con la deconvolución usando un procedimiento que empleaba un proceso de establecimiento de ventanas en el dominio de frecuencia para suprimir el ruido de alta frecuencia. Después de la deconvolución tanto los perfiles de velocidad instantánea como las formas de onda de flujo se compararon con las predicciones teóricas establecidas.

BLACK ET AL: "Pulsed Doppler ultrasound system for the measurement of velocity distributions and flow disturbances in arterial prostheses", JOURNAL OF BIOMEDICAL ENGINEERING, Butterworth, Guildford, GB, vol. 11, n.º 1, 1 de enero de 1989 (01-01-1989), páginas 35 - 42, XP022444922, ISSN: 0141-5425, DOI: 10.1016/0141-5425(89)90163-5. Este documento se refiere a la investigación del flujo a través de las arterias protésicas usando un sistema de ultrasonido Doppler pulsado. Se describen los experimentos *in vitro* preliminares que usan este sistema, que verifican su idoneidad para hacer las mediciones del perfil de velocidad y de la perturbación de flujo. La salida de un rastreador de frecuencias se compara con el análisis espectral de las señales Doppler para regímenes de flujo tanto laminares como turbulentos y las fluctuaciones de raíz cuadrada media en la señal de salida del rastreador se usan para identificar la transición del flujo laminar al turbulento. Además, la intensidad de turbulencia del flujo post-estenótico se cuantifica en varias localizaciones axiales y para diferentes caudales. Finalmente, se presentan las mediciones del perfil de velocidad que se obtuvieron usando una técnica de deconvolución para tener en cuenta el tamaño finito del volumen de muestra.

Es un objeto de la presente invención hacer frente al menos a los problemas y cuestiones mencionados anteriormente.

Sumario de la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para visualizar y caracterizar los fluidos que fluyen en un medio que define una ruta de flujo de fluido, comprendiendo el método:

emitir una señal ultrasónica en un flujo de fluido en el medio que define una ruta de flujo de fluido por medio de al menos un transductor;

recibir las reflexiones, de los reflectores en la ruta de flujo de fluido, de la señal ultrasónica emitida por dicho al menos un transductor;

aplicar uno o más algoritmos de estimación de velocidad a las reflexiones recibidas de la señal ultrasónica, o a los datos indicativos de las mismas, para determinar un perfil de velocidad del flujo de fluido en el medio que define la ruta de flujo de fluido;

aplicar un algoritmo de deconvolución al perfil de velocidad determinado para determinar un perfil de velocidad deconvolucionado del flujo de fluido en el medio que define la ruta de flujo de fluido; y

determinar las características de flujo de fluido del fluido que fluye en el medio que define la ruta de flujo de fluido usando los perfiles de velocidad determinados y/o el perfil de velocidad deconvolucionado,

caracterizado por que el método incluye hacer funcionar dicho al menos un transductor con un elemento de línea de retardo dispuesto para optimizar las características acústicas de dicho al menos un transductor, y disponer dicho al menos un transductor con el elemento de línea de retardo del mismo en contacto con una pared exterior de dicho medio que define una ruta de flujo de fluido en una configuración de medición no invasiva, en el que dicho al menos un transductor está configurado de manera que un punto focal de la señal ultrasónica se localiza en una interfaz líquido-pared de la sección de medición en la que la señal ultrasónica entra en la ruta de flujo de fluido.

El método puede comprender determinar las características de fluido y de flujo de fluido por medio de, por ejemplo, un procedimiento de ajuste o un enfoque sin modelo.

El primer transductor puede ser un transductor de línea de retardo. El método puede comprender recibir unas reflexiones y/o unas transmisiones de la señal ultrasónica emitida por el primer transductor por medio de un segundo transductor asociado con el primer transductor. Ambos transductores son capaces de funcionar en el modo de transmisión y de recepción, es decir, cada transductor es capaz de medir perfiles de velocidad independientemente. Los transductores están montados en lados opuestos de manera que cuando uno transmite una señal el otro recibe (o viceversa) con el fin de registrar una medición de tiempo de ejecución usada para el cálculo de la velocidad del sonido en el medio de fluido.

El primer transductor puede hacerse funcionar en un modo de transmisión/recepción y el segundo transductor puede hacerse funcionar en un modo de recepción solamente, para la medición de los perfiles de velocidad, la velocidad del sonido y las características acústicas de los fluidos. Como alternativa, tanto un primer transductor como un segundo transductor pueden hacerse funcionar en un modo de transmisión/recepción, para la medición de los perfiles de velocidad en lados opuestos de la ruta de flujo de fluido por simetría, la velocidad del sonido, las

características acústicas, y el caudal usando un método de cálculo de tiempo de tránsito. En otra alternativa, el primer transductor puede hacerse funcionar solamente en un modo de transmisión y un segundo transductor puede hacerse funcionar solamente en un modo de recepción para la medición de la velocidad del sonido y de las características acústicas.

5 El método puede comprender emitir una serie de señales de ultrasonidos en el fluido que fluye en el medio y recibir las reflexiones asociadas.

10 El método puede comprender aplicar simultáneamente una pluralidad de algoritmos de determinación de velocidad para determinar el perfil de velocidad. Los algoritmos de determinación de velocidad pueden ser algoritmos de dominio de tiempo y de dominio de frecuencia que se aplican sustancialmente a la misma vez para mejorar la precisión y la calidad de los perfiles de velocidad medidos (la información espectral y la estimación de velocidad).

15 El medio que define la ruta de flujo de fluido puede comprender una tubería en comunicación de fluidos con un circuito o red de fluidos.

La aplicación del algoritmo de deconvolución puede comprender aplicar un algoritmo de enfoque sin modelo que incluye las etapas de:

20 recibir el perfil de velocidad determinado del flujo de fluido desde el módulo de estimación de velocidad, una velocidad del parámetro de sonido, y una forma de onda medida correspondiente a la señal ultrasónica recibida;

aplicar un filtro de suavizado adecuado para mejorar la calidad del perfil de velocidad;

25 aplicar un procedimiento de deconvolución al perfil de velocidad;

aplicar un filtro de suavizado de Savitzky-Golay a los perfiles de velocidad determinados y/o a los perfiles de velocidad deconvolucionados antes de obtener un gradiente de velocidad o una distribución de tasa de corte;

30 aplicar la diferenciación numérica al perfil de velocidad procesado; y

calcular la tasa de corte máxima y distribución de tasa de corte en el flujo de fluido.

Aplicar el algoritmo de deconvolución puede comprender las etapas de:

35 recibir y almacenar el perfil de velocidad, la velocidad medida del parámetro de sonido, y una forma de onda medida;

40 determinar una ventana de muestra normalizada a partir de la forma de onda medida detectando una envolvente de la forma de onda medida y dividiendo todos los puntos de muestra en la ventana de muestra por el valor de magnitud máximo de la ventana de muestra;

determinar una longitud de ventana de muestra multiplicando un eje de tiempo por la velocidad medida del parámetro de sonido;

45 re-muestrear tanto el perfil de velocidad registrado como la ventana de muestra determinada de manera que el número de muestras se corresponde para corregir las distancias de la ventana de muestra y la distancia radial del perfil de velocidad almacenado;

50 multiplicar el perfil de velocidad almacenado por una integral de una ventana de muestra dentro del campo de flujo para obtener un primer producto de multiplicación;

aplicar un algoritmo de transformada rápida de Fourier (FFT) al primer producto de multiplicación para obtener un primer resultado de FFT;

55 aplicar un algoritmo de FFT a la ventana de muestra para obtener un segundo resultado de FFT;

dividir el primer resultado de FFT por el segundo resultado de FFT para obtener un primer cociente de división;

60 aplicar un filtro de paso bajo en el dominio de frecuencia al primer cociente de división para obtener un primer cociente de división de filtrado de paso bajo; y

aplicar una FFT inversa al primer cociente de división de filtrado de paso bajo para obtener el perfil de velocidad deconvolucionado.

65 El método puede comprender aplicar un filtro de suavizado al perfil de velocidad deconvolucionado (tal como los filtros de movimientos promedio) si es necesario. El método puede comprender aplicar los algoritmos de compensación de ganancia de tiempo y los filtros de pared a las reflexiones recibidas de las señales de alta

frecuencia, por ejemplo, de paso bajo (y filtros de paso alto), tal como los filtros de Chebyshev tipo II o similares.

La velocidad del sonido puede determinarse usando solo un único transductor.

5 El valor de magnitud máximo de la ventana de muestra puede ser el pico de la envolvente.

La ventana de muestra puede proporcionarse en términos de tensión normalizada frente al tiempo.

10 La ventana de muestra puede necesitar describirse por al menos 10 puntos de muestra para una deconvolución precisa.

Para la etapa de re-muestreo, se apreciará que si el perfil de velocidad se mide a través de una distancia radial de 20 mm y el perfil se compone de 100 puntos de muestra, y la longitud de ventana de muestra = 5 mm, entonces, la ventana de muestra debería componerse de 25 puntos de muestra.

15 El método puede comprender hacer funcionar el primer transductor de tal manera que un punto focal de la señal o el haz de ultrasonidos está localizado en una superficie del material de línea de retardo, garantizando de este modo que no se han realizado mediciones de velocidad dentro de la distancia de campo cercano del transductor, en la que el campo de presión es muy irregular. El diseño también garantiza que la amplitud máxima y el diámetro más estrecho del haz se localizan en una superficie del material de línea de retardo permitiendo de este modo unas mediciones precisas directamente de la superficie del transductor.

20 El método puede comprender emitir una pluralidad de señales de ultrasonidos y recibir unas reflexiones asociadas de las mismas de los reflectores por medio de la reflexión de la señal ultrasónica desde una pluralidad de pares de transductores de línea de retardo.

25 El método puede comprender emitir una pluralidad de señales acústicas y recibir unas reflexiones asociadas a lo largo de las ventanas de tiempo predefinidas correspondientes a un gran número de regiones de muestreo en el fluido.

30 El método puede comprender medir una diferencia de presión a lo largo de una distancia fija en el medio que define la ruta de flujo de fluido, de tal manera que pueden determinarse sustancialmente de manera simultánea una distribución de estrés de corte y el estrés de corte a partir de una medición de la diferencia de presión. Esto ocurre sustancialmente de manera simultánea con la determinación del perfil de velocidad, el perfil de velocidad deconvolucionado, o ambos. Se apreciará que el método puede comprender usar la medición de diferencia de presión en combinación con el perfil de velocidad deconvolucionado para determinar las viscosidades de corte y los parámetros reológicos.

35 El perfil de velocidad determinado puede ser un perfil de velocidad radial instantáneo. El método puede comprender determinar continuamente los perfiles de velocidad del flujo de fluido en la tubería en tiempo real tanto en una dirección del flujo de fluido como en contra de la dirección del flujo de fluido por medio de los dos transductores de línea directa instalados en lados opuestos el uno del otro en la tubería.

40 El procedimiento puede comprender aplicar unos filtros de suavizado a las reflexiones recibidas de las señales ultrasónicas, por ejemplo, la descomposición de valor singular, la respuesta de pulso finito, la respuesta de pulso infinito, los filtros de movimientos promedio, o similares. El método puede comprender aplicar unos filtros de suavizado a los perfiles de velocidad determinados y/o a los perfiles de velocidad deconvolucionados, por ejemplo, un filtro de suavizado de Savitzky-Golay o de movimientos promedio.

45 El método puede comprender integrar unos perfiles de velocidad determinados y/o unos perfiles de velocidad deconvolucionados para determinar los caudales volumétricos de líquidos en el medio. En su lugar, o además, el método puede usar los tiempos de tránsito, por ejemplo, las mediciones de tiempo de ejecución para determinar los caudales volumétricos.

50 El método puede comprender determinar las propiedades acústicas, tal como, la atenuación de la velocidad de ultrasonidos y del sonido que está continua y directamente en línea, sustancialmente en tiempo real.

55 El método puede comprender determinar la concentración de sólidos (por ejemplo, el contenido de grasa sólida, SFC) en una tubería directamente en línea usando la velocidad del sonido y las mediciones de atenuación.

60 El método puede comprender las etapas de adaptación de un perfil de velocidad teórico frente a una posición radial en los datos experimentales, es decir, las velocidades de punto frente a una posición radial obtenida a partir de los desplazamientos Doppler asociados con sus regiones de muestreo y la caída de presión correspondiente a través de una distancia fija e identificar una o más propiedades reológicas del flujo de fluido a partir de una curva de relación matemática que se adapte mejor. Se observará que el perfil de velocidad registrado y la medición de caída de

65

presión se 'adaptan' con los modelos reológicos disponibles almacenados en una base de datos. Además, se observará que la velocidad frente a la curva de posición es normalmente la velocidad determinada.

5 Las características del fluido que fluye en la tubería pueden comprender unas propiedades y/o unos parámetros reológicos que incluyen el índice de consistencia de fluido, el índice de comportamiento de flujo, el límite elástico, o similares.

10 El método puede comprender calcular la tasa y el estrés de corte en cada una de una pluralidad de posiciones en el flujo de fluido.

15 El método puede comprender determinar las viscosidades de corte y los parámetros del modelo reológico de un procedimiento de ajuste no lineal de los perfiles de velocidad determinados y las diferencias de presión medidas para los modelos reológicos. Como alternativa, el método puede comprender usar un enfoque sin modelo, para determinar la distribución de tasa de corte a partir de un gradiente de velocidad de los perfiles de velocidad determinados y, opcionalmente, un estrés de corte en una pared de la tubería, por ejemplo, a través de una interpolación segmentaria cúbica o un modelo de ajuste polinomial seguido por una derivación numérica. De esta manera, la presente invención mejora ventajosamente los problemas existentes con las distribuciones de tasa de corte inexactas provocadas por las fluctuaciones inherentes de los métodos de ajuste matemáticos usados (por ejemplo, de segmentación cúbica o polinómicos).

20 Se apreciará que el método puede comprender aplicar un filtro de suavizado, por ejemplo, un filtro de suavizado Savitzky-Golay a los perfiles de velocidad determinados y/o a los perfiles de velocidad deconvolucionados antes de obtener el gradiente de velocidad (distribución de tasa de corte).

25 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un sistema de visualización y de caracterización de fluidos, que comprende:

30 una sección de medición que comprende un alojamiento que tiene un medio que define una ruta de flujo de fluido para el flujo de fluido, incluyendo la sección de medición:

35 al menos un transductor configurado para generar y emitir una señal ultrasónica en el flujo de fluido en el medio que define la ruta de flujo de fluido y dispuesto para usarse junto con un elemento de línea de retardo en contacto con una pared exterior de dicho medio que define una ruta de flujo de fluido en una configuración de medición no invasiva; y

40 un receptor configurado al menos para recibir unas reflexiones de la señal ultrasónica emitida por el al menos un transductor de línea de retardo de los reflectores en el flujo de fluido;

una memoria para almacenar datos; y

45 un procesador conectado operativamente a la memoria, comprendiendo el procesador:

un módulo de estimación de velocidad configurado para aplicar uno o más algoritmos de estimación de velocidad (dominio de tiempo y frecuencia) a las reflexiones recibidas de la señal ultrasónica, o a los datos indicativos de las mismas, para determinar un perfil de velocidad del flujo de fluido en el medio que define la ruta de flujo de fluido;

50 un módulo de deconvolución configurado para aplicar un algoritmo de deconvolución al menos al perfil de velocidad determinado para determinar un perfil de velocidad verdadero del flujo de fluido en el medio que define la ruta de flujo de fluido; y

55 un módulo de visualización y caracterización de fluidos configurado para determinar las características del fluido y/o del flujo de fluido en el medio que define la ruta de flujo de fluido usando el perfil de velocidad determinado y/o el perfil de velocidad verdadero,

caracterizado por que dicho al menos un transductor está configurado de manera que el punto focal de la señal ultrasónica se localiza en una interfaz líquido-pared de la sección de medición en la que la señal ultrasónica entra en la ruta de flujo de fluido, cuando está en funcionamiento.

60 El medio que define la ruta de flujo de fluido puede comprender una tubería en comunicación de fluidos con un circuito o red de fluidos.

65 El receptor puede incluir un segundo transductor en línea con o adyacente al primer transductor. Se apreciará que cada transductor puede comprender un transductor acústico configurado para la velocimetría de ultrasonidos pulsados, y que está ajustado preferentemente con una "línea de retardo" en cada parte delantera de transductor. La línea de retardo puede fijarse a la parte delantera de transductor.

El elemento de línea de retardo puede estar dispuesto para optimizar las características acústicas de dicho al menos un transductor incluyendo una o más de entre: formación del haz, focalización, acoplamiento, adaptación de impedancia, ruta del haz y protección de sensores.

5 El sistema puede comprender una pluralidad de pares de transductores de línea de retardo. En ciertas realizaciones de ejemplo, el primer transductor también puede comprender el receptor si es necesario o conveniente hacerlo.

10 La sección de medición está configurada para alojar un alojamiento para el sensor(s) de depresión diferencial y de temperatura. El medio puede comprender una unidad que debería instalarse como una sección en el circuito de tuberías o red de fluidos o circuito. En otras realizaciones de ejemplo, el sistema de medición, específicamente la sección de medición, puede unirse a una tubería en una tubería o una red de fluidos.

15 El sistema puede comprender un generador de señal configurado para generar una serie de señales o pulsos de ultrasonidos para su emisión por el primer transductor de línea de retardo.

20 El procesador o el sistema pueden comprender uno o más amplificadores para amplificar tanto la señal transmitida como la recibida, las formas de onda, o los pulsos, por ejemplo, usando una compensación de tiempo-ganancia. En particular, el procesador puede configurarse para aplicar los algoritmos de compensación de tiempo-ganancia y los filtros de pared para las reflexiones recibidas de las señales de alta frecuencia, por ejemplo, de paso bajo (y los filtros de paso alto) tal como los filtros de Chebyshev tipo II o similares.

25 El módulo de estimación de velocidad puede configurarse para aplicar simultáneamente una pluralidad de algoritmos de determinación de velocidad para determinar el perfil de velocidad. Los algoritmos de determinación de velocidad pueden ser unos algoritmos de dominio de tiempo y de dominio de frecuencia que se aplican sustancialmente a la misma vez para mejorar la precisión y la calidad de los perfiles de velocidad medidos (información espectral y la estimación de velocidad). Más específicamente, el módulo de estimación de velocidad puede configurarse para aplicar simultáneamente un algoritmo de dominio de tiempo y de dominio de frecuencia a las reflexiones recibidas de la señal ultrasónica, o a los datos indicativos de las mismas, con el fin de determinar el perfil de velocidad del flujo de fluido.

30 El módulo de deconvolución puede configurarse para:

35 recibir el perfil de velocidad determinado del flujo de fluido desde el módulo de estimación de velocidad, una velocidad del parámetro de sonido, y una forma de onda medida correspondiente a la señal ultrasónica recibida;

una forma de onda medida correspondiente a la señal ultrasónica recibida;

aplicar un filtro de suavizado adecuado para mejorar la calidad del perfil de velocidad;

40 aplicar un procedimiento de deconvolución al perfil de velocidad;

aplicar un filtro de suavizado de Savitzky-Golay a los perfiles de velocidad determinados y/o a los perfiles de velocidad deconvolucionados antes de obtener un gradiente de velocidad o una distribución de tasa de corte;

45 aplicar la diferenciación numérica al perfil de velocidad procesado; y

calcular la tasa de corte máxima y la distribución de tasa de corte en el flujo de fluido.

50 El módulo de deconvolución puede configurarse para:

recibir el perfil de velocidad, la velocidad medida del parámetro de sonido, y una forma de onda medida;

55 determinar una ventana de muestra normalizada a partir de la forma de onda medida detectando una envolvente de la forma de onda medida y dividiendo todos los puntos de muestra en la ventana de muestra por el valor de magnitud máximo de la ventana de muestra;

determinar una longitud de ventana de muestra multiplicando un eje de tiempo por la velocidad medida del parámetro de sonido;

60 re-muestrear tanto el perfil de velocidad registrado como la ventana de muestra determinada de manera que el número de muestras se corresponde para corregir las distancias de la ventana de muestra y la distancia radial del perfil de velocidad almacenado;

65 multiplicar el perfil de velocidad almacenado por una integral de una ventana de muestra dentro del campo de flujo para obtener un primer producto de multiplicación;

- aplicar un algoritmo de transformada rápida de Fourier (FFT) al primer producto de multiplicación para obtener un primer resultado de FFT;
- 5 aplicar un algoritmo de FFT a la ventana de muestra/volumen de muestra para obtener un segundo resultado de FFT;
- dividir el primer resultado de FFT por el segundo resultado de FFT para obtener un primer cociente de división;
- 10 aplicar un filtro de paso bajo al primer cociente de división para obtener un primer cociente de división de filtrado de paso bajo;
- aplicar una FFT inversa al primer cociente de división de filtrado de paso bajo para obtener el perfil de velocidad deconvolucionado; y
- 15 aplicar un filtro de suavizado al perfil deconvolucionado con el fin de eliminar el ruido no deseado y mejorar la calidad de los datos.
- La ventana de muestra puede necesitar describirse por normalmente al menos 10 puntos de muestra para una deconvolución precisa.
- 20 Ya que el punto focal de la señal o haz ultrasónico está localizado en una interfaz líquido-pared, garantiza que no se han realizado las mediciones de velocidad dentro de la distancia de campo cercano del transductor, en la que el campo de presión es muy irregular.
- 25 La línea de retardo puede comprender un material diseñado para formar el haz y contener la distancia de campo cercano en la que la presión acústica no es uniforme y pasa a través de una serie de máximos-mínimos. (Formación de haz)
- 30 La línea de retardo también puede proporcionar una ruta óptima de haz acústico y un acoplamiento entre el transductor y el fluido bajo investigación.
- La forma/dimensiones y las características del material de línea de retardo pueden optimizarse para reducir los ecos parásitos y los puntos ciegos dentro de la zona focal de los transductores y producir un haz estrecho con una zona focal extendida para aumentar la profundidad de penetración acústica desde la parte delantera del transductor.
- 35 (Focalización del haz)
- La longitud de la línea de retardo puede estar vinculada a una longitud de cuarto de onda de la frecuencia de funcionamiento del transductor de manera que el punto focal con la máxima presión acústica se localiza en una interfaz líquido/pared durante el funcionamiento. (Acoplamiento/adaptación acústica, transferencia de energía máxima)
- 40 Debería observarse que las expresiones "línea de retardo", "brecha acústica", "acoplador acústico", etc., se usan a veces para un tipo especial de transductor o accesorio de transductor diseñado para ensayos no destructivos. Sin embargo, en el caso de la presente realización de ejemplo el material de "línea de retardo" reemplazable se usa para retardar la señal de ultrasonido emitida de manera que pueda usarse para obtener las propiedades acústicas óptimas de haz, tales como la formación de haz, el enfoque de haz, el acoplamiento acústico, la adaptación de impedancia, la ruta óptima de haz y la protección de sensores.
- 45 Por otro lado, una "brecha acústica" está diseñada, por ejemplo, para generar o eliminar diferentes tipos de onda (por ejemplo, ondas de corte/longitudinales) en cualquier material sólido o semi-sólido que podría usarse para las mediciones no invasivas. Un "acoplamiento acústico" se define como un material usado para garantizar la máxima transferencia de energía entre el transductor ultrasónico y el material. En la presente invención se prefiere usar una configuración de sensor no invasivo para las mediciones de ultrasonidos pulsados.
- 50 Debería observarse que en la presente invención, la expresión material de "línea de retardo" podría significar "brecha acústica", "acoplamiento acústico", o una combinación de las mismas, que tiene múltiples funcionalidades, tales como la formación de haz, el enfoque de haz, el acoplamiento acústico, la adaptación de impedancia, la generación y/o eliminación de la ruta de haz deseada y la protección de sensores.
- 55 El sistema puede incluir uno o más sensores de presión absoluta o sensores de presión diferencial para obtener una diferencia de presión entre las localizaciones a lo largo de una longitud de la tubería/alojamiento. El sistema puede comprender también uno o más sensores de temperatura.
- 60 El sistema puede comprender medios para pasar una sección de la señal recibida en una ventana de tiempo ajustable con respecto a la forma de onda transmitida (pulso), proporcionando de ese modo una señal recibida cerrada que puede filtrarse, demodularse para producir una señal de muestra de frecuencia desplazada y para
- 65

realizar unas operaciones para determinar el desplazamiento de frecuencia, el retardo de tiempo o de fase de cambio de frecuencia asociado con una región de flujo de fluido.

5 El procesador puede configurarse para ajustar la ventana de tiempo para determinar la velocidad local en cada volumen de muestreo y calcular la distribución de velocidad instantánea como una función del tiempo o la distancia a lo largo de cada eje, línea de medición.

10 El procesador puede configurarse para determinar una o más viscosidades de corte dependiente y los parámetros del modelo del flujo de fluido y para calcular la tasa de corte y la distribución de estrés de corte.

15 El procesador puede configurarse además para determinar una o más propiedades acústicas, tales como, la atenuación de los ultrasonidos y la velocidad del sonido directamente en línea, en tiempo real. La información puede usarse por ejemplo para determinar la concentración total de contenido de grasa sólida (SFC) directamente en línea y el tamaño de partícula (barrido de frecuencia).

20 El sistema puede comprender un sensor de profundidad de flujo configurado para recibir los datos de profundidad/altura de flujo del fluido que fluye en un canal abierto o aforador. El sistema puede configurarse para determinar las características de un fluido que fluye en el canal abierto o aforador obteniendo un único perfil de velocidad en combinación con la medición de la altura/profundidad de flujo. (Metodología UVP + FD)

El sistema puede comprender una pluralidad de configuraciones de transductor con el fin de obtener unos perfiles de velocidad en tres dimensiones.

25 El módulo de caracterización de fluidos puede configurarse para determinar la distribución de tasa de corte sustancialmente de manera simultánea a partir de una medición de la diferencia de presión. En particular, el módulo de caracterización de fluidos puede configurarse para usar la diferencia de presión de dichos sensores de presión en combinación con el perfil de velocidad para determinar las viscosidades de corte y los parámetros del modelo reológico del flujo de fluido.

30 El módulo de caracterización de fluidos puede configurarse para determinar las viscosidades de corte y los parámetros del modelo reológico mediante un procedimiento de ajuste de modelo no lineal de los perfiles de velocidad determinados y/o las diferencias de presión medidas para los modelos reológicos. Como alternativa, el módulo de caracterización de fluidos puede configurarse para usar un enfoque sin modelo, conocido como el método del gradiente, para determinar la distribución de tasa de corte de un gradiente de velocidad de los perfiles de velocidad determinados y, opcionalmente, un estrés de corte en una pared de la tubería, por ejemplo, a través de una interpolación segmentaria cúbica o un modelo de ajuste polinomial seguido por una derivación numérica.

40 La sección de medición del alojamiento puede comprender normalmente dos puertos de transductor para alojar los transductores de línea de retardo primero y segundo, sustancialmente uno frente al otro y a nivel de la pared de tubería. El material de línea de retardo de los transductores está a nivel con el diámetro de superficie interior de la tubería, garantizando de este modo una no distorsión de flujo provocada por las cavidades usadas en las metodologías anteriores. El alojamiento puede comprender también unos puertos de sensor de presión para alojar los sensores de presión y uno o más puertos de sensor de temperatura para alojar uno o más sensores de temperatura.

45 El alojamiento también puede comprender o estar en comunicación de flujo con uno o más adaptadores de presión, normalmente aguas arriba y aguas abajo de la sección de medición. Cada adaptador de presión puede comprender un puerto de entrada y salida interespaciados por una cámara de flujo, no estando los puertos de entrada y salida en alineación de línea recta entre sí. Los puertos de entrada y salida pueden estar en comunicación de flujo con la cámara de flujo, estando el puerto de entrada localizado aguas arriba del puerto de salida. El puerto de entrada puede estar separado lateralmente del puerto de salida.

50 De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporciona una red de medios que definen las rutas de flujo de fluidos, incluyendo una visualización de fluido y un sistema de caracterización como se ha descrito anteriormente.

55 De acuerdo con un cuarto aspecto de la invención, se proporciona un transductor que comprende:

un alojamiento;

60 un elemento de transductor para recibir y/o transmitir una señal de ultrasonidos; y

un elemento de línea de retardo conectado operativamente al elemento de transductor, teniendo el elemento de línea de retardo una o más funcionalidades que incluyen una o más de entre la formación de haz, el enfoque de haz, el acoplamiento acústico, la adaptación de impedancia, la generación y/o eliminación de la ruta de haz deseada y la protección de sensores.

65

El elemento de transductor puede ser un elemento piezoeléctrico.

El material de línea de retardo puede fabricarse de uno o más de entre policarbonato (PC), parileno, Epotek o Rexolan u otro material acústicamente adecuado.

5 Las propiedades acústicas del material de línea de retardo pueden elegirse de manera que la impedancia acústica y la velocidad del sonido estén tan cerca como sea posible de la del agua (u otro fluido industrial) o de la de unos materiales sólidos/semi-sólidos tal como, por ejemplo, el acero.

10 El material de línea de retardo puede pegarse o fundirse a presión directamente a un material de adaptación de parte delantera o un elemento piezoeléctrico del transductor. Las líneas de retardo existentes están por lo general solo en contacto con el material de adaptación de parte delantera que usa un gel o material de acoplamiento acústico similar y solo proporciona un acoplamiento acústico (adaptación de impedancia) entre dos capas de material.

15 El diámetro del elemento de línea de retardo puede ser sustancialmente idéntico al del elemento piezoeléctrico.

20 Los transductores existentes que ofrecen una línea de retardo sufren de ecos parásitos (zumbido interno o reflexiones) que producen diversos puntos ciegos locales con una amplitud cero y también reducen drásticamente la sensibilidad del transductor. Por otra parte, los mismos efectos negativos se producen cuando se mide de manera no invasiva a través de las capas de la pared del material.

25 En la presente invención, una zona de circunferencia, es decir, la zona de contorno de la forma cilíndrica del material de línea de retardo, puede no ser suave. La zona de contorno puede modificarse de tal manera que se anulen las reflexiones internas indeseadas en el interior del material de línea de retardo, que normalmente afectan al rendimiento del material de línea de retardo y reducen la sensibilidad del transductor. Con este fin, la zona de contorno puede ser "no suave", por ejemplo en terrazas o escalonada, o estar provista de protuberancias y hendiduras a ciertas distancias del elemento piezoeléctrico de manera que se cancelen los fenómenos de onda estacionaria (múltiples reflexiones) que provocan los puntos ciegos. Esto, en combinación con la optimización de la longitud y el ángulo de la línea de retardo puede garantizar que se transmite la energía acústica máxima en el líquido de interés, pero también que la amplitud de las señales de eco de retorno no pueden atenuarse tanto como con los materiales de línea de retardo existentes y los transductores.

35 Por otra parte, una superficie delantera del material de línea de retardo (y por lo tanto la parte delantera del transductor) puede estar configurada además para adaptar el radio o la curvatura interna de una tubería. La curvatura de la parte delantera del transductor puede adaptarse de este modo exactamente a la de la tubería pero también puede ser ligeramente diferente. Una superficie delantera con una curvatura y la circunferencia no suave puede tener una ventaja adicional de producir un haz más focalizado con un diámetro de haz más pequeño y una zona focal más larga en la parte delantera del transductor resultando de este modo en unas mediciones de velocidad mucho más precisas. También puede ser posible medir velocidades precisas dentro de la capa cercana a la pared cerca de la pared de la tubería.

45 El alojamiento puede ser un cilindro de acero inoxidable o de forma similar. El material y la forma del alojamiento pueden ser de tipo de material compuesto y pueden configurarse para reducir los gradientes de temperatura y las vibraciones a lo largo del eje de transductor.

Breve descripción de los dibujos

50 La figura 1 muestra un diagrama de bloques conceptual de un sistema de visualización y caracterización de fluidos de acuerdo con una realización de ejemplo de la invención, conectado operativamente, durante el funcionamiento, a una tubería de una tubería o una red de fluidos o un circuito;

55 La figura 2 muestra una sección a través de un sistema de la técnica anterior convencional del mismo tipo general que la presente invención;

La figura 3 muestra una gráfica de un perfil de velocidad medido del flujo de fluido en una tubería obtenida usando el sistema de la figura 1;

60 La figura 4 muestra una ilustración en sección parcial esquemática de un sistema de visualización y caracterización de fluidos, específicamente una sección de medición del mismo, de acuerdo con una realización de ejemplo;

65 La figura 5 muestra un dibujo esquemático que ilustra un transductor de línea de retardo de 2 MHz, sin una compensación de ángulo de acuerdo con una realización de ejemplo;

- La figura 6 muestra un dibujo esquemático que ilustra un transductor de línea de retardo de 2 MHz con una compensación de ángulo de acuerdo con una realización de ejemplo;
- 5 La figura 7 muestra un diagrama esquemático simplificado de un transductor con un elemento de línea de retardo asociado en una configuración de sensor no invasiva;
- La figura 8 muestra un dibujo esquemático que ilustra una vista superior en sección y una vista lateral en sección de un adaptador de presión de acuerdo con una realización de ejemplo;
- 10 La figura 9 muestra un dibujo esquemático que ilustra un sistema, específicamente un bloque conceptual de la sección de medición del mismo, conectado entre los dos adaptadores de presión de la figura 8;
- La figura 10 muestra un dibujo esquemático de una sección del sistema de visualización y caracterización de fluidos, que ilustra unos componentes electrónicos/de hardware del mismo con mayor detalle;
- 15 La figura 11 muestra un dibujo esquemático de una sección del sistema de visualización y caracterización de fluidos, específicamente el procesador, que ilustra los componentes funcionales del mismo;
- La figura 12 muestra un dibujo que ilustra un transductor de volumen de muestra de transductor de línea de retardo de acuerdo con una realización de ejemplo;
- 20 La figura 13 muestra un dibujo que ilustra una respuesta de transductor de acuerdo con una realización de ejemplo;
- 25 La figura 14 muestra un diagrama de flujo del proceso conceptual que ilustra las etapas del algoritmo de deconvolución de acuerdo con una realización de ejemplo;
- La figura 15 muestra un diagrama de flujo de alto nivel de un método de acuerdo con una realización de ejemplo;
- 30 La figura 16 muestra otro diagrama de flujo de alto nivel de un método de acuerdo con una realización de ejemplo;
- La figura 17 muestra una ilustración en sección parcial esquemática de otra configuración del sistema de visualización y caracterización de fluidos, específicamente una sección de medición del mismo, de acuerdo con una realización de ejemplo; y
- 35 La figura 18 muestra una ilustración de un perfil de aforador de acuerdo con una realización de ejemplo.

40 Descripción de las realizaciones preferidas

En la siguiente descripción, con fines de explicación, se exponen numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión completa de una realización de la presente divulgación. Será evidente, sin embargo, para un experto en la materia que la presente invención puede ponerse en práctica sin estos detalles específicos.

45 Haciendo referencia a la figura 1 de los dibujos, un sistema de visualización y caracterización de fluidos de acuerdo con la invención se indica en general por el número de referencia 10. Al menos una sección del sistema 10, por ejemplo, una sección de medición del mismo, está normalmente integrada con o puede conectarse a una red de fluidos que comprende un medio que define las rutas de flujo de fluido para los fluidos que fluyen en la red de fluidos. El medio es normalmente una tubería 12 en una red de tuberías. Ventajosamente, las tuberías 12 pueden formar parte de una red de tuberías de procesamiento industrial o un circuito de la red de fluidos. El medio podría ser en su lugar otros conductos capaces de transportar fluidos.

50 El sistema 10 comprende también la electrónica y los elementos de procesamiento de señal para procesar las mediciones obtenidas a partir de la sección de medición como se tratará a continuación. La electrónica y los elementos de procesamiento de señal no necesitan estar provistos de la sección de medición, pero pueden localizarse a distancia de la misma y configurarse para recibir unas señales de medición, o unos datos indicativos de o asociarse con la misma, por ejemplo, de manera inalámbrica (por ejemplo, a través de Bluetooth, señales de radiofrecuencia, a través de una red de comunicaciones inalámbricas, o similares) o a través de una conexión cableada.

55 El sistema 10 normalmente está configurado al menos para determinar los perfiles de velocidad radial instantánea y las propiedades reológicas del flujo de fluido en la tubería 12 a la que el sistema está conectado para usar el perfil de velocidad de ultrasonidos con las técnicas de diferencia de presión (UVP + PD)/profundidad de flujo (UVP + FD), como se tratará en mayor detalle a continuación.

65

Como se ha mencionado anteriormente, haciendo referencia ahora a las figuras 2 y 3, los sistemas UVP + PD convencionales, los sistemas 14 y las metodologías hacen uso de los transductores 16 para transmitir las señales acústicas a lo largo de una línea o eje de medición en un fluido para determinar las características del mismo. A este respecto, se apreciará que los fluidos bajo investigación están sometidos a, y muy influenciados por, el corte más fuerte en la región cercana a la pared 18 (de las tuberías 20) con los gradientes de velocidad más altos. Para la caracterización y monitorización reológica de las propiedades reológicas, esta región cercana a la pared 18 con los gradientes de velocidad más altos es, por lo tanto, de gran importancia y las mediciones de velocidad precisas deben hacerse dentro de esta región del espacio.

Los sistemas convencionales UVP + PD hacen uso de, por ejemplo, las configuraciones convencionales de los transductores listos para usar o de los transductores simples en los que se coloca el transductor en contacto directo con el fluido, por ejemplo, un líquido (para una transferencia de energía máxima) o a través de una tubería transparente delgada para obtener las mediciones. Sin embargo, debido a los diseños de los transductores convencionales, el campo de presión producido por el transductor ultrasónico es altamente irregular desde la superficie del transductor y que se extiende todo el camino hasta el punto focal del mismo. Esta distancia es por lo general bastante larga (normalmente alrededor de 17 mm para un transductor de 4 MHz en agua) y conocida como el campo cercano. Las mediciones de velocidad exactas no son posibles en esta región, lo que hace que la instalación del transductor sea complicada y por lo tanto esto ha limitado la aplicabilidad práctica del método PD + UVP para las aplicaciones industriales. Para superar este problema, se han usado unos diseños de adaptador de flujo simple para los alojamientos de transductor que permiten a la superficie del transductor estar en contacto directo con el fluido de ensayo, garantizando de este modo la máxima transferencia de energía ultrasónica en el sistema de fluido, así como la eliminación de cualquier refracción del haz.

Sin embargo, la configuración mencionada anteriormente (ilustrada en la figura 2) deja una cavidad 22 antes de la interfaz de pared 18 que provoca una incertidumbre de medida debida al flujo de fluido y a las velocidades aumentadas más allá de la pared de tubería real (véase la figura 3). Además, cuando se mide en fluidos industriales más complejos, los problemas de sedimentación de partículas dentro de las cavidades 22 provocan variaciones en la velocidad del sonido y en el ángulo Doppler, lo que puede distorsionar el perfil de medición de manera significativa. Más consecuencias de la acumulación de partículas y los cambios de densidad dentro de las cavidades 22 son los efectos negativos de la temperatura y de los gradientes de concentración de fluidos. Esto también provoca variaciones en la velocidad del sonido y se ha demostrado que los gradientes de temperatura pueden provocar errores en la estimación del perfil de velocidad a través de la línea de medición.

Es posible medir a través de las capas de material sólido y retirar el transductor de la interfaz líquido-pared, eliminando de este modo tanto el problema de campo de cavidad como y el de campo cercano. Sin embargo, la refracción y la absorción de haz ultrasónica provoca errores en los parámetros tales como el ángulo Doppler y la velocidad del sonido, y esto reduce significativamente la profundidad de penetración en los fluidos de atenuación. Se ha demostrado que la forma de haz ultrasónico física cambia cuando se mide a través de las capas de material. Si las propiedades acústicas de los pulsos emitidos y recibidos por el transductor cambian, por ejemplo, debido a la propagación a través de las interfaces sólidas, se introducen más errores debido a las dimensiones de volumen de muestra aumentadas (ampliación del haz ultrasónico) en la medición de la velocidad, lo que conduce a resultados inexactos especialmente dentro de la zona cercana a la pared que es de mayor interés.

Por lo tanto, en general, los perfiles de velocidad no se miden con una precisión suficiente como resultado del efecto de las características de volumen de muestra finitas y la propagación a través de los límites sólidos o capas de material de pared. La influencia de la geometría del volumen de muestra y la intensidad se describirán en mayor detalle a continuación. Anteriormente se han propuesto sistemas y métodos para correlacionar las velocidades medidas en la región cerca de la pared, pero con un éxito limitado.

La determinación de la interfaz de pared real (cuando se mide a través de las capas de material) o la interfaz líquido-pared (cuando se miden en contacto directo con el fluido de ensayo) es por lo tanto de gran importancia para las mediciones reológicas. Debido a los factores mencionados anteriormente, la determinación de la interfaz es extremadamente complicada, especialmente cuando la medición de los perfiles de velocidad con una resolución espacial limitada o cuando la atenuación distorsiona la calidad de los datos de velocidad de pared cercana. Se ha demostrado que cambiando la posición de la pared menos que 0,37 mm (o un canal) los parámetros reológicos determinados usando el método UVP + PD varían significativamente. Esto es porque los fluidos bajo investigación están sometidos a, y muy influenciados por, el corte más fuerte en la región cercana a la pared con altos gradientes de velocidad como se ha descrito anteriormente.

El problema de las posiciones de pared de incertidumbre ha obligado a los usuarios a obtener los datos reológicos del fluido de ensayo usando otros métodos tales como la reometría rotacional fuera de línea con el fin de ajustar las posiciones de interfaz de pared que producen las propiedades de fluido correctas. Sin embargo, esto desafía el fin de la metodología UVP + PD para la reometría en línea, ya que es deseable tener un sistema y una metodología de medición basados en UVP + PD completos que puedan medir las propiedades reológicas sin ningún conocimiento a priori de las características del fluido.

5 Aun cuando se podría obtener una posición de pared correcta, por ejemplo, por inspección visual, análisis o post
 análisis de los datos, el ajuste teórico sobre el perfil de velocidad experimental no es sencillo y por lo tanto los
 usuarios remotos todavía necesitan ajustar las condiciones de contorno y las estimaciones iniciales con el fin de
 obtener los parámetros reológicos correctos. Se han intentado diferentes enfoques para el procedimiento de ajuste
 de modelo, tal como el uso de polinomios de diferentes órdenes, ecuaciones de potencia irracional, segmentaciones
 o el uso de diferentes modelos reológicos. Sin embargo, incluso usando estas técnicas, el problema de que requiere
 el conocimiento de las condiciones de contorno y las estimaciones iniciales y/o el ajuste de los diferentes modelos
 obliga al usuario a tener conocimiento de las características del fluido de antemano, lo que no hace de este un
 método de medición reométrico independiente viable. Para superar este problema se introduce una nueva
 10 generación de transductores en la presente invención.

15 Haciendo referencia ahora a la figura 4 de los dibujos, en la que una medida o sección de medición del sistema de
 visualización y caracterización de fluidos 10 de acuerdo con la presente invención está indicada en general por el
 número de referencia 30. Se observará que la sección de medición 30 puede comprender algunos o todos los
 elementos del sistema 10, como se describirá a continuación o algunos de los componentes pueden estar
 localizados a distancia de la sección de medición 30.

20 Se observará que el sistema 10 hace uso de la metodología UVP + PD, que permite la determinación de los
 parámetros reológicos combinando las mediciones del perfil de velocidad ultrasónico (UVP) con la diferencia de
 presión (PD). Se usa para la caracterización reológica no invasiva en línea de los sistemas de fluidos complejos
 opacos.

25 La sección de medición 30 del sistema 10 comprende un alojamiento 32 que define un paso de flujo de fluido 34, por
 ejemplo, un paso de fluido cilíndrico hueco para el paso del fluido a su través; un primer puerto de transductor 36
 localizado adyacente al paso 34; y un segundo puerto de transductor 38 también localizado adyacente al paso 34 de
 tal manera que los puertos de transductor primero y segundo están en línea y opuestos entre sí, separados por el
 paso 34.

30 En una realización de ejemplo, el alojamiento 32 es un adaptador de flujo configurado para fijarse sobre un sistema
 de tuberías de manera que el paso de flujo de fluido 34 se ajusta perfectamente sobre una tubería del sistema de
 tuberías. Sin embargo, se apreciará que el alojamiento 32 puede estar adaptado para instalarse integral con un
 sistema de tuberías de manera que el paso de flujo de fluido 34 está en comunicación de flujo con el sistema de
 tuberías.

35 Las tuberías en el sistema de tuberías pueden ser tuberías cilíndricas. Sin embargo, la presente invención no se
 limita a las mismas y pueden adoptar diversas geometrías, huecos, formas. Para facilitar la explicación, "tubería" en
 el contexto de la presente descripción se entenderá que significa un miembro cilíndrico hueco que tiene una
 sustancia de fluido/líquida que fluye a su través, cuyas características se determinan ventajosamente por el sistema
 10 como se describe en el presente documento.

40 En cualquier caso, con el fin de lograr la funcionalidad deseada, el sistema 10, específicamente la sección de
 medición 30 del mismo, comprende un primer transductor de línea de retardo 40 configurado para emitir una señal
 de alta frecuencia en el flujo de fluido en el paso 34. La señal de alta frecuencia es una señal acústica, normalmente
 una señal de ultrasonidos.

45 El transductor de línea de retardo 40 comprende un material de línea de retardo 41 para generar las señales de
 ultrasonidos deseadas como se tratará a continuación.

50 La sección de medición 30 comprende también un receptor 42 configurado al menos para recibir las señales de
 reflexión, siendo las señales de reflexión la reflexión/s de la señal de ultrasonidos emitida por el primer transductor
 de línea de retardo 40 del reflector/s 44 en el flujo de fluido. El receptor 42 puede comprender cualquier circuitería
 etc., para las señales de reflexión recibidas. Sin embargo, el receptor 42 comprende un segundo transductor de
 línea de retardo 42. El primer transductor 40 puede recibirse en el primer puerto de transductor 36 del alojamiento 32
 y el segundo transductor 42 puede recibirse en el segundo puerto de transductor 38 de tal manera que el primer
 55 transductor 40 y el segundo transductor 42 están orientados o en línea entre sí a lo largo de una línea de medición o
 en un eje de haz 43. El sistema 10 puede comprender una pluralidad de pares de transductores de línea de retardo.
 Sin embargo, solo uno se ilustra para facilitar la ilustración.

60 En una realización de ejemplo (mencionada más adelante), el primer transductor 40 puede comprender también el
 receptor 42 si es necesario o conveniente hacerlo de manera que puede emitir o transmitir la señal de ultrasonido y
 recibir la señal de reflexión en consecuencia. En esta realización de ejemplo, el alojamiento 32 puede adaptarse en
 consecuencia.

65 El segundo transductor 42 también podría emitir fácilmente el ultrasonido, como se ha mencionado anteriormente,
 que el primer transductor 40 podría recibir de una manera similar como el segundo transductor 42. Sin embargo,
 para facilitar la explicación, se hará referencia a la realización de ejemplo en la que el primer transductor 40 está

configurado para emitir las ondas de ultrasonidos y el segundo transductor 42 está configurado para recibir las reflexiones como se ha descrito anteriormente en la presente memoria.

5 Se apreciará que el buen y estable posicionamiento de los transductores de ultrasonido 40, 42 es esencial para el éxito de la medición de los perfiles de velocidad (tratado a continuación).

10 Los transductores 40, 42 se instalan a nivel de la pared de tubería 46, no dejando de este modo una cavidad entre los transductores 40, 42 y la interfaz de pared. La eliminación de la cavidad como se ha mencionado anteriormente permite unas mediciones de perfil de velocidad más precisas cuando no es posible un flujo no realista más allá de la interfaz de pared de tubería actual. Esto también resuelve el problema de la sedimentación y la obstrucción (cuando se ensayan suspensiones de fluido viscosas) de las cavidades por delante de los transductores como se ha mencionado también anteriormente.

15 Debería observarse que las expresiones "línea de retardo", "brecha acústica", "acoplador acústico", etc., se usan a veces para un tipo especial de transductor o accesorio de transductor diseñado para ensayos no destructivos. Sin embargo, en el caso de la presente realización de ejemplo el material de "línea de retardo" reemplazable se usa para retardar la señal de ultrasonidos emitida de manera que puede usarse para obtener las propiedades de haz acústico óptimas, tales como la formación de haz, el enfoque de haz, el acoplamiento acústico, la adaptación de impedancia, la ruta óptima de haz y la protección de sensores.

20 Por otro lado una "brecha acústica" está diseñada, por ejemplo, para generar o eliminar diferentes tipos (por ejemplo, ondas de corte/longitudinales) de onda en cualquier material sólido o semi-sólido que podrían usarse para las mediciones no invasivas. Un "acoplamiento acústico" se define como un material usado para garantizar la máxima transferencia de energía entre el transductor ultrasónico y el material.

25 Debería observarse que en el contexto de esta invención, la expresión material de "línea de retardo" podría significar una "brecha acústica", un "acoplador acústico", o una combinación de los mismos que tiene múltiples funcionalidades, tales como la formación de haz, el enfoque de haz, el acoplamiento acústico, la adaptación de impedancia, la generación y/o la eliminación de la ruta de haz deseada y la protección de sensores.

30 En la presente invención, la línea de retardo 41 se construye a partir de un material adecuado para lograr varios fines. En primer lugar, la línea de retardo 41 se usa para la formación de haz y el material a partir del que se construye contiene la distancia de campo cercano acústica del transductor 40, 42 (en la que la presión acústica no es uniforme y pasa a través de una serie de máximos-mínimos). El material de línea de retardo se fabrica normalmente de uno de entre o una combinación de policarbonato (PC), parileno, Epotek, y Rexolan o materiales similares. Las propiedades acústicas del material de línea de retardo 41 se optimizan de manera que la impedancia acústica y la velocidad del sonido están tan cerca como sea posible de la del agua (u otro fluido industrial), así como de las paredes de tubería (por ejemplo, el acero inoxidable). Por lo tanto, la línea de retardo proporciona un acoplamiento acústico óptimo entre el transductor y el fluido bajo investigación.

35 40 En segundo lugar, esta línea de retardo 41 está fijada por delante del transductor 40, 42 como una parte integral del diseño y está a nivel de la pared de tubería 46. El material de línea de retardo está o pegado (usando un pegamento apropiado) o fundido a presión directamente a un material de adaptación de parte delantera del transductor o el elemento piezoeléctrico, o vinculado al transductor usando unos materiales de acoplamiento acústico.

45 50 Se observará que el material de adaptación puede formar parte de una capa de adaptación ultrasónica. Esta capa puede ser una capa pasiva, que está fija a la cara delantera de un transductor ultrasónico con el fin de mejorar el acoplamiento de energía hacia y desde el medio de transmisión. En condiciones de banda estrecha, el acoplamiento se maximiza cuando el espesor de la capa de adaptación es igual a un cuarto de la longitud de onda (o un múltiplo impar de un cuarto de la longitud de onda).

55 Además, el transductor 40, 42 puede comprender también un material de refuerzo que es más comúnmente un material altamente atenuante y muy denso y se usa para controlar la vibración del elemento de cristal/piezoeléctrico de transductor absorbiendo la energía que irradia desde una cara posterior del elemento piezoeléctrico. Cuando la impedancia acústica del material de refuerzo se adapta con la del cristal piezoeléctrico, el resultado es un transductor altamente amortiguado con excelente resolución. Variando el material de refuerzo con el fin de variar la diferencia de impedancia entre el refuerzo y el cristal piezoeléctrico, un transductor sufrirá algo y la resolución puede ser mucho mayor en amplitud de señal o sensibilidad.

60 65 Una parte de punta de la línea de retardo 41 puede tener diferentes formas, por ejemplo, en ángulo y en curvatura puede variarse de manera que la geometría de la misma se adapte exactamente con la del radio o la curvatura interna de la pared de tubería 46 para garantizar que no hay distorsiones en las líneas de corriente (gradientes de velocidad) en la capa cercana a la pared. La curvatura de la superficie delantera de la línea de retardo 41, o la parte de punta, puede adaptarse con la de la tubería exactamente pero también puede ser ligeramente diferente. Una superficie delantera con una curvatura y la zona de circunferencia no suave tiene las ventajas adicionales de producir un haz más focalizado con un diámetro de haz más pequeño y una zona focal más larga en la parte

delantera del transductor resultando de este modo en unas mediciones de velocidad mucho más precisas. También es posible medir velocidades precisas dentro de la capa cercana a la pared cerca de la tubería.

En tercer lugar, el transductor 40, 42 está configurado de manera que el punto focal del haz de ultrasonidos, con la máxima presión acústica, se localiza exactamente en la interfaz líquido-pared permitiendo de este modo, ventajosamente, las mediciones precisas directamente en una sección delantera del transductor 40, 42. Para este fin, debería entenderse que la longitud de la línea de retardo está vinculada a una longitud de cuarto de onda, como se ha descrito anteriormente, y la frecuencia de ultrasonidos del transductor de manera que el punto focal con la máxima presión acústica se localiza en la superficie delantera de la parte de punta de la línea de retardo 41

Se observará que la zona de circunferencia, es decir, la zona de contorno de la forma cilíndrica del material de línea de retardo no es suave. La zona de superficie se modifica de tal manera que se cancelan las reflexiones internas no deseadas en el interior del material de línea de retardo, que normalmente afectan al rendimiento del material de línea de retardo y reducen la sensibilidad del transductor. Esto, en combinación con la optimización de la longitud de la línea de retardo garantiza que la energía acústica máxima se transmite en el líquido de interés, pero también que la amplitud de las señales de eco de retorno no se atenúan tanto como con los materiales y transductores de línea de retardo existentes.

Por otra parte, en la presente invención, el diseño de la línea de retardo 41 más los componentes de transductor están optimizados de manera que la máxima transferencia de energía entre el transductor ultrasónico 40, 42 y el fluido está garantizada pero también de manera que se evitan los ecos parásitos y los "puntos ciegos" a lo largo del eje de haz de transductor. Esto se logra mediante la optimización de la geometría, la longitud, la forma y las propiedades acústicas del material de línea de retardo 41, el elemento piezoeléctrico activo de los transductores 40, 42, el material de refuerzo, la placa delantera y de desgaste del transductor 40, 42, etc., algunos de los cuales se ha descrito anteriormente en el presente documento. La longitud de la línea de retardo 41 está vinculada a múltiplos de la longitud de cuarto de onda y se elige cuidadosamente para evitar reflexiones inducidas que reducirían la eficacia del transductor 40, 42.

Se apreciará que el elemento piezoeléctrico del transductor es un cristal de elemento de cerámica piezoeléctrico para producir y recibir señales de alta frecuencia. El elemento piezoeléctrico se fabrica normalmente de $PbTiO_2$. El dopaje especial de las cerámicas de zirconato-titanato de plomo de los elementos piezoeléctricos hace posible ajustar los parámetros piezoeléctricos y dieléctricos individuales como se requiera. El diámetro, la longitud y la forma, etc., del elemento piezoeléctrico normalmente determinan las propiedades de frecuencia y acústicas del transductor.

La totalidad del transductor 40, 42 que incluye la línea de retardo 41 y la sección de punta del mismo está optimizada adicionalmente para trabajar bajo condiciones de procesamiento industriales reales dentro de un amplio intervalo de presión y temperatura y también para resistir el desgaste de las partículas sólidas abrasivas suspendidas en el líquido. El alojamiento puede ser un cilindro de acero inoxidable o de forma similar. El material y la forma del alojamiento pueden ser del tipo de material compuesto y pueden configurarse para reducir los gradientes de temperatura y las vibraciones a lo largo del eje de transductor.

En ciertas realizaciones de ejemplo, el transductor de línea de retardo puede tener la función de un material de superficie delantera adicional que se fija al material de línea de retardo. Este material puede ser un material cerámico acústicamente adaptado y se usa para proteger el transductor del desgaste, los fluidos y los materiales abrasivos o corrosivos y de las altas temperaturas, proporcionando una zona de amortiguamiento.

En este sentido, el material y la forma del alojamiento se eligen de manera que los gradientes de temperatura a lo largo del transductor se eliminen, por ejemplo, usando una capa de cerámica aislante.

En cualquier caso, las limitaciones actuales en relación con la temperatura y la presión son 0 - 150 °C y 0 - 30 bares (0 - 3000 kPa), pero esto puede ampliarse en función de la aplicación. Por ejemplo, cuando se usa un material de línea de retardo no invasivo.

Aunque se ha tratado anteriormente, a continuación se hará referencia a las figuras 5 a 7 de los dibujos, en los que están ilustradas unas realizaciones de ejemplo más específicas de los transductores de línea de retardo 40, 42. Los transductores de línea de retardo 40, 42 mostrados en las figuras 5 y 6 comprenden normalmente al menos unos elementos piezoeléctricos 48 dispuestos en un alojamiento 50 con los materiales de línea de retardo 41 acoplables adyacentes a los elementos 48. Las líneas de retardo 41 pueden unirse de manera desmontable a las secciones de extremo de los transductores 40, 42 o pueden ser integrales con las mismas como se ha descrito anteriormente. Para las mediciones de flujo de tubería se usan normalmente los transductores 40, 42 con una frecuencia básica central de 2 MHz (figuras 5 y 6) y un diámetro de haz de 10 o 5 mm con el fin de obtener un buen compromiso entre la resolución espacial, que se debe a su corta longitud de onda, y la profundidad de penetración (menos atenuación). Cuando se define la frecuencia ultrasónica, un diámetro del elemento piezoeléctrico 48 puede optimizarse, teniendo en cuenta los siguientes puntos: un diámetro pequeño significa un transductor 40, 42 menos sensible; un diámetro grande significa un haz menos divergente, lo que implica un menor volumen de muestra; un diámetro grande

significa un campo cercano más largo, lo que significa que la medición cerca del transductor 40, 42 se verá afectada por la oscilación del campo de presión ultrasónico y esto debe compensarse por el uso de una línea de retardo más larga 41 como se ha mencionado anteriormente. Un diámetro del alojamiento 50 está normalmente entre 8-12 mm y la longitud del mismo es de 20 a 100 mm.

Se observará que los puntos focales 52 de los transductores 40, 42 se ilustran en las figuras 5 y 6. También se ilustra en la figura 6 la compensación de ángulo 54 para los transductores 40, 42 que tienen una compensación de ángulo. La compensación de ángulo puede seleccionarse para que sea cualquier ángulo, un ángulo de instalación del transductor en función del diámetro de tubería, el caudal y las características de fluido, en el presente ejemplo se usó un ángulo de instalación de 20 grados. El ángulo puede determinarse experimentalmente. Sin embargo, para diámetros de tubería pequeños el ángulo debería estar cerca de 90 grados con respecto al lateral con el fin de evitar los efectos promedio a través del gradiente de perfil de velocidad.

A continuación, en la Tabla 1 se proporcionan las dimensiones geométricas típicas y los principales parámetros acústicos para un transductor 40, 42 de 2 MHz de acuerdo con la descripción anterior con referencia a las figuras 5 y 6.

Tabla 1: Especificaciones de transductor de línea de retardo - 2 MHz (figuras 5 y 6)

Frecuencia central (MHz)	Características de línea de retardo	Longitud de línea de retardo (mm)	Diámetro activo (mm)	Diámetro del alojamiento (mm)	Longitud total (mm)	Semiángulo de divergencia (grados)	Instalación
2	Adaptación de impedancia acústica para suspensiones industriales 1400-1700 (m/s)	14	5	8	90	2,2	Disco de TC de 50,5 mm, distancia desde la placa de TC a la parte delantera de transductor 34 mm

Debería observarse que los transductores ultrasónicos 40, 42 tienen un intervalo de frecuencia de 0,5 - 15 MHz, y como se ha descrito anteriormente están diseñados para funcionar tanto en modo de transmisión como/o de recepción, de manera individual o en parejas (por ejemplo, el primer transductor 40 funcionando en un modo de emisión dedicado y el segundo transductor 42 funcionando en un modo de recepción dedicado, o viceversa). Los transductores 40, 42 pueden trabajar tanto en un modo de excitación continua como pulsada y producir ráfagas cortas o largas de ultrasonidos, por lo general de tipo de onda sinusoidal o cuadrada pero también de otras formas de onda, tales como pitidos, si se desea. Además de instalarse y hacerse funcionar usando tanto de manera individual como en pares, los transductores 40, 42 pueden proporcionarse en diferentes configuraciones (opuestos entre sí, una configuración en anillo, V y Z, etc.) para medir tanto en la dirección del flujo como en la opuesta. La presente invención también abarca un diseño de transductor matricial lineal/de fases equipado con una línea de retardo 41 como se ha descrito anteriormente.

Además, el transductor 40, 42 puede fijarse opcionalmente con, por ejemplo, un disco de tres abrazaderas 56 (véase la Tabla 1 y las figuras 5 y 6) para una instalación fácil e higiénica de los transductores 40, 42, que normalmente es un prerrequisito en las aplicaciones que se localizan en las industrias alimentarias o farmacéuticas.

El transductor podría fijarse también opcionalmente con un sistema de sujeción para la colocación precisa de los transductores de línea de retardo (cuando se usa en la configuración del sensor no invasivo).

Sin embargo, es más importante, en la presente invención, que el transductor 40, 42 esté equipado con una línea de retardo optimizada 41 y un disco 56 para la instalación fácil e higiénica de los transductores 40, 42, permitiendo la colocación exacta del transductor 40, 42 y también una posición de pared fija. Esto garantiza y permite no solo mediciones precisas directamente desde la parte delantera del transductor y dentro de la capa de gradiente cerca de la pared 46, sino que también la caracterización y la determinación reológica precisa de los parámetros reológicos eliminando la incertidumbre en determinar las posiciones de pared, como se describirá a continuación.

Una realización alternativa de una configuración de medición no invasiva se muestra en la figura 7. Para los fines de la presente invención, la expresión configuración "no invasiva" indica que ninguna parte del transductor o del material de línea de retardo está en contacto con el fluido de ensayo. En otras palabras, el transductor y el elemento de línea de retardo se localiza en el exterior de la tubería u otros medios 12 en los que se transporta el fluido a caracterizarse.

Un elemento o bloque formado de manera adecuada 43 de material de línea de retardo se usa para acoplar acústicamente el transductor 40, 42 con una capa de material sólido (por ejemplo, una pared de tubería). Como se ha descrito anteriormente, el material de línea de retardo debería proporcionar unas propiedades óptimas de haz acústico (tal como la formación de haz, el enfoque de haz, el acoplamiento, la adaptación de impedancia, la ruta óptima de haz a través de las capas de material y en el medio de fluido así como la protección de sensores). Como se ha descrito anteriormente, la línea de retardo está diseñada para generar o eliminar los diferentes tipos de ondas en los materiales sólidos o semi-sólidos que podrían usarse para las mediciones no invasivas.

El bloque de material de línea de retardo, o bien podría ser una parte integral del transductor y/o la capa de pared de material (por ejemplo, la pared de tubería) o por ejemplo, un dispositivo de abrazadera. Debería observarse que en la figura 7 la dirección de la ruta del haz es solo una ilustración.

Volviendo a la figura 4, se apreciará que el sistema 10, específicamente la sección de medición 30 del mismo, comprende también un sensor de presión diferencial 60 para las mediciones de estrés de corte de pared. El sensor 60 está configurado para medir una diferencia de presión entre dos puntos a lo largo del flujo de fluido 34 por medio de las membranas de 60.1 y 60.2. Para este fin, el sensor 60 puede comprender también un tubo de vacío 62 lleno de fluido de transmisión de presión. Puesto que la velocidad del sonido en un medio de fluido puede cambiar significativamente con la variación en la temperatura del fluido, el sistema 10 puede comprender también un sensor de temperatura 64. Se observará que cuando la reología del fluido es de interés, la temperatura del fluido también puede jugar un papel significativo en las propiedades viscosas de un fluido específico. La sección de medición 30 del sistema 10 está diseñada para mediciones simultáneas de perfiles de velocidad y propiedades acústicas en línea.

El sistema 10 puede comprender además o la sección de medición 30 puede estar en comunicación de flujo con los adaptadores de flujo de presión 66 (figuras 8 y 9). El adaptador de flujo de presión 66 puede estar conectado aguas arriba y aguas abajo de la sección de medición 30 para las mediciones de caída de presión más precisas (figura 10). El adaptador de flujo de presión 66 puede comprender un puerto de entrada 67 para recibir un flujo de fluido de entrada 68 y un puerto de salida 69 para proporcionar una salida 70 del flujo de fluido. El puerto de entrada 67 y el puerto de salida 69 pueden estar separados por una cámara de flujo cilíndrica 72 no estando en línea entre sí. La configuración asimétrica de los puertos de entrada y salida 67, 69 garantiza un flujo estable continuo del fluido hacia la sección de medición 30. Se apreciará que en ciertas realizaciones de ejemplo, el sensor de presión 60 requiere que la tubería está totalmente llena de fluido y unas membranas 60.1 y 60.2 de sensor de paso de flujo estable 60 con el fin de medir las diferencias de presión entre las mismas con precisión. Un diseño pobre del alojamiento del sensor en combinación con pequeños cambios en la presión o errores en las mediciones podría dar lugar por lo tanto a propiedades reológicas erróneas determinadas por el sistema 10.

Como se ilustra en la figura 9, los adaptadores 66 pueden proporcionarse aguas arriba y aguas abajo de un flujo de fluido y pueden interconectarse por medio de una tubería.

La tubería puede comprender la sección de medición 30 del sistema 10 o la sección de medición 30 puede unirse a la tubería.

En cualquier caso, además de obtener simplemente unas mediciones por medio de la sección de medición 30, el sistema 10 logra la funcionalidad como se ha mencionado anteriormente en el presente documento, al menos, haciendo uso de una técnica de perfiles de velocidad de ultrasonidos pulsados (UVP) para determinar al menos los perfiles de velocidad del flujo de fluido 34. Esta técnica se basa en la determinación del desplazamiento de frecuencia o del desplazamiento del dominio de tiempo de las señales de retrodispersión que reflejan las partículas o las burbujas en un líquido que fluye. Este desplazamiento se obtiene en tiempo real como una función del intervalo espacial para un gran número de posiciones/tiempos espaciales. A partir de estas mediciones, se determina un perfil de velocidad instantáneo del flujo de fluido 34. Se apreciará que a partir de un perfil de velocidad único en un gradiente de presión medido simultáneamente, el sistema 10 puede determinar las propiedades reológicas del fluido sobre las tasas de corte que van de cero en un centro de la tubería a la máxima tasa de corte en la pared de tubería 46.

Para este fin, se hace referencia a la figura 10 de los dibujos, en la que se ilustra el sistema 10 de la presente invención. Además del bloque conceptual de la sección de medición 30, la figura 10 ilustra el sistema 10 comprendiendo también la electrónica y los elementos de procesamiento de señal 80 para recibir y procesar las señales de medición a partir de los sensores y los transductores 40, 42 de la sección de medición 30 a través de una conexión cableada o de manera inalámbrica (por ejemplo, la sección de medición 30 puede comprender un transmisor inalámbrico para transmitir las señales de medición a un receptor adecuado) proporcionándose de este modo el sistema 10 con la funcionalidad deseada. La electrónica y los elementos de procesamiento de señal 80 y la sección de medición 30 componen normalmente el sistema 10. Como se ha mencionado anteriormente, los elementos 80 pueden estar localizados en la sección de medición 30. Sin embargo, para facilitar la ilustración y la explicación, estos se describen por separado estando los elementos 80 alejados de la sección de medición 30, a pesar de estar acoplados en comunicación con la misma, por ejemplo, de manera inalámbrica como se ha mencionado anteriormente en el presente documento.

En ciertas realizaciones de ejemplo los elementos 80 se proporcionan en un ordenador personal (PC), ordenador portátil u otro dispositivo informático adecuado. Sin embargo, en la presente realización de ejemplo, los elementos 80 pueden estar interconectados con estos tipos de dispositivos informáticos, pero forman parte de un sistema separado 10.

5 La electrónica y los elementos de procesamiento de señal 80 están configurados convenientemente para controlar los componentes de la sección de medición 30, así como para procesar las mediciones recibidas como se ha descrito en el presente documento. Se entenderá por los expertos en la materia que puede lograrse la funcionalidad de la electrónica y algunos de los elementos de procesamiento de señal 80 de una pluralidad de diferentes maneras. Sin embargo, esto no debe restar el espíritu de la invención descrito en el presente documento.

10 En particular, el sistema 10 comprende una unidad de pulso-receptor 82 para recibir señales o pulsos de uno o ambos de los transductores 40, 42, específicamente del transductor 42 (para facilitar la explicación). La unidad 82 está equipada con un multiplexor 84 y el hardware basado en los dispositivos de ganancia variable y tiempo-ganancia-compensación (TGC) 86 que pueden programarse por un usuario de manera que pueden usarse las curvas de ganancia de varios tipos diferentes por el sistema 10.

15 En una realización, el sistema 10 comprende una forma de onda arbitraria o señal de generador (AWG), no mostrada, que produce una secuencia de señales o de pulsos a una frecuencia repetitiva pulsada (PRF). Para facilitar la explicación, las señales y los pulsos pueden considerarse que se refieren a lo mismo.

20 Un generador de señales avanzado puede proporcionarse para dar una forma sofisticada a la señal de forma de PRF para controlar la forma, la amplitud, la duración y la frecuencia de la señal de salida. La señal de salida se amplifica por un amplificador de potencia 88 y a continuación pasa a través de un transmisor 90 y la unidad de multiplexación 84 antes de que se convierta en una señal acústica por el transductor 41.

25 La frecuencia de señal en la presente invención está preferentemente en el intervalo de megahercios de 0,1- 150 MHz, con una anchura de pulso que va desde 0,5 hasta 20 ciclos por pulso (por ejemplo, una señal sinusoidal) con la tasa de repetición de pulso superior a dos veces el máximo desplazamiento de frecuencia Doppler esperado (teorema de Nyquist). El período de "apagado" entre los pulsos es lo suficientemente largo como para permitir cualquier reverberación y ecos de un pulso a extinguirse antes de transmitirse el siguiente pulso.

30 La electrónica y los elementos de procesamiento de señal 80 están diseñados de manera que los transductores 40, 42 pueden trabajar tanto en modo de excitación continua como pulsada y producir ráfagas cortas o largas de ultrasonidos, por lo general de tipo de onda sinusoidal o cuadrada, pero otras formas de onda, como pitidos también puede usarse por la presente invención. Después de una emisión/transmisión corta de la onda de ultrasonidos a lo largo del eje de medición (a través del fluido), la electrónica 80 conmuta al modo de recepción ("escucha"). Cuando el pulso de ultrasonidos golpea a una pequeña partícula 44 en el líquido/fluido, parte de la energía de ultrasonidos se dispersa sobre la partícula 44 y el eco vuelve. La señal de eco o reflexión llega al transductor de recepción 42 después de un retardo de tiempo. Si la partícula de dispersión 44 se mueve con una componente de velocidad distinta de cero en el eje acústico del transductor 42, se realiza el desplazamiento Doppler de la frecuencia de eco, y la frecuencia de la señal recibida se convierte en 'desplazada Doppler' por la frecuencia igual a la frecuencia de desplazamiento Doppler.

35 El transductor 42 detecta la energía acústica o la señal/pulso de reflexión a partir de unas pequeñas partículas o burbujas de reflexión, itinerantes 44 en el líquido que fluye. Un bloque de adquisición de datos recibe la señal de reflexión retardada y se usa una temporización de circuito para 'sincronizar' la señal recibida, de manera que las regiones de muestra pueden ser o adyacentes o separadas entre sí. Solo la señal que corresponde a un intervalo seleccionado de los tiempos de viaje acústicos se selecciona para su procesamiento. En la realización preferida, se procesan múltiples regiones de muestra en paralelo, pero solo una única región de muestra puede procesarse también a la vez. Un retraso y un intervalo de puerta pueden ajustarse para obtener el desplazamiento de frecuencia o el desplazamiento de dominio de tiempo en una o varias regiones de muestra, determinado por el software de control (véase a continuación).

40 Se entenderá que la señal o pulso acústica recibida por el transductor de recepción 42 se convierte en una señal eléctrica que se amortigua y amplifica por un amplificador de recepción 86 equipado con un dispositivo de tiempo-ganancia-compensación (TGC). En la realización preferida, la señal de RF recibida puede demodularse y filtrarse a paso bajo para proporcionar una señal de frecuencia desplazada para la estimación de velocidad, pero el sistema 10 en la presente invención también filtra a paso alto la señal recibida para eliminar cualquier señal de baja frecuencia provocada, por ejemplo, por las paredes 46 y la reverberación de la tubería. El sistema 10 de la presente invención también filtra a paso bajo la señal recibida para eliminar los componentes de alta frecuencia no deseados. Se observará que el término RF (Radio Frecuencia) en el presente documento se usa comúnmente para describir los datos "en bruto" no procesados en el campo de ultrasonidos, a veces esta abreviatura se usa también para referirse a la transferencia inalámbrica de datos en las aplicaciones de comunicación electrónica.

45 Los datos de eco de RF en bruto obtenidos de cada pulso se registran, lo que se usa en los algoritmos de estimación de velocidad tratados a continuación, pero también para la visualización y la monitorización del contenido

espectral de las frecuencias de desplazamiento de Doppler obtenidas usando los algoritmos de transformada rápida de Fourier (FFT).

Si la electrónica 80 de la presente invención tiene éxito para medir el retardo y el desplazamiento de frecuencia o el desplazamiento del dominio de tiempo de las señales de retrodispersión que se reflejan en las partículas 44, es posible entonces calcular tanto la posición como la velocidad de una partícula. Ya que se supone que las partículas de dispersión son suficientemente pequeñas para seguir el flujo de líquido, también se supone que el sistema 10 puede hacerse funcionar para establecer un componente de flujo de fluido en un punto de espacio dado. El perfil de velocidad instantáneo completo puede por lo tanto obtenerse en tiempo real usando varios algoritmos de estimación de velocidad diferentes (dominio del tiempo y dominio de frecuencia) al mismo tiempo para mejorar la precisión y la calidad de los perfiles de velocidad medidos (tratado a continuación). Se observará que aunque el sistema solo mide los datos de RF en bruto, los perfiles de velocidad determinados a partir de los datos de eco son los perfiles medidos usando el sistema actual. La realización preferida contiene además un módulo de adquisición de datos analógicos (por ejemplo, un módulo analógico a digital, DAQ) 92 con entradas de sensor y módulos de acondicionamiento de señal para la recepción simultánea de las mediciones de diferencia de presión, temperatura, caudal volumétrico, etc. de los sensores apropiados en la sección de medición 30. De esta manera, el sistema 10 está configurado para combinar una caída de presión medida, que se usa para determinar el perfil de estrés de corte con el perfil de tasa de corte correspondiente obtenido a partir del perfil de velocidad para determinar las propiedades reológicas, como se describe a continuación.

Además, el sistema 10 está configurado para determinar la velocidad promedio instantánea del sonido en el fluido a lo largo de cada haz de transductor o eje de medición 43 usando, por ejemplo, mediciones de tiempo de ejecución entre los dos transductores 40, 42. La atenuación de la energía acústica de los ultrasonidos en el fluido a lo largo de cada eje de haz de transductor 43 se mide también. Esta información se usa para calcular, por ejemplo, la posición radial de las diversas regiones de muestra, la concentración de sólidos y el caudal volumétrico, que también puede obtenerse a partir de la integración de los perfiles de velocidad medidos y por el método diferencial de transmisión-tiempo (impulsiones predesencadenadas).

Se apreciará que el método puede usar métodos diferenciales de tránsito-tiempo usando dos transductores montados en lados opuestos (como con la presente invención) y usando un transductor para transmitir y el otro para recibir y viceversa, registrando de este modo las mediciones de tiempo de ejecución con y en contra de la dirección del flujo de fluido. Esta información puede usarse para determinar el caudal volumétrico si se asume un perfil de velocidad de flujo para el fluido específico bajo investigación. Se observará que la combinación de la integración del perfil de velocidad y el método de tránsito-tiempo puede usarse con el fin de obtener caudales más precisos.

El sistema 10, específicamente la electrónica y los elementos de procesamiento de señal 80, comprenden ventajosamente un procesador 94 para dirigir el funcionamiento del sistema 10, especialmente los elementos 80. La electrónica y los elementos de procesamiento de señal 80 pueden incluir un medio o memoria legible por máquina 96, por ejemplo, una memoria en el procesador 94, una memoria principal, y/o una unidad de disco duro, que lleva un conjunto de instrucciones o software de control como se ha mencionado anteriormente para dirigir el funcionamiento del procesador 94. Debería entenderse que el procesador 94 puede ser uno, más, o una combinación de microprocesadores, controladores, procesadores de señales digitales (DSP), matrices de puertas programables en campo (FPGA), o cualquier otro dispositivo informático adecuado, recursos, hardware, software, o lógica integrada.

Las instrucciones pueden ser un software de control o un software de control integrado.

Con referencia a la figura 11 de los dibujos, el procesador 94 comprende normalmente uno o más módulos que corresponden a las tareas funcionales a realizarse por el procesador 94. A este respecto, "módulo" en el contexto de la especificación se entenderá que incluye una sección identificable de código, instrucciones computacionales o ejecutables, datos u objetos computacionales para lograr una determinada función, funcionamiento, procesamiento o procedimiento. De ello se desprende que un módulo no tiene por qué implementarse en software; y en otras realizaciones de ejemplo (no tratadas adicionalmente) un módulo puede implementarse en software, hardware, o una combinación de software y hardware. Además, los módulos no necesitan necesariamente consolidarse en un solo sistema, sino que pueden extenderse a través de una pluralidad de sistemas.

Se observará adicionalmente que en lugar, o además, ciertos componentes de la electrónica y los elementos de procesamiento de señal 80 se suministran como componentes discretos y se describen como tales, el procesador 94 puede comprender también algunos de estos componentes como los módulos de código que se han descrito anteriormente en el presente documento, por ejemplo, los diversos filtros descritos en el presente documento.

En cualquier caso, el procesador 94 comprende un módulo de estimación de velocidad 98 configurado para aplicar uno o más algoritmos de determinación de velocidad a las señales de reflexión recibidas o a los datos indicativos de las mismas, para determinar el perfil de velocidad del flujo de fluido 34 en la tubería. El módulo de estimación de velocidad 98 puede configurarse para aplicar simultáneamente una pluralidad de algoritmos de determinación de velocidad para determinar el perfil de velocidad. Los algoritmos de determinación de velocidad pueden ser

algoritmos de dominio de tiempo y de dominio de frecuencia que se aplican sustancialmente a la misma vez para mejorar la precisión y la calidad de los perfiles de velocidad medidos (la información espectral y la estimación de velocidad).

5 Se conoce cómo determinar o estimar los perfiles de velocidad de los fluidos que fluyen de las señales de eco de retorno/muestreadas, por ejemplo, por el algoritmo de Burg y un método de FFT compleja. El algoritmo de Burg (un método autorregresivo) proporciona un espectro de potencia con menor varianza (mayor precisión en la estimación de la frecuencia de Doppler). Sin embargo, cuando se considera el perfil espectral completo, es ideal tener acceso a los dos métodos, ya que la FFT puede usarse para el análisis espectral detallado de las señales Doppler.

10 Determinar la frecuencia Doppler correcta de una señal con una gran dispersión espectral y baja relación señal-ruido puede ser extremadamente complicado y por lo tanto, los científicos están siempre interesados en las técnicas de procesamiento de señales alternativas. Se ha descubierto que las técnicas de procesamiento de señal de dominio de tiempo se realizan bien en un amplio intervalo de relaciones de señal-ruido que en comparación con los métodos de FFT convencionales.

15 Los algoritmos de dominio de tiempo pueden separarse en (i) estimadores de desplazamiento de fase que emplean técnicas de autocorrelación de la señal de banda base y (ii) estimadores de desplazamiento de tiempo que usan frecuentemente la correlación cruzada de la señal de RF para seguir el movimiento de los dispersores 44 en el medio de fluido 34. En cualquier caso, se apreciará que con la disponibilidad de dos algoritmos, el método de FFT para el análisis espectral y el algoritmo del método autorregresivo de Burg para la frecuencia de pico, respectivamente, la velocidad de flujo sería ideal.

20 La señal de reflexión recibida se digitaliza convenientemente para su procesamiento por el módulo 94. Además, se apreciará que el módulo 94 se configura convenientemente para aplicar los algoritmos para detectar la frecuencia de desplazamiento de Doppler o el retardo de tiempo y estos pueden dividirse en algoritmos de dominio espectral (FFT) y de tiempo.

25 La electrónica y los elementos de procesamiento de señal 80 tienen acceso directo convenientemente a los "datos en bruto" de los transductores 40 y 42 para permitir un mayor control de los niveles de calidad de señal y amplificación de ganancia, la detección de perturbaciones de señal, así como la corrección del fenómeno de solapamiento.

30 En cualquier caso, como se ha mencionado anteriormente, el módulo 94 está configurado para determinar el perfil de velocidad del flujo de fluido 34 en el dominio de tiempo o de frecuencia, seleccionable opcionalmente por un usuario del sistema 10. Una señal Doppler compleja está dada por:

$$f(t) = I(t) + iQ(t),$$

(Ecuación 1)

40 en la que $I(t)$ y $Q(t)$ son los componentes de señal de en-fase y co-fase, respectivamente. La transformada de Fourier de la señal Doppler se calcula de la siguiente manera:

$$\hat{f}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt,$$

(Ecuación 2)

45 y el espectro de potencia $S(\omega)$ está dado por:

$$S(\omega) = \widehat{f^*}(\omega)\hat{f}(\omega).$$

(Ecuación 3)

50 El módulo 94 que implementa el algoritmo de dominio de frecuencia está configurado para implementar el algoritmo de Burg, un método de estimación espectral paramétrico, que determina una estimación del espectro de potencia de la señal de eco compleja (señal de reflexión) construida a partir de los datos de eco (datos en bruto) de en-fase (I) y co-fase (Q). La frecuencia Doppler correspondiente al punto o pico de máxima potencia se selecciona por el módulo 94 para la estimación de velocidad y se calcula por:

$$v = \frac{c f_d}{2 f_e \cos \theta'}$$

(Ecuación 4)

5 El algoritmo de dominio de tiempo aplicado por el módulo 94 determina el desplazamiento de frecuencia Doppler en términos de los componentes medidos y Q de la señal Doppler experimental compleja (por ejemplo, de Barber, W.D., Eberhard, J.W. y Karr, S.G. 1985. "A New Time Domain Technique for Velocity Measurements Using Doppler Ultrasound". IEEE Transactions on Biomedical Engineering, BME-32 (3): 213-229):

$$f_d = \frac{1}{2\pi PRF} \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^M (Q_i * I_{i-1} - Q_{i-1} * I_i)}{\sum_{i=1}^M (I_{i-1} * I_i + Q_{i-1} * Q_i)} \right)$$

(Ecuación 5)

10 Este enfoque se basa en la expresión para la tasa instantánea de cambio de fase que separa los términos que varían rápidamente de los que varían lentamente. Esta técnica se basa únicamente en el procesamiento de señales en el dominio del tiempo, lo que la hace ventajosamente de manera significativa más sencilla de implementar en relación con el enfoque de FFT clásico.

15 Esto sigue usando varios algoritmos de estimación de velocidad (dominio de tiempo y dominio de frecuencia) al mismo tiempo, el módulo 94 proporciona ventajosamente una precisión y calidad mejoradas de los perfiles de velocidad medidos.

20 Los perfiles de velocidad como se determinan por el módulo de velocidad 94 no se conocen en general con la suficiente precisión como resultado del efecto de las características de volumen de muestra finitas y la propagación a través de los límites sólidos o capas de material de pared. Se entenderá que esto podría ser el material de línea de retardo, la placa delantera, o la pared de una tubería.

25 Haciendo referencia a la figura 12, el volumen de muestra 104 tiene una geometría de lágrima o en forma de gota. Durante un corto pulso de accionamiento los ultrasonidos aumentan la intensidad de la onda de manera exponencial hasta el final del pulso eléctrico seguido de un decaimiento gradual debido a la fase de zumbido del transductor 40 (un decaimiento exponencial de energía almacenada). Las características del campo de sonido del volumen de muestra 104 están determinadas por las propiedades focales de transductor ultrasónico 40, los dispersores de sonido 44 en el medio de flujo y la sensibilidad de la circuitería del receptor. La señal acústica transmitida por el transductor 40 es una ráfaga acústica y es una región tridimensional de la intensidad del sonido y cualquiera de las partículas de flujo que pasan por esta región produce unas señales Doppler que se detectan por el segundo transductor 42.

35 Ya que están presentes múltiples dispersores 44 fluyendo a velocidades diferentes en el entorno práctico la señal recibida es un espectro de frecuencias que contiene los desplazamientos Doppler de todas las partículas en movimiento 44. El resultado de este ensanchamiento espectral es que, en pequeños tubos/tuberías en los que los gradientes de velocidad son altos, los perfiles de velocidad se distorsionan considerablemente. Esta distorsión se provoca por el promediado que tiene lugar sobre el volumen de muestra 104. Se supone que la velocidad medida es proporcional al promedio de las velocidades dentro del volumen de muestra 104 ponderada por la distribución de intensidad asociada del volumen de medición. Matemáticamente, el perfil de velocidad medido puede expresarse como una convolución tridimensional del perfil de velocidad real con la función de intensidad de volumen de muestra (por ejemplo, de Jorgensen, J.E., Campau, D.N. & Baker, D.W. 1973. "Physical characteristics and mathematical modelling of the pulsed ultrasonic flowmeter". Medical and Biological Engineering, 11 (4): 404-421):

$$v_m(r) = \frac{\int_0^r \int_{z_1}^{z_2} \int_{y_1}^{y_2} v_t(x, y, z) i(r - x, y, z) dx dy dz}{\int_{z_1}^{z_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} i(x, y, z) dx dy dz}$$

(Ecuación 6)

45 en la que r es la variable de intervalo (la distancia a lo largo de la ruta de propagación de ultrasonidos).

50 El procedimiento de convolución puede simplificarse drásticamente suponiendo que el volumen de muestra 104 tiene una sola dimensión, su longitud y que se caracteriza por la intensidad acústica a lo largo del eje de haz ultrasónico 43. Ya que la longitud del volumen de muestra es a la vez su dimensión más grande y es coincidente con la dirección de la convolución y ya que la intensidad es la más alta en el centro del haz, estos supuestos resultan ser razonables (Jorgensen, J.E. & Garbini, J.L. 1974. "An Analytical Procedure of Calibration for the Pulsed Ultrasonic

Doppler Flow meter". Journal of Fluids Engineering, 96: 158-167). A continuación, la ecuación 6 se reduce a una convolución unidimensional:

$$v_m(r) = \int_0^r v_t(x) i(r-x) dx$$

(Ecuación 7)

5 Otra forma de calcular el perfil medido es aplicando el teorema de convolución de tiempo, que establece que la transformada de Fourier de la convolución (*) de dos funciones es igual al producto de las dos transformadas de Fourier ($F(f_1(t) * f_2(t)) = F_1(w)F_2(w)$) en la que F es el operador de la transformada de Fourier y $F_1(w)$ y $F_2(w)$ son las transformadas de Fourier de $f_1(t)$ y $f_2(t)$ respectivamente. Después de unas cuantas transformaciones más, el perfil de velocidad "verdadero" o real puede calcularse utilizando un proceso de deconvolución:

$$v_t(r) = \mathcal{F}^{-1} \left(\frac{V_m(k)}{I(k)} \right),$$

(Ecuación 8)

15 En la que k tiene la dimensión inversa de la coordenada espacial (Flaud, P., Bensalah, A. & Peronneau, P. 1997. "Deconvolution process in measurement of arterial velocity profiles via an ultrasonic pulsed Doppler velocimeter for evaluation of the wall shear rate". Ultrasound in Medicine & Biology, 23 (3): 425-436).

20 A la luz de lo anterior, el procesador 94 comprende ventajosamente un módulo de deconvolución 100 configurado para aplicar un algoritmo de deconvolución al perfil de velocidad determinado por el módulo de estimación de velocidad 98 para determinar un perfil de velocidad deconvolucionado o verdadero del flujo de fluido 34 en la tubería y por lo tanto se corrigen los datos de velocidad erróneos provocados por el tamaño finito de las características de volumen de muestreo del perfil de velocidad determinado.

25 Se hace referencia ahora también a la figura 14, en la que un diagrama de flujo de proceso conceptual del algoritmo de deconvolución aplicado por el módulo 100 está indicado por el número de referencia 110. En primer lugar, el módulo 100 está configurado para recibir y almacenar en la memoria 96, un perfil de velocidad como se determina por el módulo de estimación de velocidad 98, seguido por el parámetro de velocidad del sonido y la forma de onda.

30 El parámetro de velocidad del sonido se determina ventajosamente por el módulo de cálculo de velocidad del sonido 103. El parámetro de velocidad del sonido es la velocidad de la onda de sonido transmitida en el medio de fluido (medida usando los dos transductores montados en oposición 40, 42). El valor de velocidad del sonido se usa para determinar la longitud del volumen de muestra como velocidad = distancia/tiempo. El volumen de muestra (o forma de onda) medida en, por ejemplo, un osciloscopio como una función del tiempo y por lo tanto hay una necesidad de convertir el eje de tiempo sobre el que se mide el volumen de muestra a la distancia (debido a que el perfil de velocidad es una función de la distancia radial), para facilidad del cálculo posterior.

40 Por otra parte, la forma de onda es la señal medida real, es decir, una señal sinusoidal. La ventana de muestra se determina a partir de la forma de onda determinando la envolvente de la forma de onda y a continuación normalizando la ventana de muestra.

Se hace referencia ahora a la figura 13, que muestra una ventana de muestreo 106 (la envolvente de la forma de onda) construida a partir de una forma de onda medida (volumen de muestreo) usada por el módulo 100.

45 Se apreciará que la 'ventana de muestra' no es el 'volumen de muestra' (forma 3D), sino la envolvente de la medición de forma de onda de 2D (mostrada en la figura 13). La zona de la ventana de muestra se determina (por integración) como la ventana que entra y sale de los límites de pared de tubería, por lo tanto la zona de la ventana en la entrada y la salida no será estable cuando no se localiza toda la ventana dentro de la zona de flujo. En otras palabras, la forma de onda es simplemente la envolvente de la señal de ultrasonidos transmitida por el transductor (que se recibe por el transductor opuesto o viceversa). El 'volumen de muestra' es una expresión usada para describir el pulso de onda de presión física que se transmite en el medio de fluido, es decir, en realidad es la envolvente de la forma de onda medida girada alrededor de su eje horizontal (véase la figura 13) para formar una 'lágrima' 3D (véase la figura 12).

55 Como un aparte, se apreciará que la ventana 106 se describe mediante la envolvente de la subida y el decaimiento exponencial de las intensidades que se localizan en el eje de volumen de muestra. El sistema determina la ventana de muestra usada para la deconvolución, es decir, la longitud real de la ventana en metros, así como la envolvente normalizada de la forma de onda medida (que se mide en tensión frente al tiempo usando, por ejemplo, un osciloscopio u otro medio).

- La forma y la longitud de la ventana de muestreo 106 controla significativamente el desenlace del procedimiento de deconvolución implementado por el módulo de deconvolución 100, es decir, cualquier error resultará en un perfil deconvolucionado que contiene gran cantidad de ruido y distorsión. La magnitud del perfil de velocidad deconvolucionado también es específicamente sensible a la forma y el área general de la ventana de muestreo 106.
- 5 Por lo tanto, la técnica descrita de monitorizar continuamente la ventana de muestreo 106 es especialmente importante cuando la forma y la longitud de la ventana varían de acuerdo con la velocidad del sonido en el medio, la temperatura, la densidad, así como las propiedades de atenuación de un fluido de ensayo específico.
- Para mayor claridad con respecto a la ventana de muestreo continuo 106, se observará que un transductor 40 transmite una onda en el medio de fluido y el transductor opuesto 42 recibe la forma de onda que se registra digitalmente para su procesamiento. Esto puede monitorizarse de manera continua en ambas direcciones (el transductor 42 transmite y el transductor 40 recibe).
- 10
- En cualquier caso, los elementos electrónicos 80, o el procesador 94, están configurados para normalizar la forma de onda o ventana de muestreo 106 antes de que el módulo 100 implemente el algoritmo de deconvolución con el fin de corregir los datos de velocidad erróneos provocados por la convolución de la ventana de muestreo finita y el perfil de flujo verdadero en la tubería o en otra geometría.
- 15
- En particular, la ventana de muestreo normalizada se determina a partir de la forma de onda medida detectando una envolvente de la forma de onda medida (la ventana de muestra) y dividiendo todos los puntos de muestra en la ventana de muestra por el valor de magnitud máximo de la ventana de muestra.
- 20
- Una longitud de la ventana de muestra se determina a continuación, multiplicando un eje de tiempo con la velocidad medida del parámetro de sonido.
- 25
- El perfil de velocidad registrado y la ventana de muestra determinada se vuelve a muestrear a continuación de manera que el número de muestras corresponde a las distancias correctas de la ventana de muestra y la distancia radial del perfil de velocidad almacenado.
- 30
- En cualquier caso, el módulo 100 está configurado para multiplicar, en el bloque 112, el perfil de velocidad medido o el perfil Doppler (ilustrado como 111) por la integral de la ventana de muestreo 106 dentro del campo de flujo, para explicar la función de normalización en la suposición primaria del modelo, para obtener de este modo un primer producto de multiplicación. Este no es un valor estable, porque tras la entrada y la salida solo una parte de la ventana de muestreo 106 está contenida dentro del campo de flujo. Por razones de brevedad, se apreciará que el "campo de flujo" es el flujo a través del diámetro de tubería, a medida que la ventana de muestra se desplaza desde el transductor a través del diámetro de tubería. La ventana de muestra no estará contenida inicialmente por completo dentro de la región de flujo, lo mismo vale para cuando la ventana sale del lado opuesto de la región de flujo, la ventana se desplaza desde la superficie del transductor a través del diámetro de tubería y sale de la misma.
- 35
- El módulo 100 se configura a continuación para aplicar, en el bloque 114, un algoritmo de transformada rápida de Fourier (FFT), específicamente una transformada discreta de Fourier (DFT), al primer producto de multiplicación para obtener un primer resultado de FFT. El módulo 100 se dispone también para aplicar un algoritmo de FFT, en el bloque 116, al volumen de ventana de muestra/de muestra 106 para obtener un segundo resultado de FFT.
- 40
- A continuación, el módulo 100 se configura convenientemente para dividir, en el bloque 118, el primer resultado de FFT por el segundo resultado de FFT para obtener un primer cociente de división.
- 45
- Esto puede repetirse opcionalmente como se ha descrito anteriormente y como se ilustra de acuerdo con el remuestreo mencionado anteriormente.
- 50
- El módulo 100 se configura también para aplicar, en el bloque 120, un filtro de paso bajo (ilustrado como 121) al primer cociente de división para obtener un primer cociente de división filtrado de paso bajo. De esta manera, el ruido no deseado se elimina con un filtro de paso bajo digital antes de usar el perfil deconvolucionado final para el análisis de flujo detallado. Se observará que, como una opción, el perfil o los datos sin procesar pueden usarse también para otros cálculos.
- 55
- El módulo 100 se configura también para aplicar, en el bloque 122, una FFT inversa (IFFT) al primer cociente de división filtrado de paso bajo para obtener el perfil de velocidad deconvolucionado, en el bloque 124. Un filtro de suavizado se aplica en el bloque 125 con el fin de eliminar el ruido no deseado y mejorar la calidad de los datos, ilustrándose el perfil de velocidad deconvolucionado resultante en el bloque 126.
- 60
- El módulo 100 se configura también convenientemente para calcular, en el bloque 108, el volumen de muestra 106 como se ha descrito anteriormente en el presente documento.

Ventajosamente, las etapas de deconvolución realizadas por el módulo 100 requieren solamente la información del perfil medido y la longitud y la forma de la ventana de muestreo. No se requiere ningún conocimiento anterior de la naturaleza del perfil de velocidad verdadero.

5 Con los perfiles de velocidad deconvolucionados determinados y los perfiles de velocidad determinados, así como las mediciones del sensor, el sistema 10 puede determinar convenientemente las características del flujo de fluido 34 en una tubería. Con este fin, el sistema 10, normalmente el procesador 94, comprende un módulo de caracterización de fluidos 102 configurado al menos para determinar las características de fluidos, los parámetros reológicos, etc. del flujo de fluido 34 usando las entradas recibidas de los sensores 60, y 64, así como de los perfiles de velocidad determinados, y los perfiles de velocidad deconvolucionados.

10 El módulo de caracterización de fluidos 102 puede configurarse para determinar la distribución de tasa de corte sustancialmente de manera simultánea a partir de una medición de la diferencia de presión del sensor de presión 60. En particular, el módulo de caracterización de fluidos 102 puede configurarse para usar la diferencia de presión del sensor de presión 60 en combinación con el perfil de velocidad deconvolucionado para determinar las viscosidades de corte y los parámetros del modelo reológico.

15 El módulo de caracterización de fluidos 102 puede configurarse para determinar las viscosidades de corte y los parámetros del modelo reológico por ajuste no lineal de los perfiles de velocidad determinados y las diferencias de presión medidas para los modelos reológicos. Como alternativa, y preferentemente, el módulo de caracterización de fluidos 102 puede configurarse para usar un enfoque sin modelo, conocido como el método del gradiente, para determinar la distribución de tasa de corte de un gradiente de velocidad de los perfiles de velocidad determinados y, opcionalmente, un estrés de corte en una pared de la tubería 46, por ejemplo, a través de una interpolación segmentaria cúbica o un ajuste de modelo polinómico de seguido por una derivación numérica.

20 En cualquier caso, se apreciará que el módulo 102 puede configurarse para determinar el estrés de corte en la pared (y por lo tanto también la distribución) a partir de la caída de presión a través de una distancia fija, sabiendo también el diámetro de la tubería.

25 Se apreciará que, por otro lado, la distribución de tasa de corte puede determinarse por el módulo 102 de dos maneras; 1) unos modelos matemáticos que describen la distribución de velocidad en una tubería como una función del radio son bien conocidos y pueden derivarse (ley de potencias, Bingham, Herschel-Bulkley etc.). Los perfiles de velocidad deconvolucionados determinados anteriormente pueden ajustarse de este modo a dicho modelo.

30 Como alternativa, 2) cualquier otra ecuación matemática capaz de describir una forma algo parabólica (polinomio, potencia, segmentación cúbica, etc.) puede usarse por el módulo 102 para describir el perfil deconvolucionado. Sin embargo, un problema importante con, por ejemplo, los polinomios de alto orden y las segmentaciones es que son propensos a las fluctuaciones, lo que resulta en la descripción inexacta de los perfiles deconvolucionados si los datos contienen ruido (que es a menudo el caso). Por lo tanto, el módulo 102, usa ventajosamente otro procedimiento que implica, por ejemplo, un filtro de suavizado que elimina las fluctuaciones mencionadas y unos resultados en una representación matemática verdadera de los perfiles deconvolucionados.

35 La primera derivada de la distribución de velocidad es la tasa de corte y por lo tanto puede obtenerse de o el procedimiento de ajuste de modelo o directamente del perfil de velocidad usando un enfoque sin modelo, por ejemplo, una interpolación segmentaria cúbica o un ajuste de modelo polinómico seguido por una derivación numérica. También debería observarse que el procedimiento de ajuste de modelo puede omitirse y por lo tanto la tasa de corte puede obtenerse por derivación numérica directa.

40 Las viscosidades de corte se obtienen a partir del cociente del estrés de corte sobre la distribución de tasa de corte.

45 Los parámetros del modelo reológico pueden obtenerse por un ajuste no lineal de los perfiles de velocidad determinados y las diferencias de presión medidas para los modelos reológicos.

50 El sistema 10 puede comprender, o el módulo de caracterización de fluidos 102 convenientemente configurado para interactuar con una interfaz de usuario de entrada/salida 87 para proporcionar una información determinada y/o medida a un usuario. La interfaz de usuario 87 puede comprender un ordenador portátil, un PC (ordenador personal), o un dispositivo informático adecuado para recibir información desde el sistema 10 y para proporcionar la misma al usuario, por ejemplo, por medio de un dispositivo de visualización (por ejemplo, un LCD (pantalla de cristal líquido), un LED (diodo de emisión de luz), una pantalla CRT (tubo de rayos catódicos), o similares). La entrada del usuario puede comprender un teclado, un ratón, una pantalla táctil, o similar, para recibir entradas del usuario. La información puede proporcionarse normalmente al usuario por medio de una interfaz gráfica de usuario adecuada (GUI) o una HMI (interfaz hombre máquina) visualizable por la interfaz de usuario 87.

55 Se apreciará que el módulo 102 puede configurarse para mostrar los perfiles de velocidad determinados, los perfiles de velocidad deconvolucionados, las mediciones de presión, y las mediciones de temperatura en un formato visual al usuario por medio de la interfaz de usuario 87. En ciertas realizaciones de ejemplo, el módulo 102 está configurado

- para generar unas gráficas indicativas de los anteriores para mostrar al usuario. El módulo 102 también puede generar unos modelos para la visualización de las características de los fluidos que fluyen en una tubería de interés. Se apreciará que el sistema 10, específicamente la electrónica y los elementos de procesamiento de señal 80, puede comprender un medio para pasar una sección de la señal de reflexión recibida en una ventana de tiempo ajustable con respecto a la forma de onda transmitida (pulso), proporcionando de este modo una señal recibida cerrada que puede filtrarse, demodularse para producir una señal de muestra de desplazamiento de frecuencia y para realizar unas operaciones para determinar el desplazamiento de frecuencia, el retardo de tiempo o de fase asociado con una región de flujo de fluido.
- El procesador 94 puede configurarse para ajustar la ventana de tiempo para determinar la velocidad local en cada volumen de muestreo y completar la distribución de velocidad instantánea como una función de tiempo o de distancia a lo largo de cada línea, eje de medición.
- El procesador 94 puede configurarse también para determinar una o más viscosidades de corte dependientes y los parámetros del modelo del flujo de fluido y para calcular la tasa de corte y la distribución de estrés de corte.
- Se apreciará que el sistema como se describe en el presente documento es capaz de determinar el perfil de velocidad y por lo tanto también los parámetros reológicos en un flujo laminar estable completamente desarrollado, pero también en los flujos intermedios y turbulentos en los que el número de Reynolds es mayor que 2300.
- Las realizaciones de ejemplo se describirán ahora adicionalmente durante el funcionamiento con referencia a las figuras 15 y 16. Los métodos de ejemplo mostrados en las figuras 15 y 16 se describen con referencia a las figuras 1 a 14, aunque debe apreciarse que los métodos de ejemplo pueden aplicarse también a otros sistemas (no ilustrados).
- Se hace referencia en primer lugar a la figura 15 de los dibujos, en la que un diagrama de flujo de un método para la caracterización de los fluidos que fluyen en una tubería se indica en general por el número de referencia 130. El método 130 se realiza normalmente en una planta de procesamiento industrial que comprende unas redes de tuberías que contienen fluidos (por ejemplo, líquidos, emulsiones, suspensiones, lodos, o similares) en las que se desea conocer y visualizar las características de fluido de los fluidos en las tuberías.
- El método 130 comprende emitir, en el bloque 132 por medio del primer transductor de línea de retardo 40, una señal de alta frecuencia en el flujo de fluido 34.
- A continuación, el método 130 comprende recibir, en el bloque 134 por medio del segundo transductor de línea de retardo 42, las señales de reflexión a lo largo del eje 43 de medición en el flujo de fluido 34.
- El método 130 comprende aplicar, en el bloque 136 por medio del módulo de estimación de velocidad 98, uno o más algoritmos de determinación de velocidad a las señales de reflexión recibidas para determinar un perfil de velocidad del flujo de fluido 34 en la tubería bajo investigación/análisis, de una manera descrita anteriormente en el presente documento.
- A continuación, el método 130 comprende aplicar ventajosamente, en el bloque 138 por medio del módulo 100, un algoritmo de deconvolución al perfil de velocidad determinado para determinar un perfil de velocidad deconvolucionado del flujo de fluido en la tubería sustancialmente de la manera como se ha descrito anteriormente.
- El método 130 comprende determinar y registrar, en el bloque 139, la presión como se ha mencionado anteriormente en el presente documento.
- A continuación, el método 130 comprende determinar, en el bloque 140 por medio del módulo de caracterización de fluidos 102, las características de flujo de fluido del fluido que fluye en el medio que define la ruta de flujo de fluido usando los perfiles de velocidad determinados y/o el perfil de velocidad deconvolucionado como se ha descrito anteriormente.
- Se hace referencia ahora a la figura 16 de los dibujos, en la que otro diagrama de flujo de un método de acuerdo con una realización de ejemplo se indica en general por el número de referencia 150.
- El método 150 es un método automatizado y se realiza normalmente en tiempo real. Los parámetros experimentales (datos de eco de RF, velocidad del sonido, presión, temperatura, caudal, formas de onda de pulso, atenuación) se registran usando el dispositivo de adquisición de datos digital 92 con una interfaz a un PC. Como se ha descrito anteriormente, la presente invención es capaz de estimar la velocidad usando unos algoritmos de dominio de tiempo y de frecuencia. Los datos de eco de RF en bruto obtenidos a partir de cada pulso se registran, lo que se usa en los algoritmos de estimación de velocidad, pero también para la visualización y la monitorización del contenido espectral de las frecuencias de desplazamiento de Doppler para controlar la calidad mejorada de las mediciones de velocidad. Los errores provocados por solapamiento también pueden corregirse aplicado un software de corrección de errores (por ejemplo, por medio del procesador 94) a los datos medidos.

Esto es especialmente importante para las aplicaciones de flujo de canal abierto (tratadas a continuación), en las que la técnica UVP necesita medir a través de grandes profundidades de flujo y a velocidades de flujo altas. La técnica UVP sufre de una doble limitación en este sentido ya que las velocidades de flujo altas en los canales abiertos resultan en profundidades de flujo más altas o profundidades de penetración más grandes al mismo tiempo.

Después de la adquisición de datos, la calidad de los datos medidos puede mejorarse aplicando diversos filtros de suavizado (tales como la descomposición en valores singulares, la respuesta de impulsos finita, la respuesta de impulsos infinita y los filtros de movimiento promedio), que pueden seleccionarse por el usuario a través de la GUI de la presente invención. Los instrumentos UVP comerciales emplean normalmente un filtro de paso bajo simple, que se incorpora normalmente en el hardware o el DSP del instrumento. En función de la aplicación, esto podría dar lugar a datos ruidosos y de mala calidad, lo que puede dar lugar a errores significativos en las mediciones del perfil y en última instancia de los parámetros reológicos determinados usando la metodología UVP + PD. El acceso a los diferentes filtros a través de la GUI permite a los usuarios maximizar la calidad de los datos grabados seleccionando un filtro personalizado que funcione mejor para una aplicación específica.

Después de que se calculen y se visualicen los perfiles de velocidad mediante el software se aplica un procedimiento de deconvolución con el fin de corregir los datos y los gradientes de velocidad de pared cercana para el cálculo preciso de los caudales (por integración), así como de los parámetros reológicos. Una vez que se han establecido la precisión y la calidad de los parámetros experimentales (presión, datos de eco de RF, perfiles de velocidad) para estar a un nivel aceptable, los parámetros reológicos, el caudal volumétrico y otros parámetros, tales como las propiedades de atenuación y la concentración de sólidos se calculan por el módulo 102 de una manera convencional. La concentración de sólidos se monitoriza, por ejemplo, monitorizando continuamente el parámetro de velocidad del sonido en el medio de fluido de interés. Por otro lado, la atenuación se monitoriza registrando la forma de onda (tensión frente al tiempo) y monitorizando la magnitud de la energía (o tensión) de la forma de onda. El usuario tiene acceso a diferentes técnicas de ajuste de modelo y a los modelos reológicos (como la ley de potencias, Bingham, Herschel-Bulkley, Sisko, Casson, Cross, Ellis, Carreau o modelos similares).

Las viscosidades de corte y los parámetros del modelo reológico pueden obtenerse de dos maneras: o a partir de un ajuste no lineal de los perfiles de velocidad medidos y los datos de caída de presión para los modelos reológicos adecuados, como se ha descrito anteriormente, o directamente a partir del perfil de velocidad y la caída de presión usando un enfoque sin modelo. La presente invención hace uso principalmente, por medio del módulo 102, del último enfoque, que tiene la ventaja de que no requiere ningún conocimiento "a priori" del comportamiento de flujo de los sistemas de fluidos. También tiene la desventaja de requerir una alta resolución espacial y una alta calidad de datos, lo que puede obtenerse usando los transductores de línea de retardo 40, 42 más la deconvolución.

En una realización, la distribución de tasa de corte se determina a continuación directamente a partir del gradiente de velocidad de los perfiles de velocidad adquiridos, por ejemplo, por una derivación numérica directa o a través de una interpolación segmentaria cúbica o un ajuste de modelo polinómico seguido por una derivación numérica. En la realización preferida, se aplica un filtro de suavizado al perfil de velocidad medido y deconvolucionado para determinar el valor de suavizado para cada punto antes de determinar la distribución de tasa de corte, las viscosidades de corte y/o los parámetros reológicos. La principal ventaja de este enfoque es que conserva las funciones de la distribución, tal como máximo, mínimo y anchura relativos, que están por lo general 'aplanados' por otras técnicas de promediado adyacentes (como por ejemplo, los promedios de movimiento).

Las principales etapas del enfoque sin modelo mencionado anteriormente se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Registrar el perfil de velocidad y la velocidad del sonido
2. Aplicar el filtro de suavizado adecuado para mejorar la calidad de los datos de perfil de velocidad
3. Aplicar un procedimiento de deconvolución, si es necesario
4. Conducir una interpolación segmentaria cúbica o un ajuste de modelo polinómico al perfil de velocidad (esta es una etapa opcional)
5. Aplicar un filtro de suavizado Savitzky-Golay avanzado a los perfiles de velocidad determinados y/o a los perfiles de velocidad deconvolucionados antes de obtener el gradiente de velocidad (distribución de tasa de corte)
6. Aplicar una derivación numérica al perfil de velocidad procesado
7. Calcular la tasa de corte máxima y la distribución de tasa de corte

La técnica de ajuste sin modelo aumenta la precisión general de los parámetros reológicos en línea determinados usando la metodología UVP + PD.

Estos comentarios también se aplican sustancialmente a la metodología UVP + FD descrita a continuación.

Se hace referencia ahora a la figura 17, en la que otra realización o configuración de ejemplo de un sistema, específicamente la sección de medición del mismo requerido para la reología en línea en el flujo de canal abierto no newtoniano, se indica en general por el número de referencia 200.

La sección de medición 200 es similar a la sección de medición 30 y las partes similares se referenciarán con los mismos números de referencia.

Para el flujo de canal abierto en un canal 202, es posible, al igual que para el flujo de tubería (la metodología UVP + PD descrita anteriormente), establecer los parámetros reológicos ajustando los modelos teóricos a los datos experimentales. Solo se requiere una medición de perfil de velocidad en el centro del aforador o canal abierto y la profundidad/altura de flujo correspondiente en el flujo laminar. Este método también usa la tecnología de transductor de línea de retardo como se ha descrito anteriormente en la presente memoria, así como la misma electrónica y los elementos de procesamiento de señales como se han descrito anteriormente.

Los transductores primero y segundo 40, 42 se instalan junto con el sensor de temperatura 64 en una superficie central inferior 204 de un aforador o canal abierto 202. Un sensor de medición de profundidad de flujo 206 se instala por encima de los transductores 40, 42, que puede medir la distancia entre el sensor y el nivel de fluido para medir de este modo la profundidad de flujo del aforador 202. Se apreciará que la distancia total entre la superficie del sensor de distancia 206 se calibra y el nivel de fluido se determina a continuación simplemente restando la distancia calibrada total con la distancia medida.

El sensor 206 es normalmente un sensor de distancia por ultrasonidos o infrarrojos convencional que está configurado para funcionar con precisión en el aire. Se entenderá que la profundidad de flujo necesita medirse con gran precisión ya que este parámetro puede influir significativamente en los parámetros reológicos determinados ajustando el modelo en los datos experimentales. El primer transductor 40 está montado transversalmente, por ejemplo, a 90 grados del flujo de fluido principal 34 para medir la velocidad del sonido registrando el tiempo de ejecución de un pulso ultrasónico que se desplaza a lo largo del eje de medición 43 desde la superficie del transductor ultrasónico 40 hasta la interfaz de líquido/aire de fluido 208 y de vuelta. La interfaz de líquido/aire 208 tiene una gran impedancia acústica que proporciona un buen eco hacia el transductor ultrasónico 40. Sin embargo, esta configuración tiene la desventaja de la onda ultrasónica que tiene que desplazarse dos veces la distancia de profundidad del flujo de fluido, que en los fluidos de atenuación podría provocar problemas. A este respecto, se apreciará que el sistema y el método de medición de la velocidad del sonido en el flujo de tubería (UVP + PD descrito anteriormente) no sufre este inconveniente cuando los dos transductores 40 y 42 están montados en lados opuestos el uno del otro a lo largo del eje de medición 45, en el que un transductor transmite y el otro recibe. También debería observarse que la desventaja mencionada anteriormente puede eliminarse usando un transductor en modo de emisión y de recepción durante las mediciones de la velocidad del sonido.

Se apreciará que el transductor 40 funciona en modo transmisión/emisión, así como en modo de recepción para emitir señales de ultrasonidos en el flujo de fluido 34 y recibir en consecuencia las señales de reflexión.

Opcionalmente otro transductor 42, también configurado para funcionar en modo de transmisión y recepción, puede montarse en un ángulo para la medición de los perfiles de velocidad instantáneos a través de la sección de flujo de aforador. Los datos de velocidad cerca de la interfaz de líquido/aire del eje de medición se distorsionan debido a las múltiples reflexiones de la interfaz de aire, que es inherente en cualquier instrumento o aplicación UVP. En el flujo de tubería esto no importa ya que se requiere solo la mitad del perfil a través de la línea de medición debido a la geometría simétrica de una tubería recta. El comportamiento del flujo en un canal 202 es asimétrico a través de la profundidad de flujo o el eje de medición 47 y por lo tanto los datos de velocidad cerca de la interfaz líquido/aire necesitan corregirse aplicando unas técnicas de procesamiento de señales, tal como la interpolación.

Haciendo referencia a la figura 18, se observará que la corrección a la que se hace referencia es para corregir un aumento y una disminución de las magnitudes de velocidad en la región de la interfaz líquido/aire 300. Los datos asociados a esta región 300 se descartan y estos puntos 'desaparecidos' en esta región se corrigen interpolando a través del perfil medido antes de la interfaz líquido-aire, así como un perfil imaginario representado más allá de la interfaz líquido-aire. El perfil imaginario que se registra se produce debido a múltiples reflexiones ultrasónicas de la interfaz de aire (alta impedancia acústica). Este efecto se conoce como efecto de onda reflejada.

En cualquier caso, las medidas obtenidas por la sección de medición 200 pueden usarse convenientemente por la electrónica y los elementos de procesamiento de señal 80 de una manera similar a como se ha descrito anteriormente en el presente documento, aunque sin aplicación de los elementos UVP + PD como se ha descrito anteriormente en el presente documento.

La presente invención proporciona un sistema UVP + PD independiente, cómodo capaz de una visualización de fluidos en línea y una caracterización reológica. La presente invención podría usarse con una pluralidad de pares de transductores permitiendo de este modo las mediciones a lo largo de varias líneas de medición, lo que permite la monitorización de la simetría de flujo, pero también en combinación con el procedimiento de deconvolución, lo que corrige los datos de velocidad distorsionados provocados por la muestra finita o el volumen de medición a través de las capas límite de material. Los transductores se instalan a nivel con el diámetro interior de la tubería haciendo esta configuración ideal para controlar y monitorizar los procesos industriales. Tener la funcionalidad para determinar los perfiles de velocidad en el flujo de tubería con una alta precisión cerca de las paredes de tubería es también ventajoso ya que esto es crítico para la caracterización precisa de fluido.

- 5 Las propiedades de fluidos tales como la velocidad del sonido y la atenuación de ultrasonidos en el medio también se pueden monitorizar en línea usando dos transductores instalados en direcciones opuestas una de la otra. Además, la presente invención es ventajosamente capaz de estimar los perfiles de velocidad usando varios algoritmos diferentes (dominio de tiempo y de frecuencia), diversos filtros de suavizado y de pared y técnicas de ajuste de modelo avanzadas para mejorar la calidad y la precisión de las mediciones tales como el comportamiento de flujo, los parámetros reológicos, la velocidad del sonido, el SFC, las propiedades de atenuación de fluido, así como los gradientes de concentración de sólidos.
- 10 Los transductores de línea de retardo como se describen anteriormente en el presente documento proporcionan unos pulsos acústicos que pueden penetrar a través de grandes diámetros de tubería comúnmente encontrados en aplicaciones industriales, y al mismo tiempo preservan la forma del haz/pulso (volumen de medición). Permiten además, por primera vez, las mediciones de velocidad precisas directamente desde la parte delantera del transductor y dentro de la capa cercana a la pared.
- 15 Además, la presente invención proporciona un sistema y método que permite mediciones en tiempo real de los perfiles de velocidad radial y las propiedades reológicas, tales como el límite elástico directamente en línea. Tiene ventajas sobre los reómetros de proceso disponibles comercialmente y los instrumentos fuera de línea en ser no invasivo, aplicable a suspensiones opacas y concentradas, teniendo unas dimensiones de sensor pequeñas y un coste relativamente bajo.
- 20 La presente invención proporciona también un sistema y un método para el procesamiento de datos en tiempo real y es capaz de mostrar unos resultados instantáneos, que pueden presentarse en diferentes formatos o especificaciones, por ejemplo, la viscosidad frente a la tasa de corte, el estrés de corte frente a la tasa de corte, las escalas registro-registro, etc. Además, los instrumentos UVP comerciales actuales solo son capaces de estimar las
- 25 velocidades a través del eje de haz ultrasónico usando un algoritmo, en general, integrado en el procesador de señal digital (DSP). Los sistemas existentes también emplean filtros simples y convencionales para la reducción del ruido provocado por la baja relación señal-ruido u otras perturbaciones durante las mediciones, que resultan en datos de ruido y estimaciones de velocidad erróneas. La presente invención y el software es capaz de conmutar entre diferentes algoritmos de estimación de velocidad (dominio de tiempo y dominio de frecuencia) y diferentes filtros,
- 30 opcionalmente seleccionables por el usuario, para mejorar la calidad de los datos, así como la precisión general.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de visualización y caracterización de fluidos (10) que comprende:

5 una sección de medición (30) que comprende un alojamiento (32) que tiene un medio (12) que define una ruta de flujo de fluido (34) para el flujo de fluido, incluyendo la sección de medición (30):

10 al menos un transductor (40) configurado para generar y emitir una señal ultrasónica en el flujo de fluido en el medio (12) que define la ruta de flujo de fluido (34) y dispuesto para usarse junto con un elemento de línea de retardo (41) en contacto con una pared exterior (46) de dicho medio que define una ruta de flujo de fluido (34) en una configuración de medición no invasiva; y

un receptor (42) configurado para recibir unas reflexiones de la señal ultrasónica emitida por el al menos un transductor de línea de retardo (40) de los reflectores en el flujo de fluido;

15 una memoria (96) para almacenar datos; y
un procesador (94) conectado operativamente a la memoria (96), comprendiendo el procesador (94):

20 un módulo de estimación de velocidad (98) configurado para aplicar uno o más algoritmos de estimación de velocidad a las reflexiones recibidas de la señal ultrasónica, o a los datos indicativos de las mismas, para determinar un perfil de velocidad del flujo de fluido en el medio (12) que define la ruta de flujo de fluido (34);

un módulo de deconvolución (100) configurado para aplicar un algoritmo de deconvolución al menos al perfil de velocidad determinado para determinar un perfil de velocidad verdadero del flujo de fluido en el medio (12) que define la ruta de flujo de fluido (34); y

25 un módulo de visualización y caracterización de fluidos (102) configurado para determinar las características del fluido y/o del flujo de fluido en el medio (12) que define la ruta de flujo de fluido (34) usando el perfil de velocidad determinado y/o el perfil de velocidad verdadero,

30 caracterizado por que dicho al menos un transductor (40) está configurado de manera que el punto focal (52) de la señal ultrasónica se localiza en una interfaz líquido-pared de la sección de medición (30), en la que la señal ultrasónica entra en la ruta de flujo de fluido, cuando está en funcionamiento.

35 2. Un sistema (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el receptor (42) incluye un segundo transductor (42) en línea con o adyacente a un primer transductor (40), en el que cada transductor (40, 42) comprende un transductor acústico configurado para una velocimetría de ultrasonidos pulsados.

40 3. Un sistema (10) de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que dicho elemento de línea de retardo (41) está dispuesto para optimizar las características acústicas de dicho al menos un transductor incluyendo una o más de entre: formación de haz, focalización, acoplamiento, adaptación de impedancia, ruta del haz y protección de sensores.

45 4. Un sistema (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el módulo de estimación de velocidad (98) está configurado para aplicar simultáneamente un dominio de tiempo y un algoritmo de dominio de frecuencia a las reflexiones recibidas de la señal ultrasónica, o a los datos indicativos de las mismas, con el fin de determinar el perfil de velocidad del flujo de fluido.

50 5. Un sistema (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el módulo de deconvolución (100) está configurado para:

recibir el perfil de velocidad determinado del flujo de fluido desde el módulo de estimación de velocidad (98), una velocidad del parámetro de sonido, y una forma de onda medida correspondiente a la señal ultrasónica recibida;

aplicar un filtro de suavizado adecuado para mejorar la calidad del perfil de velocidad;

aplicar un procedimiento de deconvolución al perfil de velocidad;

aplicar un filtro de suavizado Savitzky-Golay a los perfiles de velocidad determinados y/o a los perfiles de velocidad deconvolucionados antes de obtener un gradiente de velocidad o una distribución de tasa de corte;

55 aplicar una diferenciación numérica al perfil de velocidad procesado; y

calcular la tasa de corte máxima y la distribución de tasa de corte en el flujo de fluido.

6. Un sistema (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, incluyendo el sistema (10):

60 uno o más sensores de presión absoluta o diferencial (60) para obtener una diferencia de presión entre las localizaciones respectivas a lo largo de una longitud del alojamiento (32); y
uno o más sensores de temperatura (64),

65 en el que el módulo de caracterización de fluidos (102) está configurado preferentemente para usar la diferencia de presión de dichos sensores de presión (60) en combinación con el perfil de velocidad para determinar las viscosidades de corte y los parámetros del modelo reológico del flujo de fluido.

- 5 7. Un sistema (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el sistema (10) comprende un sensor de profundidad de flujo configurado para recibir los datos de profundidad/altura de flujo del fluido que fluye en un canal abierto o aforador (202), estando el sistema (10) configurado para determinar las características del fluido que fluye en el aforador o canal abierto (202) obteniendo un único perfil de velocidad en combinación con una medición de altura/profundidad de flujo.
- 10 8. Un sistema (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el sistema (10) comprende una pluralidad de configuraciones de transductor con el fin de obtener unos perfiles de velocidad en tres dimensiones.
- 15 9. Una red de medios que definen las rutas de flujo de fluido, que incluye un sistema de visualización y caracterización de fluidos (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
- 20 10. Un método para visualizar y caracterizar los fluidos que fluyen en un medio (12) que define una ruta de flujo de fluido (34), comprendiendo el método:
emitir una señal ultrasónica en un flujo de fluido (34) en el medio (12) que define una ruta de flujo de fluido (34) por medio de al menos un transductor (40) (bloque 132);
recibir las reflexiones, de los reflectores en la ruta de flujo de fluido (34), de la señal ultrasónica emitida por dicho al menos un transductor (40) (bloque 134);
aplicar uno o más algoritmos de estimación de velocidad a las reflexiones recibidas de la señal ultrasónica, o a los datos indicativos de las mismas, para determinar un perfil de velocidad del flujo de fluido en el medio (12) que define la ruta de flujo de fluido (34) (bloque 136);
aplicar un algoritmo de deconvolución al perfil de velocidad determinado para determinar un perfil de velocidad deconvolucionado del flujo de fluido en el medio (12) que define la ruta de flujo de fluido (34) (bloque 138); y
determinar las características de flujo de fluido del fluido que fluye en el medio (12) que define la ruta de flujo de fluido (34) usando los perfiles de velocidad determinados y/o el perfil de velocidad deconvolucionado (bloque 140),
caracterizado por que el método incluye hacer funcionar dicho al menos un transductor (40) con un elemento de línea de retardo (41) dispuesto para optimizar las características acústicas de dicho al menos un transductor (40), y disponer dicho al menos un transductor (40) con el elemento de línea de retardo (41) del mismo en contacto con una pared exterior (46) de dicho medio (12) que define una ruta de flujo de fluido (34) en una configuración de medición no invasiva, en el que dicho al menos un transductor (40) está configurado de manera que un punto focal (52) de la señal ultrasónica se localiza en una interfaz líquido-pared de la sección de medición, en el que la señal ultrasónica entra en la ruta de flujo de fluido.
- 30 11. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, comprendiendo el método recibir unas reflexiones y/o unas transmisiones de la señal ultrasónica emitida por el primer transductor (40) por medio de un segundo transductor (42) asociado con el primer transductor (40).
- 35 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que un primer transductor (40) se hace funcionar en un modo de transmisión/recepción y un segundo transductor (42) se hace funcionar solo en un modo de recepción, para la medición de los perfiles de velocidad, la velocidad del sonido y las características acústicas de los fluidos.
- 40 13. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que tanto un primer transductor (40) como un segundo transductor (42) se hacen funcionar en un modo de transmisión/recepción, para la medición de los perfiles de velocidad en lados opuestos de la ruta de flujo de fluido (34), por simetría, la velocidad del sonido, las características acústicas, y el caudal usando un método de cálculo del tiempo de tránsito.
- 45 14. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que un primer transductor (40) se hace funcionar solamente en un modo de transmisión y un segundo transductor (42) se hace funcionar solamente en un modo de recepción para la medición de la velocidad del sonido y las características acústicas.
- 50 15. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el que la aplicación del algoritmo de deconvolución comprende aplicar un algoritmo de enfoque sin modelo que incluye las etapas de:
recibir el perfil de velocidad determinado del flujo de fluido desde el módulo de estimación de velocidad (98), una velocidad del parámetro de sonido, y una forma de onda medida correspondiente a la señal ultrasónica recibida;
aplicar un filtro de suavizado adecuado para mejorar la calidad del perfil de velocidad;
aplicar un procedimiento de deconvolución al perfil de velocidad;
aplicar un filtro de suavizado de Savitzky-Golay a los perfiles de velocidad determinados y/o a los perfiles de velocidad deconvolucionados antes de obtener un gradiente de velocidad o una distribución de tasa de corte;
aplicar la diferenciación numérica al perfil de velocidad procesado; y
calcular la tasa de corte máxima y la distribución de tasa de corte en el flujo de fluido.
- 55 60 65

16. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15, que incluye la medición de una diferencia de presión a lo largo de una distancia fija en el medio (12) que define la ruta de flujo de fluido (34), de manera que una distribución de estrés de corte y un estrés de corte de pared se determinan sustancialmente de manera simultánea a partir de una medición de la diferencia de presión.

5

17. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 16, comprendiendo el método integrar los perfiles de velocidad determinados y/o los perfiles de velocidad deconvolucionados para determinar los caudales volumétricos de los fluidos en el medio.

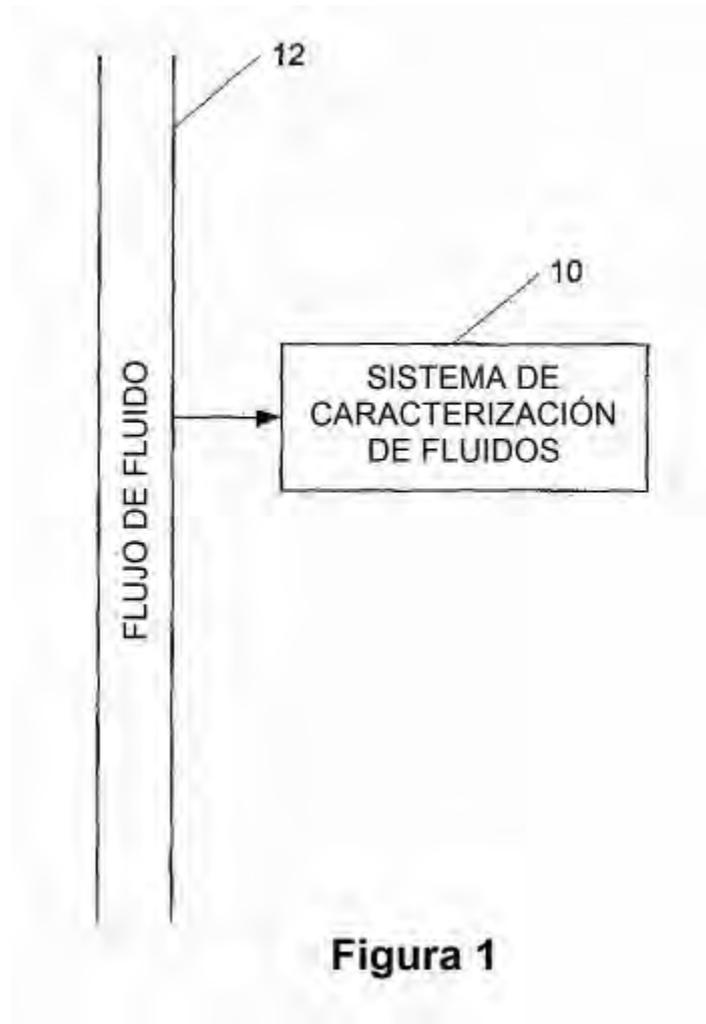


Figura 1

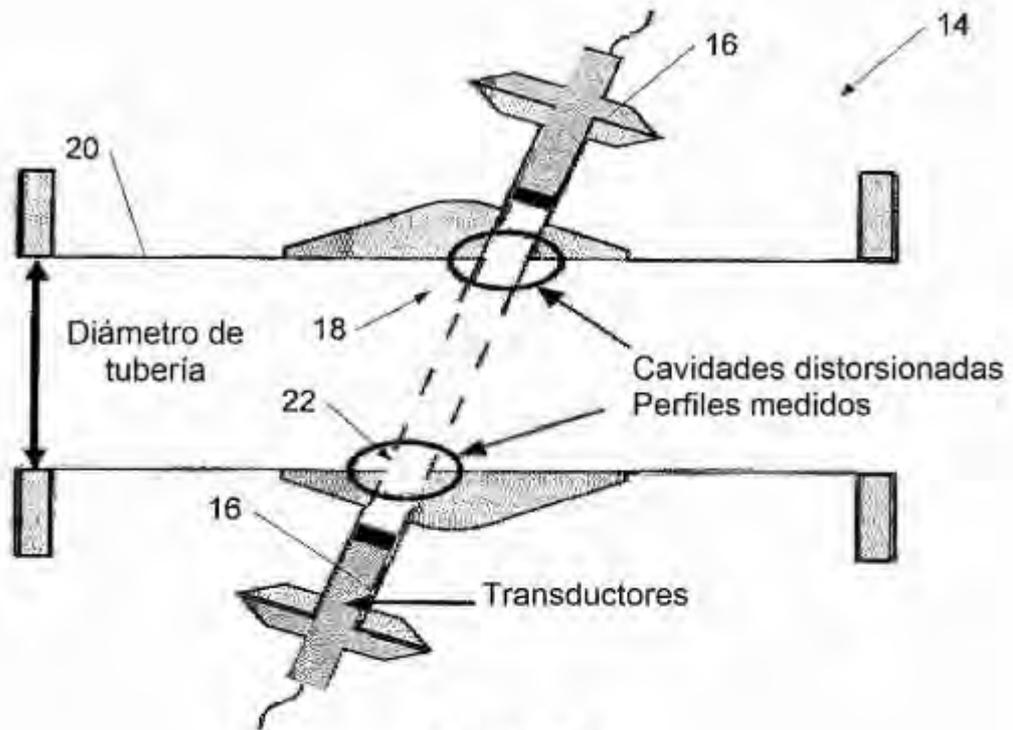


Figura 2

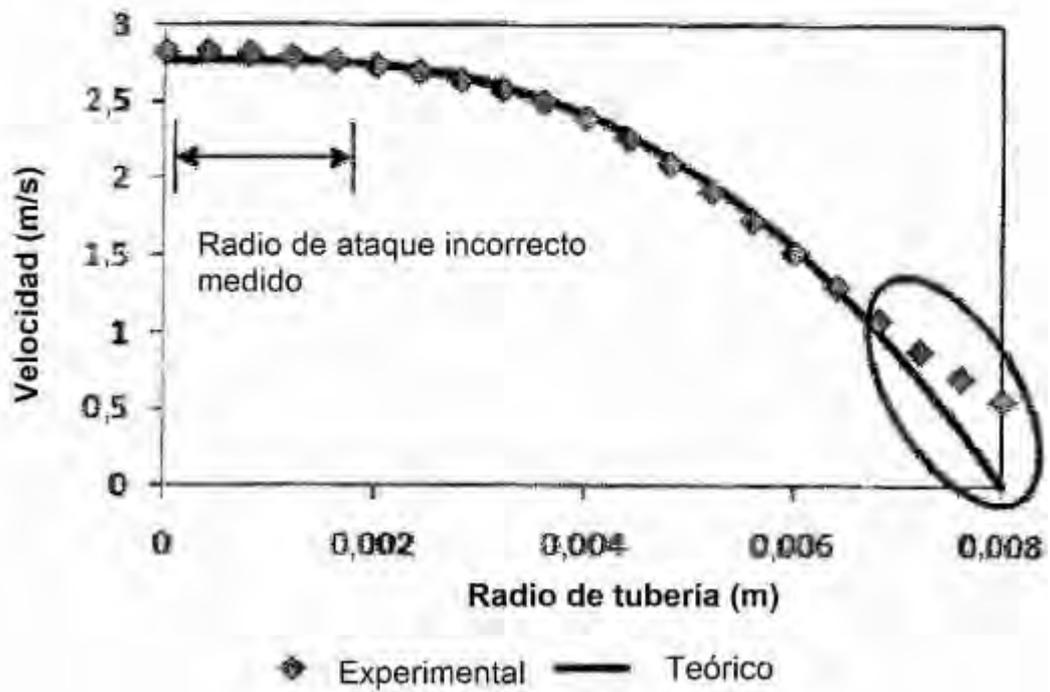


Figura 3

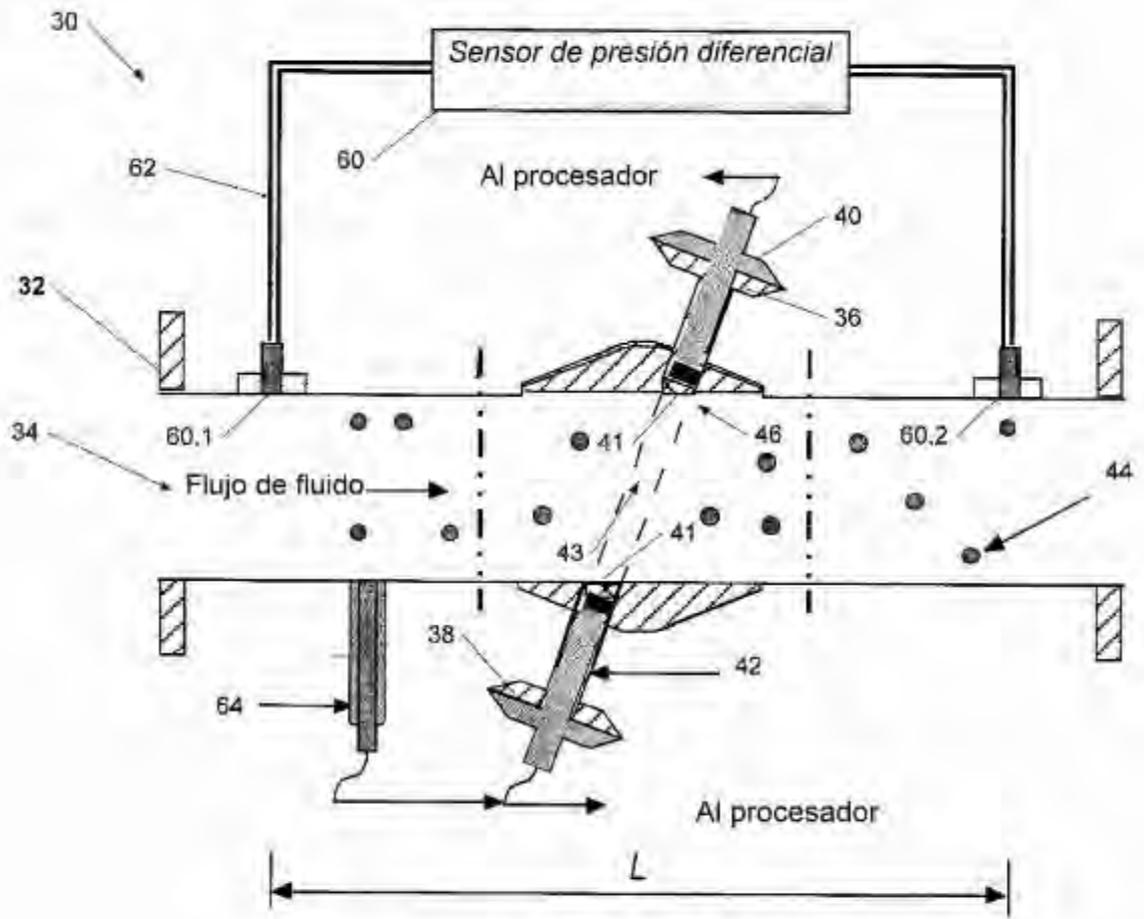


Figura 4

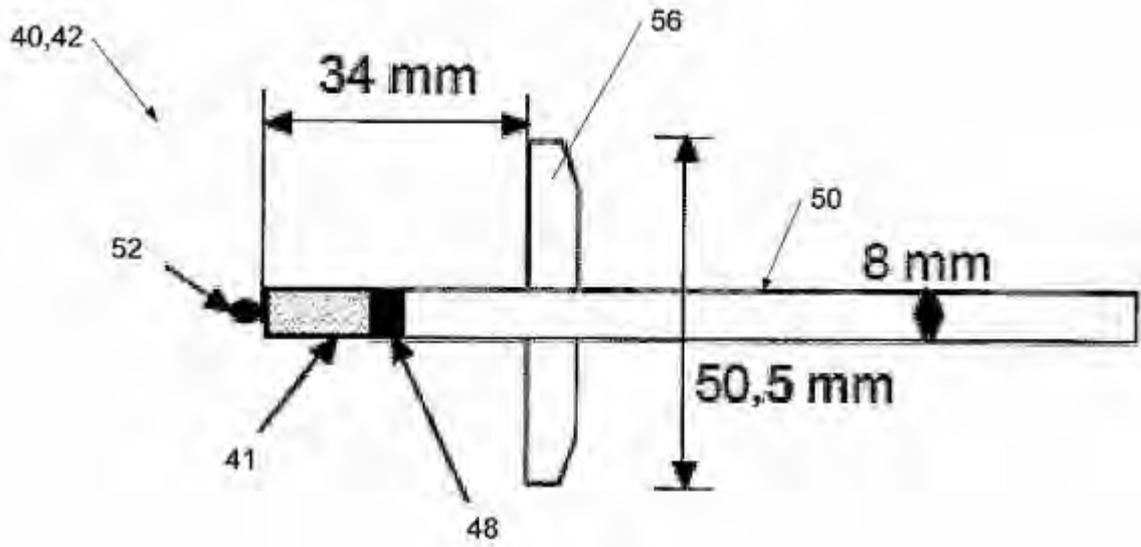


Figura 5

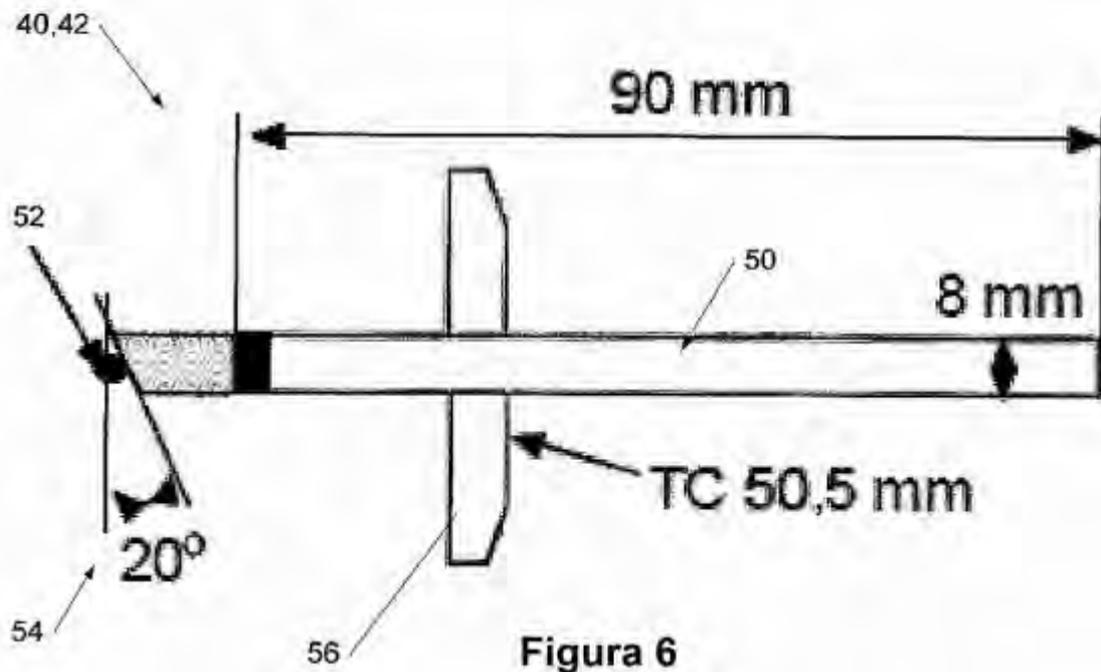


Figura 6

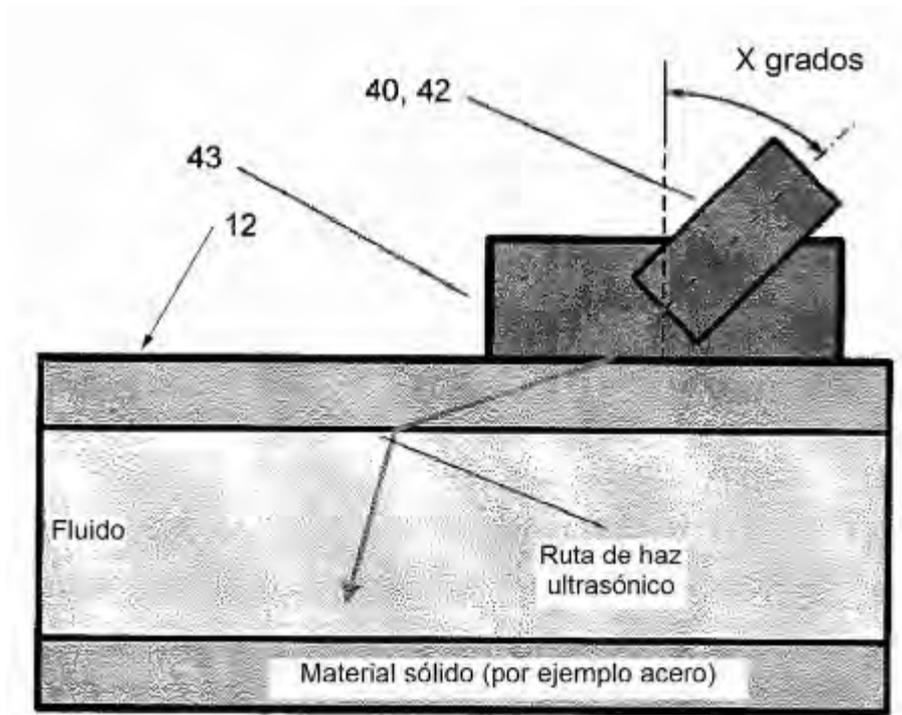


Figura 7

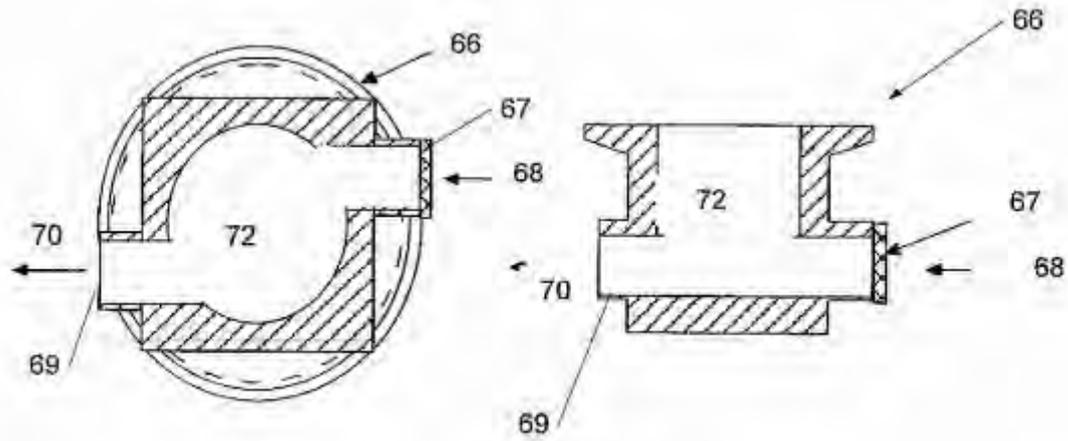


Figura 8

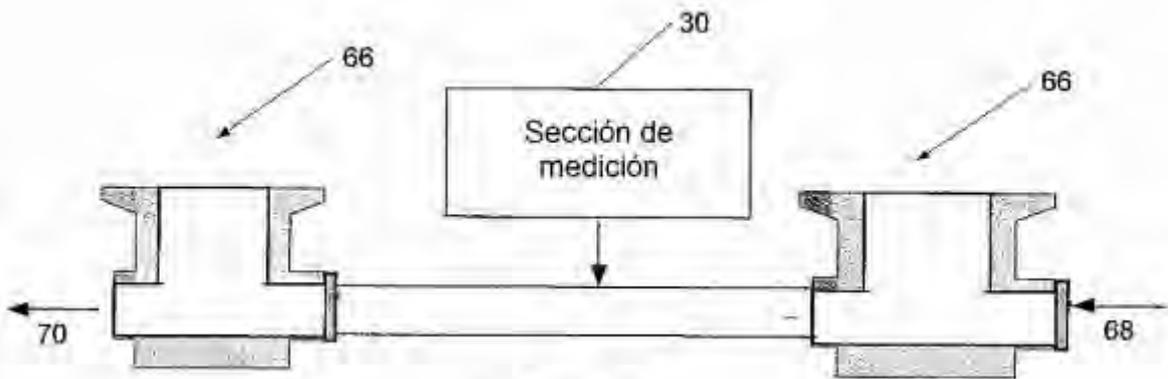


Figura 9

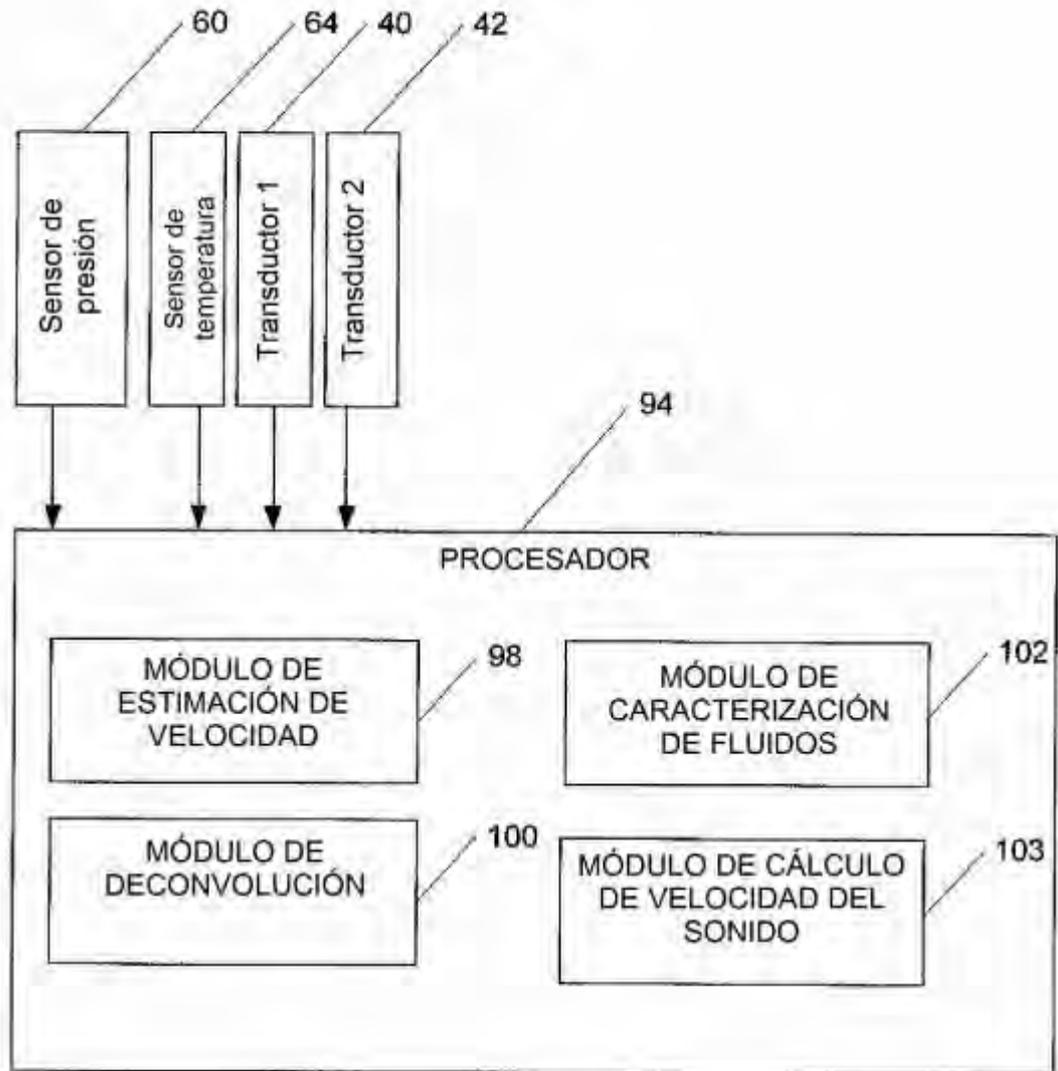


Figura 11

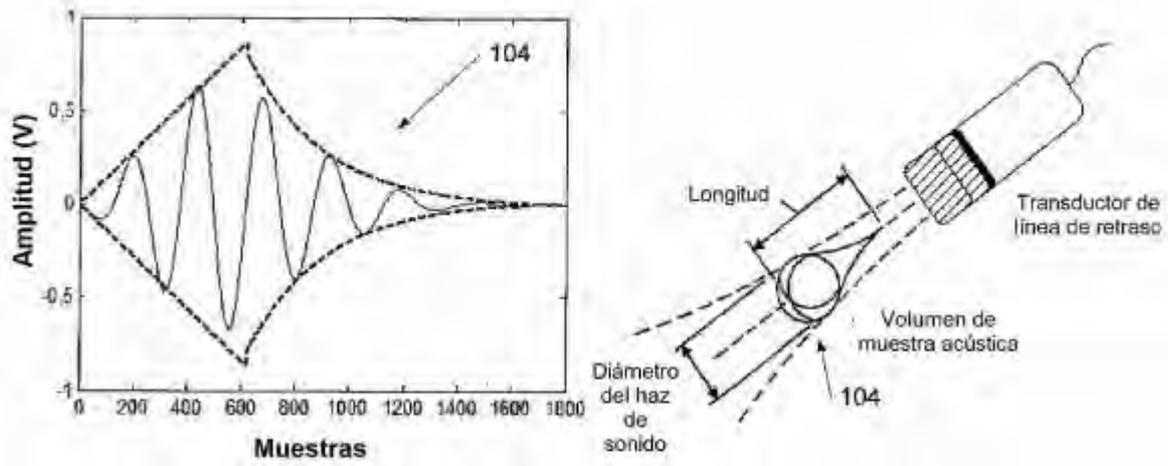


Figura 12

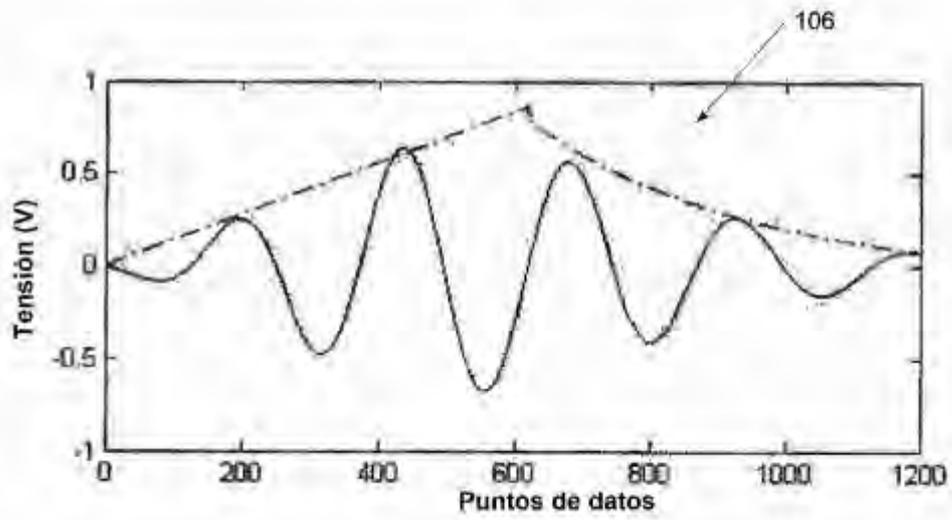


Figura 13

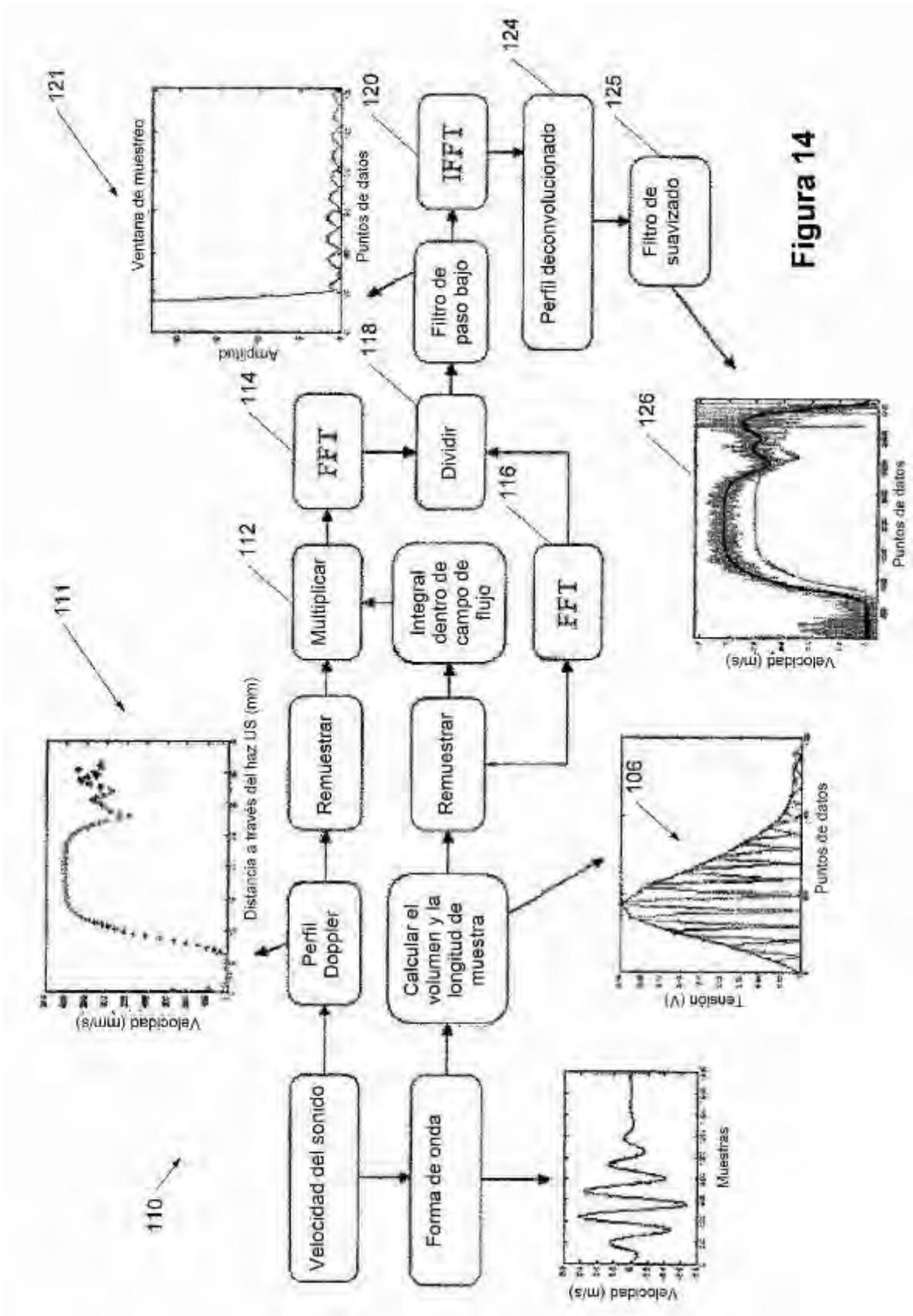


Figura 14



Figura 15

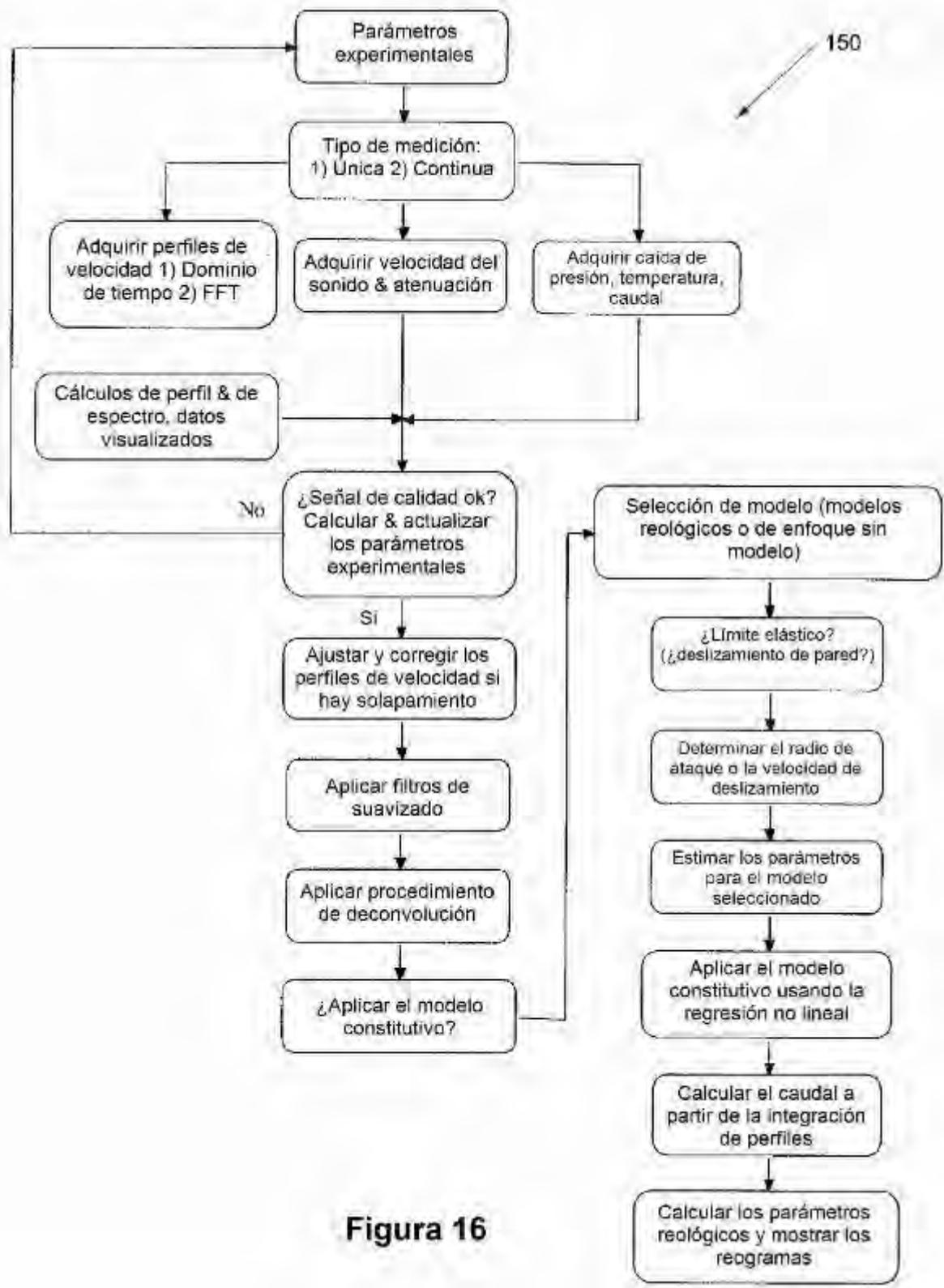


Figura 16

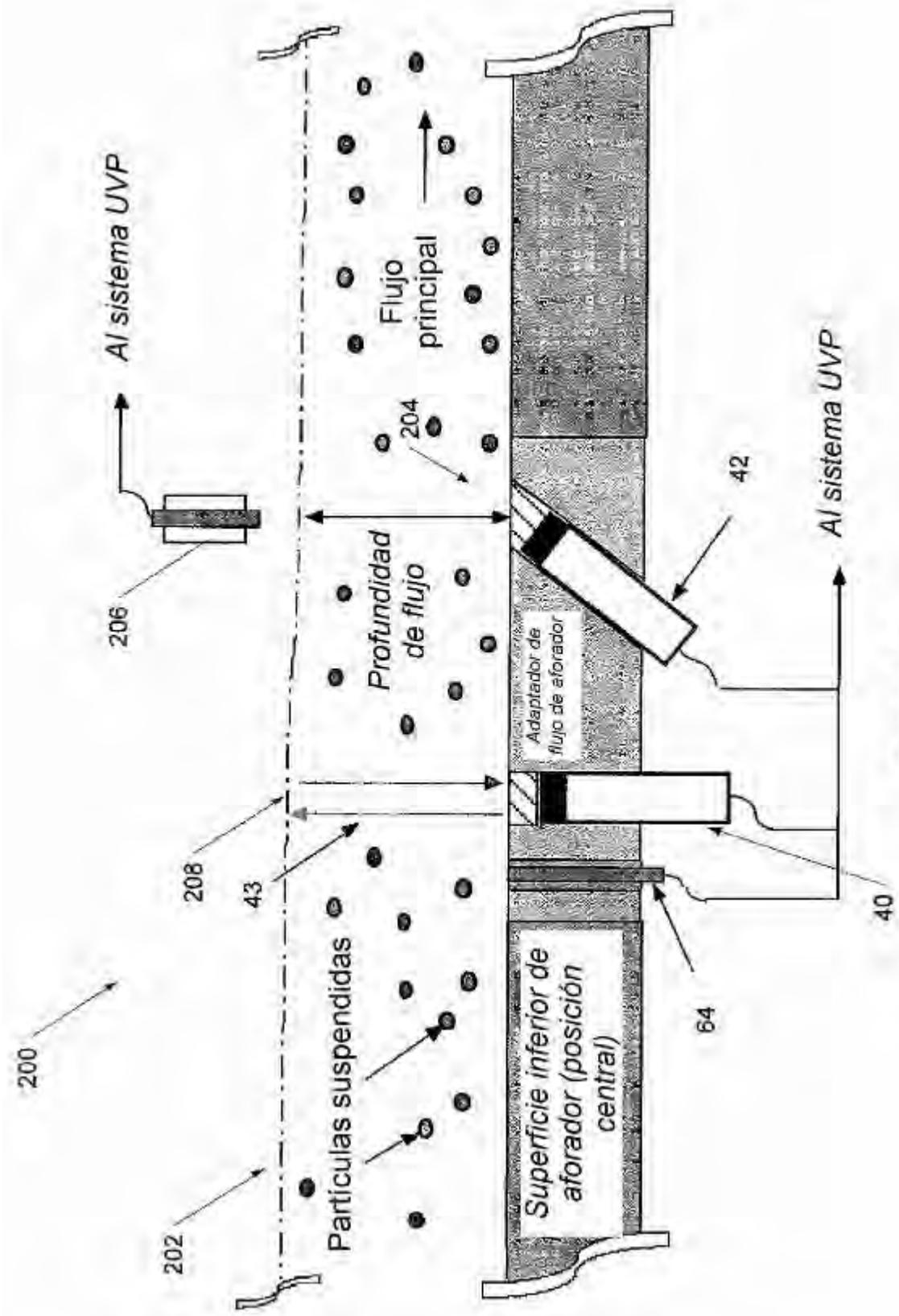


Figura 17

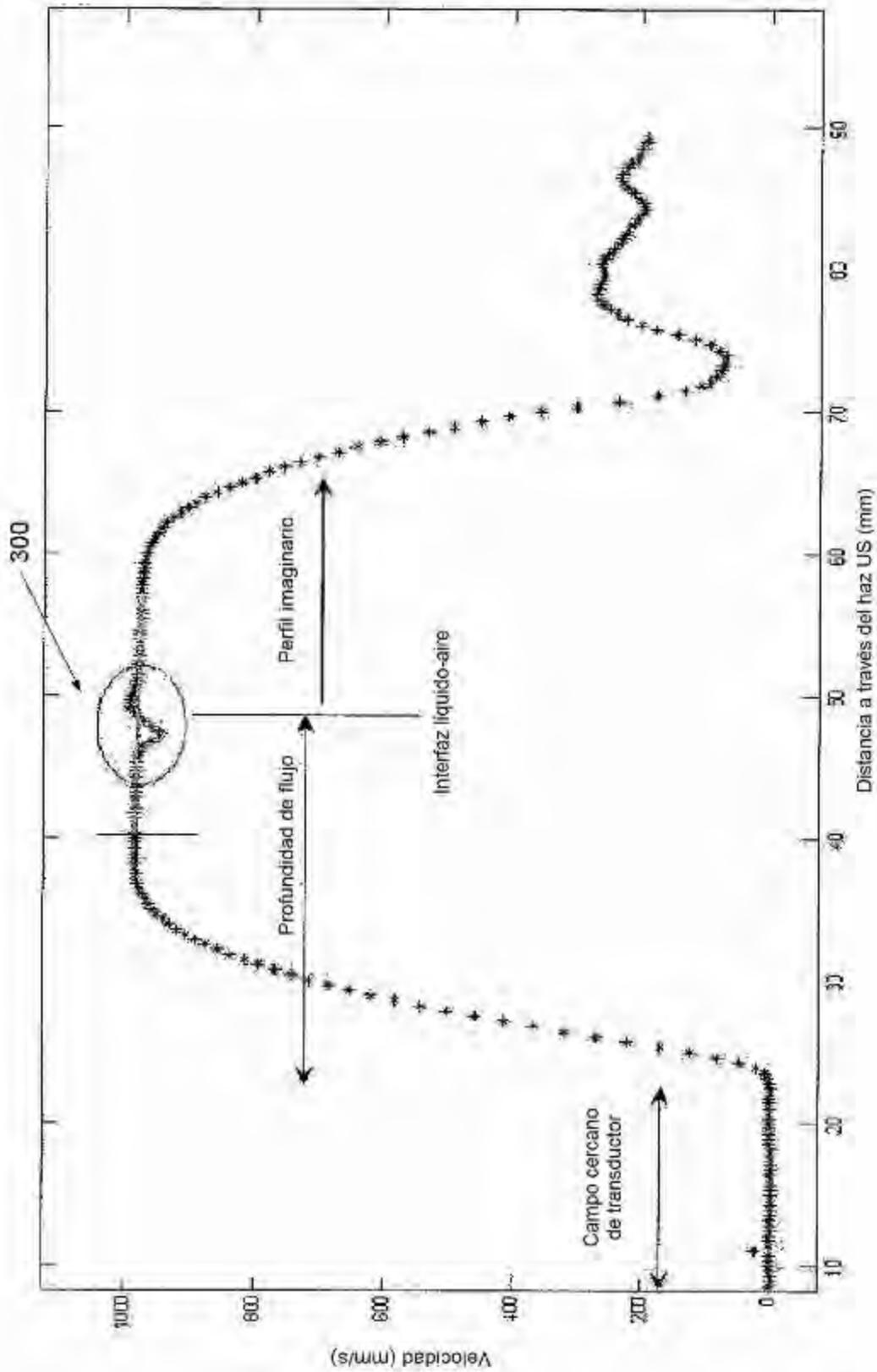


Figura 18