

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 410 030**

51 Int. Cl.:

G01F 1/66 (2006.01)

G01F 1/68 (2006.01)

G01F 1/688 (2006.01)

G01F 1/684 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2008 E 08850404 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2013 EP 2212656**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la determinación del caudal de un fluido circulante**

30 Prioridad:

14.11.2007 DE 102007054186

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

28.06.2013

73 Titular/es:

**DIGMESA AG (100.0%)
KELTENSTRASSE 31
2563 IPSACH, CH**

72 Inventor/es:

**VERJUS, CHRISTOPHE;
RENEVEY, PHILIPPE y
NEUMANN, VICTOR**

74 Agente/Representante:

MIR PLAJA, Mireia

ES 2 410 030 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

Procedimiento y dispositivo para la determinación del caudal de un fluido circulante

- 5 **[0001]** La invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para la determinación del caudal de un fluido circulante según los preámbulos de la reivindicación 1 y de la reivindicación 9.
- [0002]** Son conocidos en distintas configuraciones procedimientos y dispositivos genéricos.
- 10 **[0003]** Así es conocida la técnica de medir la desviación de un haz láser delgado al pasar el mismo a través de una zona de un fluido calentada de otra manera, para así sacar conclusiones acerca de la velocidad del fluido.
- [0004]** Como alternativa es conocida la técnica de medir la velocidad de circulación de un fluido mediante un sistema de detectores dado el caso óptico situado después de un punto de calentamiento dado el caso producido asimismo ópticamente a través del tiempo de recorrido de una zona calentada por breve espacio de tiempo desde el punto de calentamiento hasta el punto de medición.
- 15 **[0005]** Es desventajoso el hecho de que aquí son necesarios dos sitios y equipos de trabajo separados localmente, por una parte para el calentamiento, y por otra parte para la detección del calentamiento.
- 20 **[0006]** La US 4.654.803 prevé una medición de la velocidad de un fluido mediante deflexión fototérmica. Se mide una simple desviación del haz de medición. La US 4.654.803 prevé para ello un procedimiento con un haz de calentamiento que calienta una zona de calentamiento de un fluido, en donde la zona de calentamiento es atravesada por un haz óptico de medición y es detectada mediante un detector de células laterales. Como magnitud a determinar está prevista tan sólo una medición de un valor medio. La disminución de la media de la velocidad es descrita mediante un modelo exponencial, si bien un modelo de este tipo es demasiado sencillo como para poder describir un perfil de intensidad complejo. La publicación impresa mide por lo tanto únicamente la tasa de la deflexión y calcula a partir de la misma la velocidad media del fluido circulante.
- 25 **[0007]** La US 4.213.699 da a conocer un procedimiento para la detección de pequeñas concentraciones de una determinada sustancia (en particular aceite) en un medio transparente, en donde se transmite un haz láser a través del medio. El haz láser es absorbido por la concentración de aceite dentro del medio y el haz es desviado al pasar a través del medio. Mediante una pantalla se determina la focalización o la desviación y su magnitud del haz desviado.
- 30 **[0008]** La publicación impresa, que se ocupa de la determinación de concentraciones de una sustancia en un fluido, indica en sí un recorrido de medición con láser uniaxial para la determinación de determinadas propiedades de un fluido. La publicación impresa usa para la evaluación el ensanchamiento del haz láser de medición a través de la distinta absorción de la sustancia en el fluido.
- 35 **[0009]** La invención persigue la finalidad de crear un procedimiento mejorado y un dispositivo mejorado para la determinación del caudal de un fluido circulante evitando las desventajas anteriormente mencionadas.
- 40 **[0010]** Según la invención la finalidad mencionada se alcanza con un procedimiento de la clase mencionada al comienzo, que además presenta las características distintivas de la reivindicación 1. Para alcanzar la finalidad mencionada la invención prevé además un dispositivo genérico con las características distintivas de la reivindicación 9.
- 45 **[0011]** El vocablo "caudal" designa a una magnitud característica para el mismo, tal como el caudal, la velocidad circulatoria, el flujo volumétrico o magnitudes similares. En la región calentada es inducida térmicamente una lente por una absorción parcial de un haz óptico, tal como un haz láser, en el fluido, y en particular en el agua, cuyo coeficiente de absorción es de $0,46 \text{ m}^{-1}$ para una longitud de onda de 970 nm. La lente, y en particular sus propiedades inducidas por el flujo, son medidas para la determinación de la velocidad circulatoria. La medición se hace por medio de la luz no absorbida del mismo haz láser, con lo cual coinciden el haz de excitación y el haz de medición. El procedimiento es un procedimiento de medición térmica no invasiva y sin contacto de las modificaciones inducidas por el calor de las propiedades ópticas del fluido calentado. La medición se hace en el mismo sitio absoluto como el calentamiento: El sitio de calentamiento y el sitio de medición coinciden pues en el espacio o bien están espacialmente superpuestos. La detección del haz láser se hace mediante un conjunto de detectores con varios detectores individuales (al menos dos), captando al mismo tiempo varios detectores individuales la luz del haz láser incidente. Éste puede ser ensanchado, aparte de por la divergencia producida por la lente térmica inducida por el calor en el fluido, adicionalmente por una lente óptica o por un grupo de lentes ópticas dispuesta(o) fuera del tubo antes del conjunto de detectores. Gracias a ello pueden captarse distintas propiedades de la zona de calentamiento y no tan sólo su desplazamiento (movimiento), sino también su deformación, es decir, su variación de forma en la zona calentada, que viene condicionada por el movimiento circulatorio. Así pues, según la invención no tan sólo se determina globalmente a través de la desviación del haz luminoso el índice de refracción de la lente térmica inducida, sino que se efectúa una medición global dentro de una zona mayor y con ello de sus propiedades, y en particular deformaciones, inducidas por el flujo. El fluido es calentado
- 50
- 55
- 60

(sin contacto) mediante un haz óptico, siendo en particular detectado el haz que calienta el fluido con su luz que pasa a través del mismo.

[0012] Según configuraciones preferidas está previsto que el haz de calentamiento y el haz detector sean emitidos por la misma fuente de radiación, o bien que el haz de calentamiento y el haz detector sean emitidos por distintas fuentes de radiación. En este último caso las fuentes de radiación pueden presentar iguales o distintas gamas de frecuencias. La producción del haz de calentamiento y del haz de detección mediante la fuente luminosa puede hacerse mediante división del haz, mediante filtración por medio de distintos filtros ópticos y/o mediante distinto ensanchamiento por medio de distintas ópticas de reproducción.

[0013] Según ello, el equipo para el calentamiento de una zona del fluido puede ser asimismo una fuente de radiación o de luz, tal como un láser, que coincida con la fuente de luz de medición, siendo además en particular la dirección de los haces tal que el haz de calentamiento y el haz de detección son el mismo, o sea que no se efectúa partición alguna de los haces de una fuente de radiación o de luz.

[0014] En un perfeccionamiento preferido puede estar previsto que el haz de detección tenga un diámetro medio mayor que el del haz de calentamiento.

[0015] El haz óptico puede estar focalizado al interior del tubo y con ello al interior de la circulación de fluido, o bien también al exterior del tubo, o bien puede atravesarlo como haz paralelo.

[0016] Según la invención son realizadas por el conjunto de detectores varias mediciones consecutivas en el tiempo. Cuando como está previsto según una configuración preferida la fuente luminosa es un láser modulado o un láser pulsado, pueden ser efectuadas dentro de un pulso de láser mediciones consecutivas en el tiempo. Gracias a ello puede detectarse el desarrollo temporal del calentamiento en la zona de calentamiento influenciado por la velocidad circulatoria.

[0017] Mientras que fundamentalmente puede estar previsto que la detección se haga mediante un conjunto de detectores lineales, estando entonces prevista la alineación de un conjunto de detectores lineal en la dirección circulatoria, una configuración preferida prevé que la detección se haga mediante conjuntos de detectores bidimensionales, o sea dispuestos en una superficie.

[0018] Perfeccionamientos del procedimiento según la invención prevén que el caudal sea determinado a partir de un perfil recibido del haz óptico, determinándose en particular momentos estadísticos de las señales recibidas, tales como la media, la varianza, la asimetría y/o la curtosis. Cada momento (estadístico) determinado va ligado a una distinta característica de la forma del haz, y con ello de la forma de la lente térmica y con ello de la velocidad circulatoria. Como alternativa a los valores circulatorios a partir del comportamiento exponencial de momentos estadísticos a lo largo del tiempo, puede determinarse un desplazamiento de fase de los momentos estadísticos para una determinada frecuencia de excitación láser. Así puede estar previsto que el desplazamiento del valor medio de la posición del haz óptico sea determinado como medida del caudal y/o que sea determinada la modificación de la varianza del haz óptico con el caudal. Otros perfeccionamientos preferidos de la invención prevén que el haz óptico sea modulado en intensidad y que se determine el desplazamiento de fase de la modulación, que el haz óptico sea modulado con varias frecuencias y/o que el haz óptico sea modulado estocásticamente.

[0019] Adicionales ventajas y características de la invención se desprenden de las reivindicaciones y de la siguiente descripción, en la que se aclaran en detalle ejemplos de realización de la invención haciendo referencia al dibujo. Las distintas figuras muestran lo siguiente:

La Fig. 1, una vista global esquemática del dispositivo según la invención;

las Figs. 2.1 a 2.7, distintas configuraciones de los haces ópticos de calentamiento y de detección que atraviesan el fluido circulante, en parte como rayo paralelo, y en parte focalizados;

las Figs. 3.1 y 3.2, dos configuraciones de la invención con distintas fuentes de radiación para el haz de calentamiento y el haz de detección, en donde éstos en la Fig. 3.1 pasan como haz paralelo a través del fluido y en la Fig. 3.2 están focalizados a una zona dentro del fluido;

la Fig. 4, una representación de las relaciones que guardan entre sí las secciones transversales del haz de medición y del haz calentador, cuando los mismos no coinciden;

la Fig. 5, el desarrollo de la curva de distribución del haz de medición para distintos tiempos en la dirección circulatoria;

la Fig. 6.1, la representación de la media para distintos caudales (en ml/min.);

la Fig. 6.2, la representación de la desviación estándar para distintos recorridos circulatorios (en ml/min.); y

la Fig. 7, una representación de la variación de la relación de fase entre la modulación de partida y la radiación óptica recibida.

[0020] Un dispositivo 1 según la invención presenta un sistema óptico 2, y dispuesta antes del mismo una electrónica de láser 3, un sistema amplificador 4 y un equipo electrónico de evaluación 5, así como un sistema de interfaz 6. Además está prevista una alimentación de corriente 7 para los distintos componentes eléctricos y electrónicos.

- [0021] Pasa a través del sistema óptico 2 un tubo 2.1 que conduce un fluido 8 con al menos en la zona de medición paredes 2.1.1 transparentes para el haz de medición 2.3, que son por ejemplo de vidrio.
- 5 [0022] El sistema óptico presenta un láser 2.2 como fuente óptica de luz, que funciona por ejemplo con una longitud de onda de 970 ± 15 nm y con una potencia de 100 mW. El haz óptico 2.3 o haz láser es paralelizado por medio de una primera lente 2.4, pasa a través del tubo 2.1 e incide en un conjunto de detectores 2.5 con una pluralidad de detectores individuales. El conjunto de detectores 2.5 está en conexión con un amplificador electrónico 4.1.
- 10 [0023] El sistema de control de láser 3 presenta un modulador 3.1 y un excitador de láser 3.2 para el control del láser 2.2.
- [0024] En el equipo de evaluación 5 están instalados después del amplificador 4.1 un convertidor analógico-digital 5.1 y un ordenador o procesador que está preferiblemente realizado en forma de un procesador digital 5.2. Una interfaz sirve para la aportación de los datos calculados a un visualizador, un medio almacenamiento y/o una impresora para la sintonización del sistema de control de láser y del sistema de control de la evaluación, y dado el caso están previstas líneas de control 9.1, 9.2 para la realimentación y la regulación del funcionamiento del láser.
- 15 [0025] El sistema óptico que está representado en la Fig. 2.1 corresponde al de la Fig. 1 y presenta una lente 2.4 para la paralelización del haz óptico, que como haz paralelo pasa a través del tubo 2.1 y con ello a través del fluido 8 conducido por el mismo. La dirección circulatoria del fluido está indicada mediante la flecha S.
- [0026] En la configuración de la Fig. 2.2, antes del tubo 2.1 está prevista una lente adicional 2.6 que focaliza el haz 2.3 en el interior del fluido 8, saliendo dicho haz del fluido de manera divergente e incidiendo así dicho haz en el conjunto de detectores 2.5.
- 25 [0027] En la configuración de la Fig. 2.3, además de ambas lentes 2.4 y 2.6 está prevista en el lado del tubo 2.1 que queda de espaldas al láser 2.2 una lente adicional 2.7 que ensancha adicionalmente el haz 2.3.
- [0028] La configuración de la Fig. 2.4 se diferencia de la de las Figs. 2.2 y 2.3 en que la focalización del haz luminoso por medio de la lente 2.6 se hace antes del tubo 2.1 en el lado del láser.
- 30 [0029] A esto se ajusta la configuración de la Fig. 2.5, haciéndose también aquí de nuevo un ensanchamiento mediante una lente 2.7 en el lado del tubo 2.1 que queda de espaldas del láser 2.2.
- 35 [0030] Mientras que en la configuración de las Figs. 2.2 y 2.3 el foco está situado en el interior del fluido, pero en el lado que queda encarado al láser 2.2 con respecto al eje de simetría, en la configuración de la Fig. 2.6 dicho foco está situado dentro del fluido en el lado que queda de espaldas al láser y que está encarado al conjunto de fotodetectores 2.5, visto desde el eje de simetría.
- 40 [0031] La configuración de la Fig. 2.7 presenta de nuevo, como la de la Fig. 2.1, un haz paralelo que por cierto según las configuraciones de las Figs. 2.5 y 2.6 es ensanchado por medio de una lente 2.7 en el lado que queda de espaldas al láser y antes del conjunto de detectores 2.5 y delante del mismo.
- 45 [0032] En las configuraciones de las Figs. 1 y 2.1 a 2.7 que se han descrito anteriormente se parte de un haz óptico o haz láser que tanto calienta el fluido 8 que circula por el tubo 2.1 como detecta la lente óptica formada por el calentamiento y su forma influenciada por la corriente circulatoria, o sea que sirve tanto de haz calentador como de haz de medición.
- 50 [0033] Las Figs. 3.1 y 3.2 muestran configuraciones alternativas a las configuraciones de las Figs. 2.1 a 2.7 con dos distintas fuentes de radiación o fuentes luminosas 2.2, 2.8 para el haz de detección 2.3 y para el haz de calentamiento 2.10, respectivamente. El sistema y la estructura para el haz de detección 2.3 se ajustan en las configuraciones de las Figs. 3.1 y 3.2 respectivamente a las configuraciones de las Figs. 2.1 y 2.2, con lo cual puede básicamente renunciarse a su descripción. Los elementos iguales están indicados con los mismos signos de referencia. Está prevista una fuente de radiación 2.2 para el haz de detección 2.3. En la dirección de la radiación está dispuesta tras dicha fuente de radiación una lente convergente 2.4 que en ambas configuraciones de las Figs. 3.1 y 3.2 paraleliza el haz de detección 2.3. A diferencia de y de manera complementaria a las configuraciones de las Figs. 2.1 y 2.2, este haz de detección pasa a continuación, antes de pasar a través del tubo 2.1 y del fluido 8 que circula por el mismo, a través de un espejo parcialmente transparente 2.11 que está dispuesto a 45° con respecto a la dirección del haz. El haz de detección pasa en la configuración de la Fig. 3.1 como haz paralelo a través del tubo 2.1 y del fluido 8 que circula por el mismo e incide a continuación en el conjunto de detectores 2.5.
- 55
60

[0034] En la configuración de la Fig. 3.2, tras haber pasado a través del espejo parcialmente transparente 2.11 el haz de detección 2.3 es focalizado mediante una lente convergente 2.6 al interior del tubo 2.1 y con ello al interior del fluido 8 que circula por el mismo, y dicho haz de detección incide en forma de haz divergente en el conjunto de detectores 2.5.

5 [0035] La frecuencia y la potencia del haz de detección se han elegido que para que éste no produzca un considerable calentamiento del fluido 8.

10 [0036] Para ello está prevista una segunda fuente de radiación o fuente luminosa 2.8 que emite un haz de calentamiento 2.10. Éste pasa en primer lugar a través de una lente convergente 2.9 y es paralelizado por ésta análogamente a como el haz 2.3 lo es por la lente convergente 2.4. Dicho haz de calentamiento incide entonces en el lado del espejo parcialmente transparente 2.11 que está encarado al tubo 2.1, es reflejado en el mismo y es con ello desviado 90°, con lo cual tras haberse reflejado en el espejo su eje óptico coincide con el del haz de detección 2.3. El haz de calentamiento 2.10 pasa en la configuración de la Fig. 3.2 asimismo a través de la lente convergente 2.6 y es focalizado al interior del fluido 8, mientras que en la configuración de la Fig. 3.1 entra en dicho fluido en forma de haz paralelo.

15 [0037] Mientras que para simplificar en las Figs. 3.1 y 3.2 los haces 2.3 y 2.10 tras haber pasado por el espejo están representados con coincidentes dimensiones de las secciones transversales y direcciones de haz, las mismas pueden ser distintas, como está representado en la Fig. 4 y como se describe a continuación.

20 [0038] Además es también posible hacer que dado el caso el haz de detección pase en forma de haz paralelo a través del fluido, pero focalizar el haz de calentamiento 2.10 al interior del mismo, o bien a la inversa, es decir, hacer que el haz de calentamiento pase en forma de haz paralelo a través del fluido y focalizar el haz de detección al interior o bien de otra manera representada en las Figs. 2.3 a 2.6. Con ello el espejo parcialmente transparente 2.11 está entonces dado el caso dispuesto detrás de la lente convergente 2.6 y ésta está dispuesta, según la deseada focalización del haz, ya sea en la trayectoria del haz de detección 2.3 o bien la trayectoria del haz de calentamiento 2.10. Además de ello son adicionalmente posibles las configuraciones de las Figs. 2.3, 2.5 a 2.7, es decir, con una lente divergente 2.7 para el haz de detección tras haber pasado el mismo a través del tubo 2.1 y del fluido 8, en la configuración con 2 distintas fuentes de radiación para el haz de detección 2.3 y el haz de calentamiento 2.10.

25 [0039] La configuración de la Fig. 4 prevé dos haces, y concretamente además del haz de medición 2.3 un haz calentador 2.3.1 aparte. Es esencial que éste último presente un diámetro que no sea mayor que el del haz de medición 2.3, o sea que sea igual o menor que el mismo. En el ejemplo de realización representado el haz de medición 2.3 y el haz calentador 2.3.1 van guiados coaxialmente. Dichos haces pueden proceder de distintas fuentes luminosas, o bien también de una fuente luminosa, y pueden estar convenientemente posicionados en el camino óptico representado.

30 [0040] En cuanto al láser 2.2, se trata de un láser modulado o pulsado, con lo cual el haz láser es un haz láser 2.3 modulado o pulsado.

35 [0041] Gracias al hecho de estar previsto un conjunto de detectores 2.5 con varios detectores individuales, pudiendo el conjunto de detectores 2.5 ser un conjunto de detectores lineal o bien un conjunto de detectores dispuestos en una superficie, no tan sólo se determina la desviación local del haz láser producida por la lente, sino que debido a ello y gracias a los varios detectores individuales pueden determinarse las propiedades globales de la lente térmica formada por el calentamiento. Se realizan varias mediciones a lo largo del tiempo, dentro de un pulso láser, con lo cual puede captarse el comportamiento del desarrollo de la lente térmica a lo largo del tiempo, que viene en esencia determinado por la velocidad circulatoria del fluido. Para la más exacta determinación del comportamiento circulatorio, mediante el equipo de evaluación 5 se realizan evaluaciones estadísticas de las señales recibidas, y en particular la determinación del primer momento como valor medio, del segundo momento como varianza, del tercer momento como asimetría estadística y del cuarto momento como curtosis o apuntamiento.

40 [0042] Mediante la irradiación del fluido 8 con energía luminosa, y en particular con energía láser, se produce un incremento local de la temperatura, que está en relación directa con la intensidad del láser y conduce a una distribución no uniforme de la temperatura en el fluido. Es inducido por ello el efecto de una lente térmica que influencia al haz luminoso y con ello modifica el perfil de intensidad o de potencia captado por el sistema detector. Debido a la circulación del fluido se modifica la distribución de la temperatura y según ello también el perfil de la potencia luminosa recibida. Esta modificación en combinación con el sistema de control de láser es utilizada para determinar propiedades circulatorias del fluido circulante.

45 [0043] Cuando el fluido no está en circulación el perfil de intensidad o de potencia de la radiación recibida es simétrico y el efecto de la lente térmica consiste en una reducción de la anchura del perfil de intensidad (si bien también en dependencia de la configuración física del sistema y de la focalización del láser puede por cierto tener lugar un ensanchamiento del haz láser). Cuando el fluido circula, el perfil de temperatura ya no es simétrico. Resulta de ello que, como se muestra en la Fig. 5, la distribución de intensidad del láser es distinta de la que se tiene con el fluido el reposo y deviene asimétrica. Según la invención se recurre a estas desviaciones para la determinación de características o

propiedades de la circulación del fluido, tales como el caudal o el flujo volumétrico, estando directamente en conexión entre sí la velocidad de circulación y el caudal dentro del diámetro del tubo.

[0044] En la modulación del pulso del láser se llevan a cabo durante un pulso mediciones y se procesan las señales recibidas. La duración y la frecuencia de los pulsos se adaptan preferiblemente a las constantes de tiempo del sistema. Estas constantes dependen de la configuración física del sistema, tal como la distancia entre los componentes, de la focalización del haz láser y de la gama de valores del caudal a determinar. Puesto que la temperatura se incrementa al estar conectado el láser, el perfil de potencia o de intensidad del haz láser recibido varía con el tiempo. Esta variación es dependiente de la velocidad del fluido en el sistema, y por consiguiente del caudal. Se ha constatado que la variación de la posición media o de la media de la posición de la distribución de la intensidad del láser y su anchura (desviación estándar) están en relación con la velocidad circulatoria. Según ello, sobre la base de la intensidad luminosa recibida por los distintos elementos detectores individuales del conjunto de detectores que están dispuestos consecutivamente en la dirección de circulación pueden determinarse de manera habitual la media (local) y la desviación estándar de la intensidad luminosa recibida.

[0045] Como se desprende de las Figs. 6.1 y 6.2, estas magnitudes presentan una decadencia exponencial y un similar comportamiento en función del tiempo. Momentos de orden superior tales como la asimetría y la curtosis pueden ser asimismo determinados y están asimismo en relación con el caudal. Tales valores constituyen un ejemplo para una proyección de datos obtenidos en un subespacio de datos, con lo cual las distintas aportaciones pueden ser separadas en señales y la determinación del caudal puede ser así de tal modo mejorada.

[0046] Como muestran los dibujos, la media puede aproximarse por ejemplo mediante un modelo en forma de $\mu(t) \approx \alpha_0 + \alpha_1 e^{-t/\tau}$ o bien también en forma de $\mu(t) = \gamma + \Sigma \beta_i \operatorname{tgh}(\alpha_i t)$, presentando el modelo indicado en último lugar una mejor convergencia y viéndose reducida la sensibilidad con respecto a las condiciones iniciales frente al modelo exponencial.

[0047] Los parámetros en las fórmulas de los modelos deben adaptarse a los caudales, pudiendo recurrirse además de a modelos lineales también a modelos no lineales.

[0048] El algoritmo desarrollado para una excitación pulsada del láser sugiere una respuesta exponencial del sistema. En la teoría del filtro una respuesta de este tipo corresponde a un modelo autorregresivo de primer orden. Se constató que la constante de tiempo del modelo exponencial, que representa el desarrollo de la posición de la media, está en estrecha relación con el caudal. Bajo el supuesto de que el sistema se comporta como un filtro autorregresivo de primer orden, la fase de la respuesta variará con el caudal. Si por consiguiente la potencia láser de partida es variada con una función coseno y si se determina el desplazamiento de fase entre la posición media de la potencia láser recibida (o los momentos de orden superior) y la señal de partida modulada, también puede por medio de esto obtenerse el caudal. Si se determina el caudal de un fluido bombeado por una bomba y si la frecuencia de bombeo es cercana a la frecuencia de modulación, pueden surgir problemas. Éstos pueden superarse por el procedimiento de modular el láser con dos frecuencias distintas y determinar el caudal a partir de ambas, filtrándose la señal recibida en torno a cada frecuencia. Otra solución puede consistir en detectar las interacciones perturbadoras y variar la frecuencia de modulación. Además, mediante un análisis de componentes principales (Principal Component Analysis - PCA) pueden separarse los distintos modos de las oscilaciones en el sensor.

[0049] La variación del desplazamiento de fase con la velocidad está representada en la Fig. 7.

[0050] Es ventajoso usar varias frecuencias de modulación para la modulación del láser, gracias a lo cual puede agrandarse la gama de caudales a supervisar. Así por ejemplo, con una baja frecuencia de modulación de por ejemplo 10 Hz es mejor la resolución para pequeños caudales de típicamente 0 a 6 mililitros por minuto (para un diámetro interior del tubo de 4 mm), mientras que con una más alta frecuencia de modulación de por ejemplo 80 Hz puede ampliarse la gama de valores de medición hasta los 25 mililitros por minuto.

[0051] Mientras que para un láser pulsado se recurre a la información en función del tiempo de las señales recibidas para la determinación del caudal, para modulación de la intensidad de partida del láser se recurre tanto a la respuesta en función del tiempo como a la respuesta de frecuencia para las frecuencias seleccionadas. Para aprovechar toda la gama de tiempos y frecuencias, puede recurrirse estocásticamente al ruido para el control del láser (tal como por ejemplo al ruido blanco, dado el caso filtrado). Gracias a ello puede cubrirse una adicional gama de frecuencias. Mediante la determinación de la respuesta del sistema y con la misma de la función de transmisión puede establecerse una relación entre ésta y el caudal.

Lista de signos de referencia

- [0052]**
- 1 Dispositivo
- 2 Sistema óptico
- 2.1 Tubo

	2.1.1	Paredes
	2.2	Láser
	2.3	Haz óptico
	2.3.1	Haz calentador
5	2.4	Lente
	2.5	Conjunto de detectores
	2.6	Lente
	2.7	Lente
	2.8	Fuente luminosa o de radiación
10	2.9	Lente convergente
	2.10	Haz de calentamiento
	2.11	Espejo
	3	Electrónica de láser
	3.1	Modulador
15	3.2	Excitador de láser
	4	Sistema amplificador
	4.1	Amplificador
	5	Equipo de evaluación
	5.1	Convertidor analógico-digital
20	5.2	Procesador digital
	6	Sistema de interfaz
	7	Alimentación de corriente
	8	Fluido
	9.1, 9.2	Líneas de control
25		

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la determinación del caudal de un fluido circulante, en donde
 - el fluido (8) es calentado mediante un haz óptico de calentamiento (2.10, 2.3),
 - el haz de calentamiento (2.10, 2.3) es modulado en intensidad o pulsado, y
 - un haz óptico de detección (2.3) pasa a través del sitio de calentamiento, **caracterizado por el hecho**
 - **de que** los ejes ópticos del haz de calentamiento y del haz de detección (2.10, 2.3) coinciden al menos en el sitio de calentamiento,
 - **de que** el haz de detección (2.3) es captado mediante un conjunto de detectores (2.5),
 - y **de que** mediante el conjunto de detectores (2.5) se efectúan durante el calentamiento varias mediciones que son consecutivas en el tiempo, mediante lo cual se determina la evolución en el tiempo del índice refractivo de la zona de calentamiento en el fluido (8).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** el haz de calentamiento y el haz de detección (2.3) son emitidos por la misma fuente de radiación (2.2).
3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** el haz de calentamiento y el haz de detección (2.10, 2.3) son emitidos por distintas fuentes de radiación (2,8, 2.2).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por el hecho de que** el haz de detección (2.3) tiene un diámetro medio mayor que el del haz de calentamiento (2,10, 2.3.1).
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el haz óptico o los haces ópticos (2,10, 2,3) es (son) focalizado(s) a una zona situada en el interior del fluido (8).
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por el hecho de que** el haz o los haces (2.10, 2.3) que pasa(n) a través del fluido (8) es un haz paralelo o son haces paralelos.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** la detección se hace mediante un conjunto de detectores (2,5) lineal o mediante un conjunto de detectores (2.5) bidimensional dispuesto en una superficie.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el caudal es determinado a partir de un perfil recibido del haz óptico, determinándose en particular el caudal del fluido (8) mediante la determinación de momentos estadísticos de las señales recibidas, tales como la media, la varianza, la asimetría y/o la curtosis.
9. Dispositivo para la determinación del caudal de un fluido con un tubo (2.1) por el que circula un fluido (8) con una pared (2.1.1) al menos parcialmente transparente para una radiación de medición, un equipo para el calentamiento de al menos una zona en el interior del fluido (8), un láser (2.2) para la generación de una radiación de medición y un equipo electrónico de evaluación (5), en donde el equipo para el calentamiento de una zona interior delimitada del fluido (8) y un sistema óptico (2.4, 2.6) que guía el haz del láser (2.2) están dispuestos de forma tal que un haz de medición (2.3) pasa a través de la zona calentada en el sitio absoluto de su calentamiento, y en donde el equipo para el calentamiento del fluido es un láser (2.8, 2.2) para la generación de un haz de calentamiento (2.10, 2.3) modulado en intensidad o pulsado, **caracterizado por el hecho**
 - **de que** el sistema óptico (2.4, 2.6) está configurado de forma tal que los ejes ópticos del haz de calentamiento y del haz de medición (2.10, 2.3) coinciden en el sitio de calentamiento, y
 - **de que** está previsto un conjunto de detectores (2.5) para la recepción de la radiación de medición, en donde el conjunto de detectores (2.5) está configurado para la realización de varias mediciones consecutivas durante el calentamiento, gracias a lo cual es determinable la evolución en el tiempo del índice refractivo de la zona de calentamiento en el fluido.
10. Dispositivo según la reivindicación 9, **caracterizado por el hecho de que** el láser (2.2) que produce el haz de medición (2.3) es el dispositivo para el calentamiento del fluido.
11. Dispositivo según la reivindicación 10, **caracterizado por el hecho de que** el sistema óptico (2.4, 2.6) es tal que se hace que el haz óptico (2.3) pase sin dividir a través del fluido (8).
12. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado por** una lente de focalización (2.6) para la focalización del haz láser al interior de la corriente circulatoria de fluido (8).

13. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 12, **caracterizado por el hecho de que** el conjunto de detectores (2.5) es un conjunto de detectores lineal o un conjunto de detectores (2.5) bidimensional dispuesto en una superficie.
- 5 14. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 13, **caracterizado por el hecho de que** el equipo de evaluación está configurado para la determinación de momentos estadísticos de las señales recibidas, tales como la media, la varianza, la asimetría estadística y/o la curtosis.

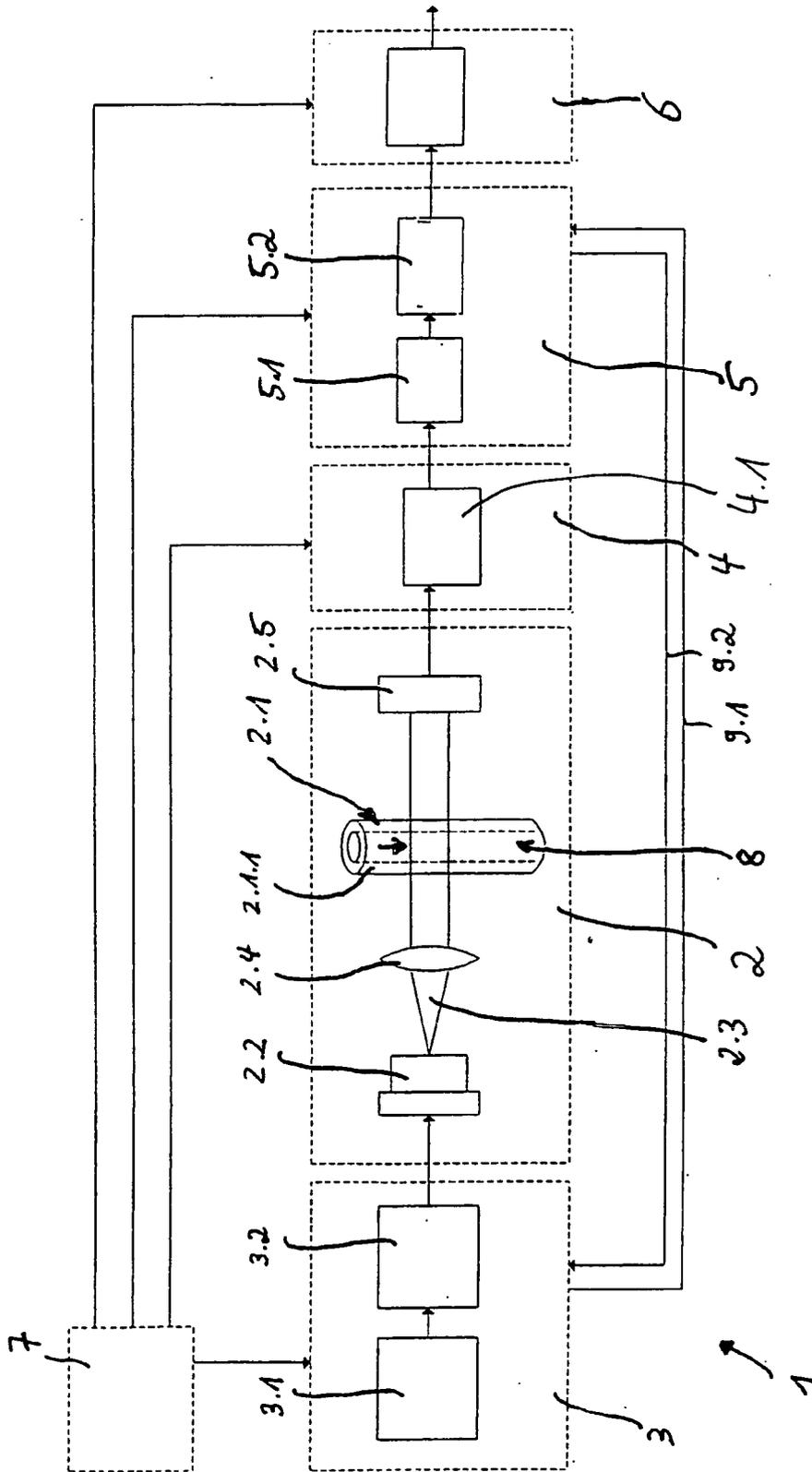
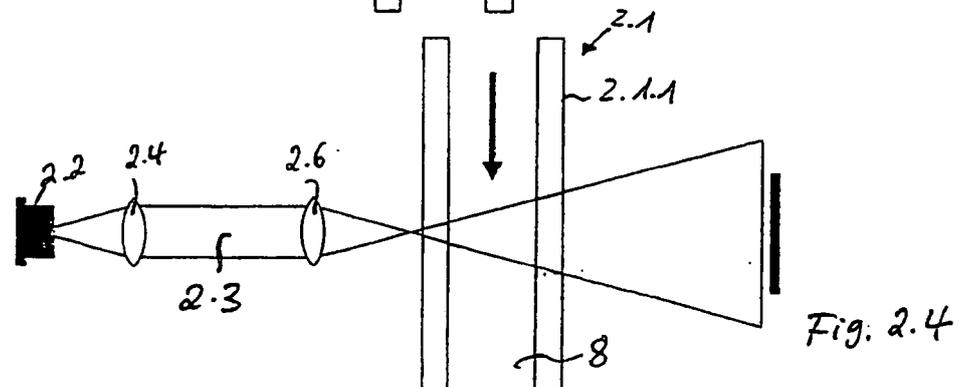
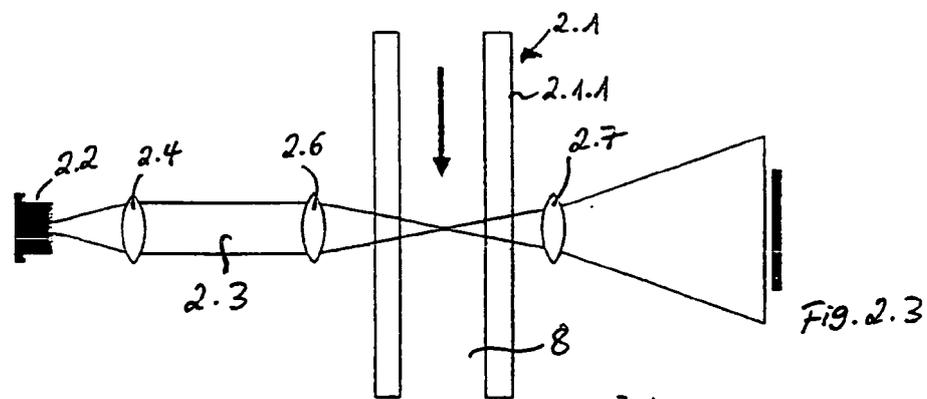
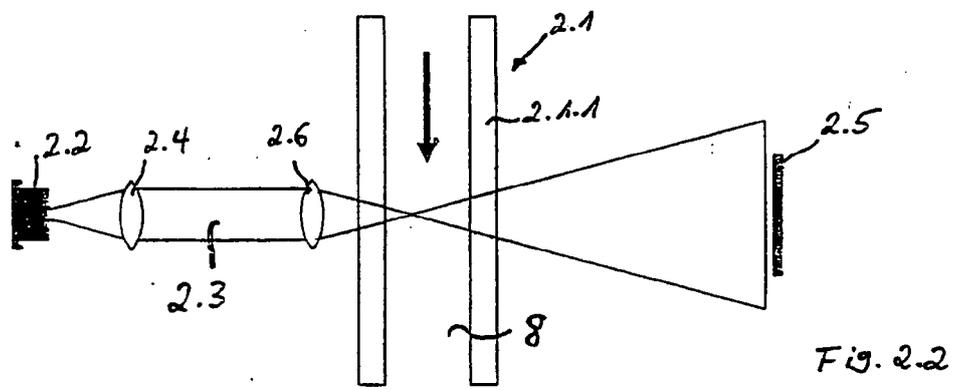
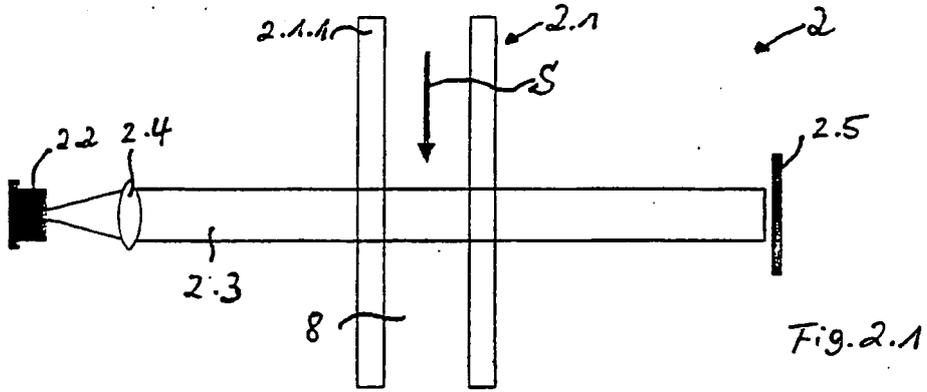


Fig. 1



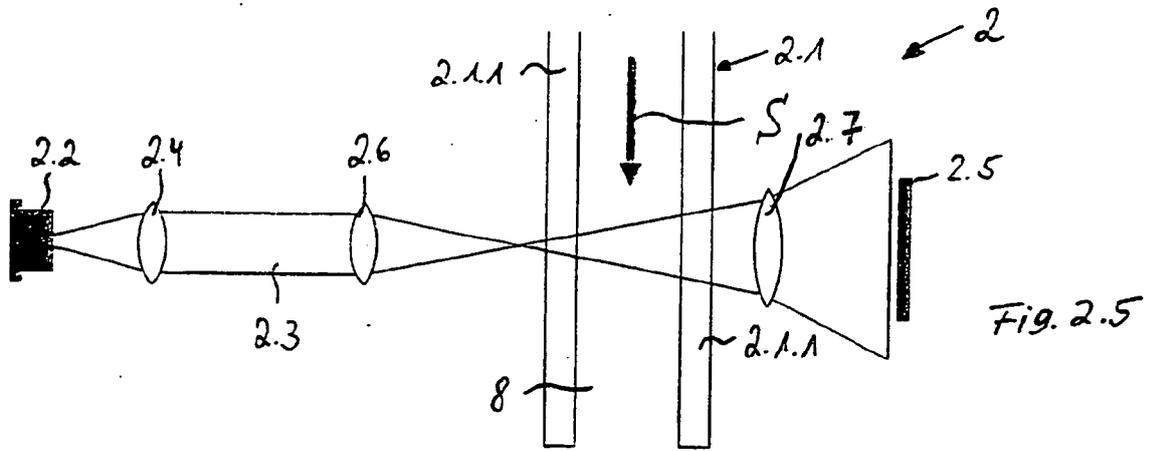


Fig. 2.5

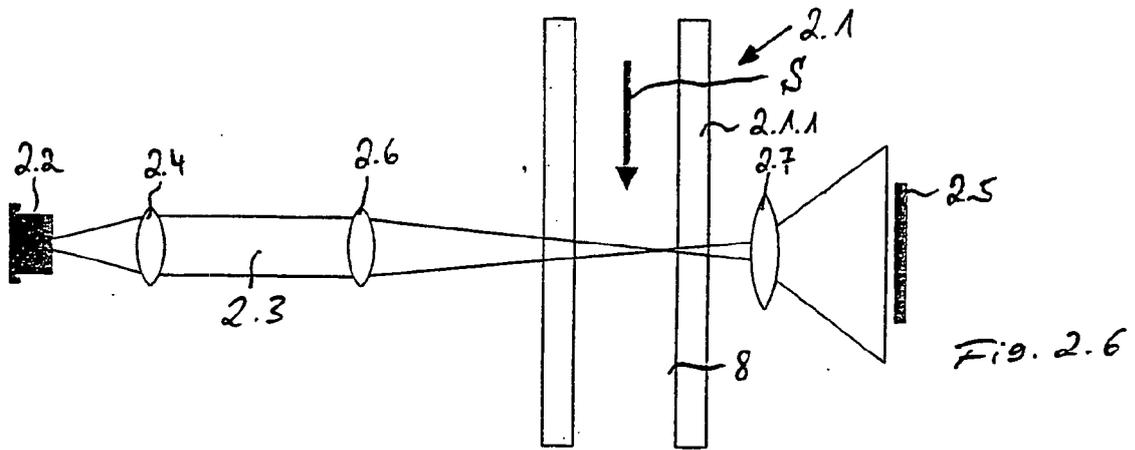


Fig. 2.6

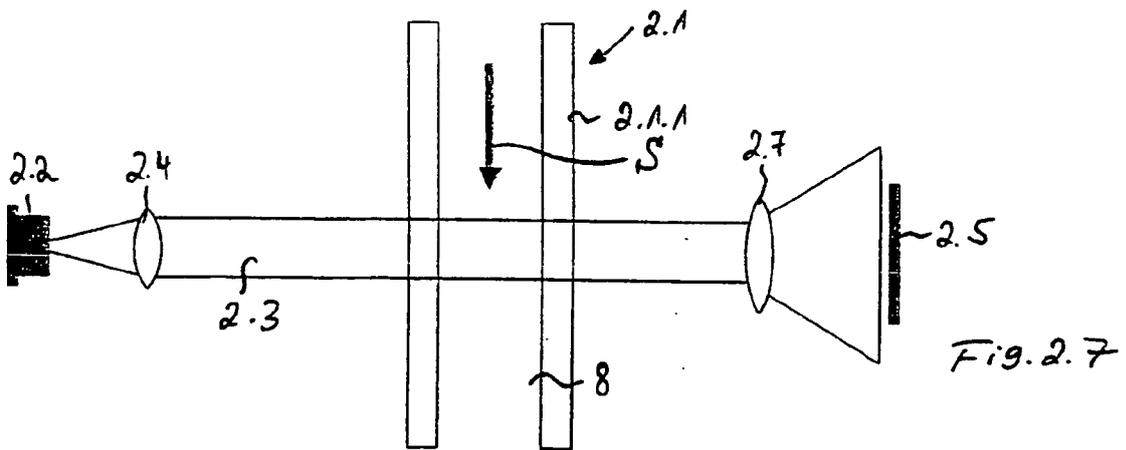


Fig. 2.7

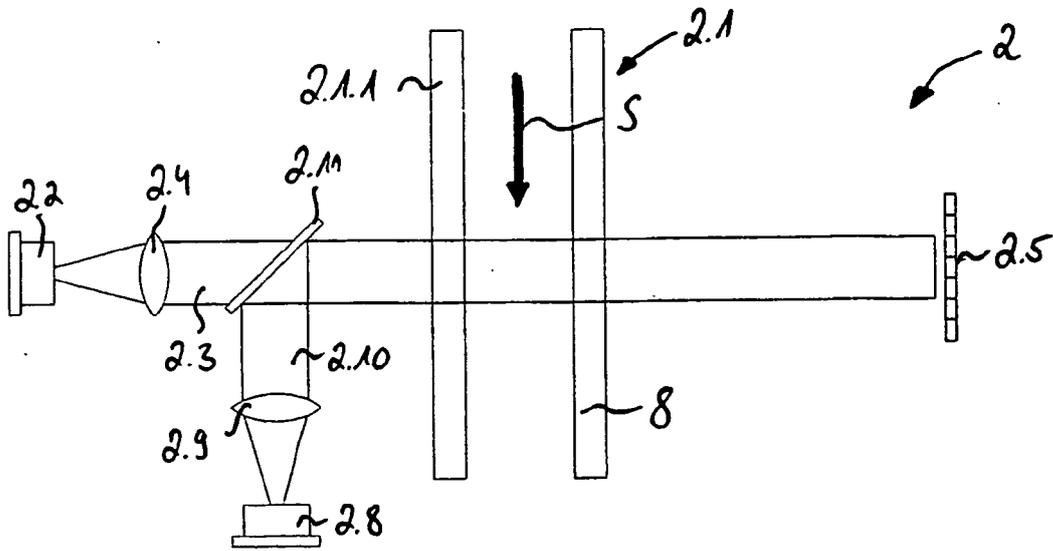


Fig. 3.1

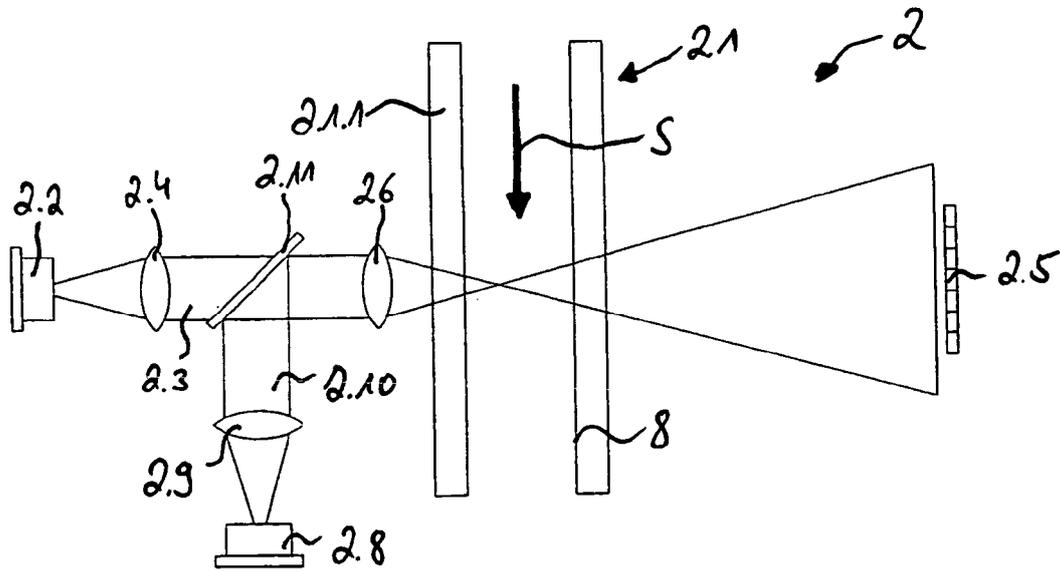


Fig. 3.2

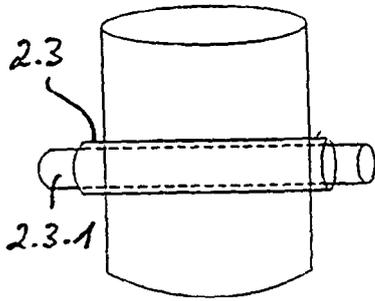


Fig. 4.

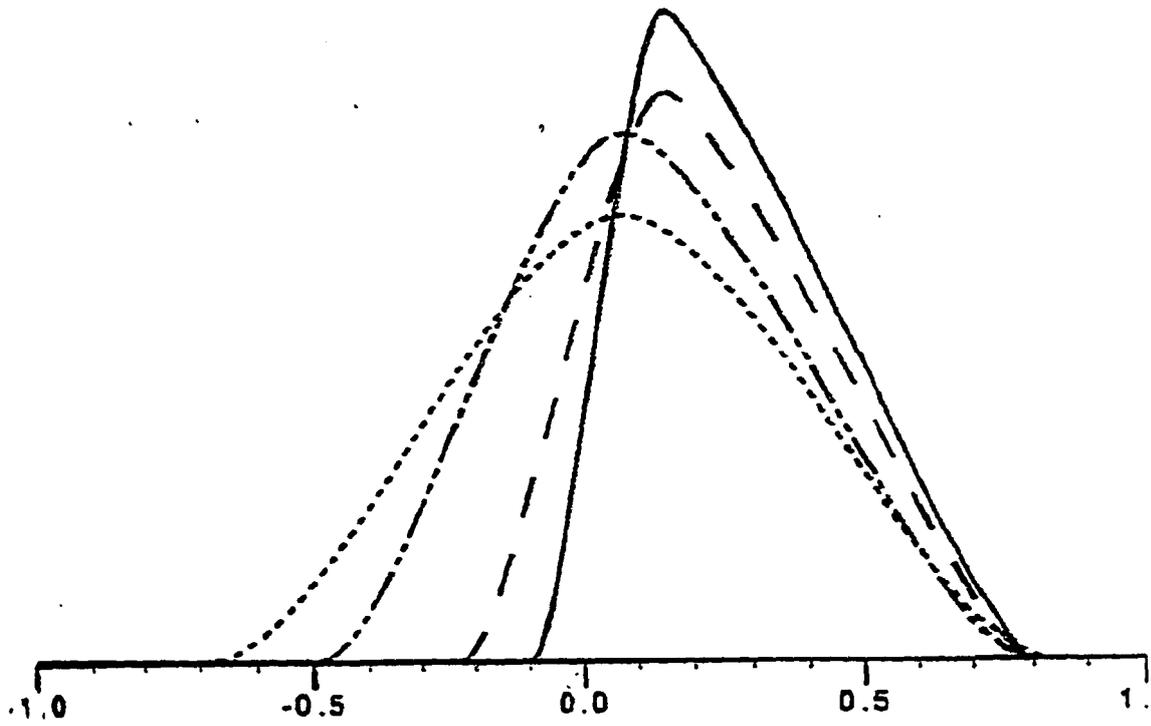


Fig. 5

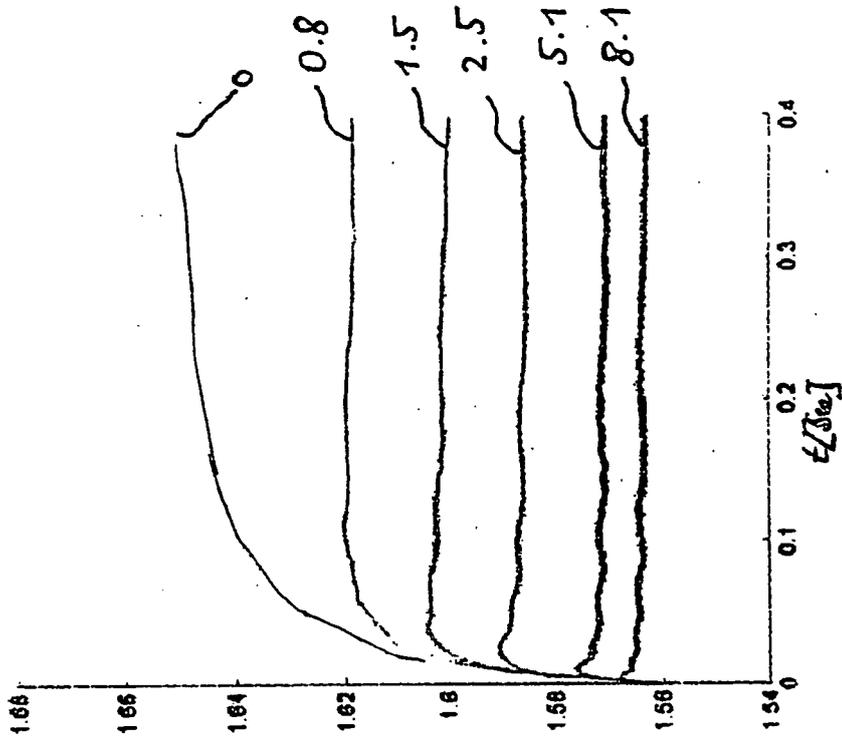


Fig. 6.2

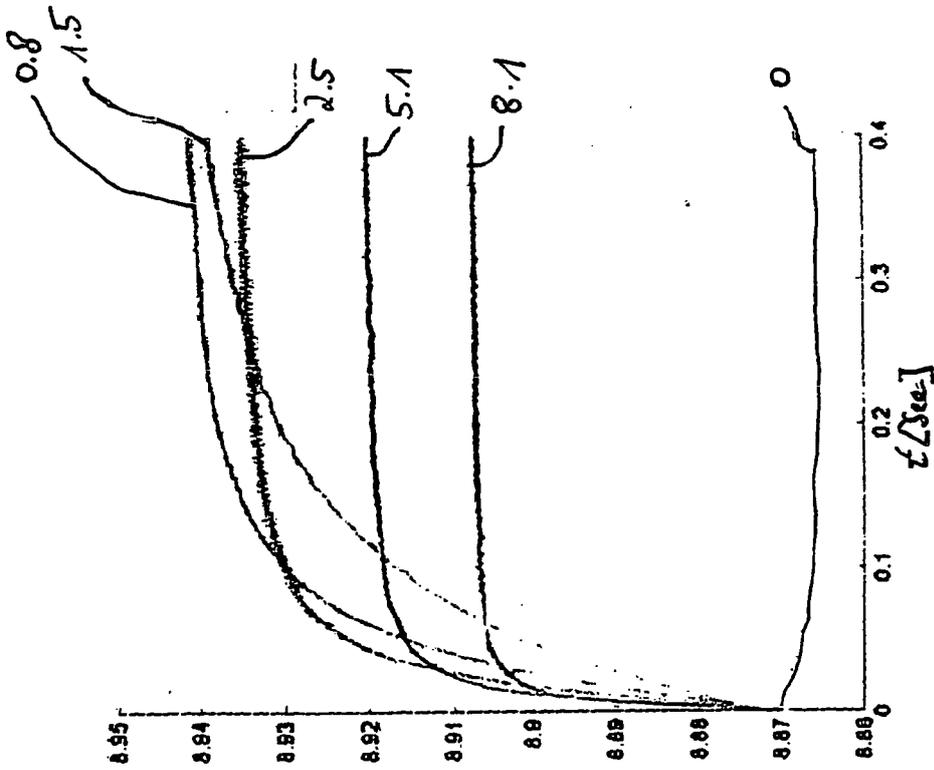


Fig. 6.1

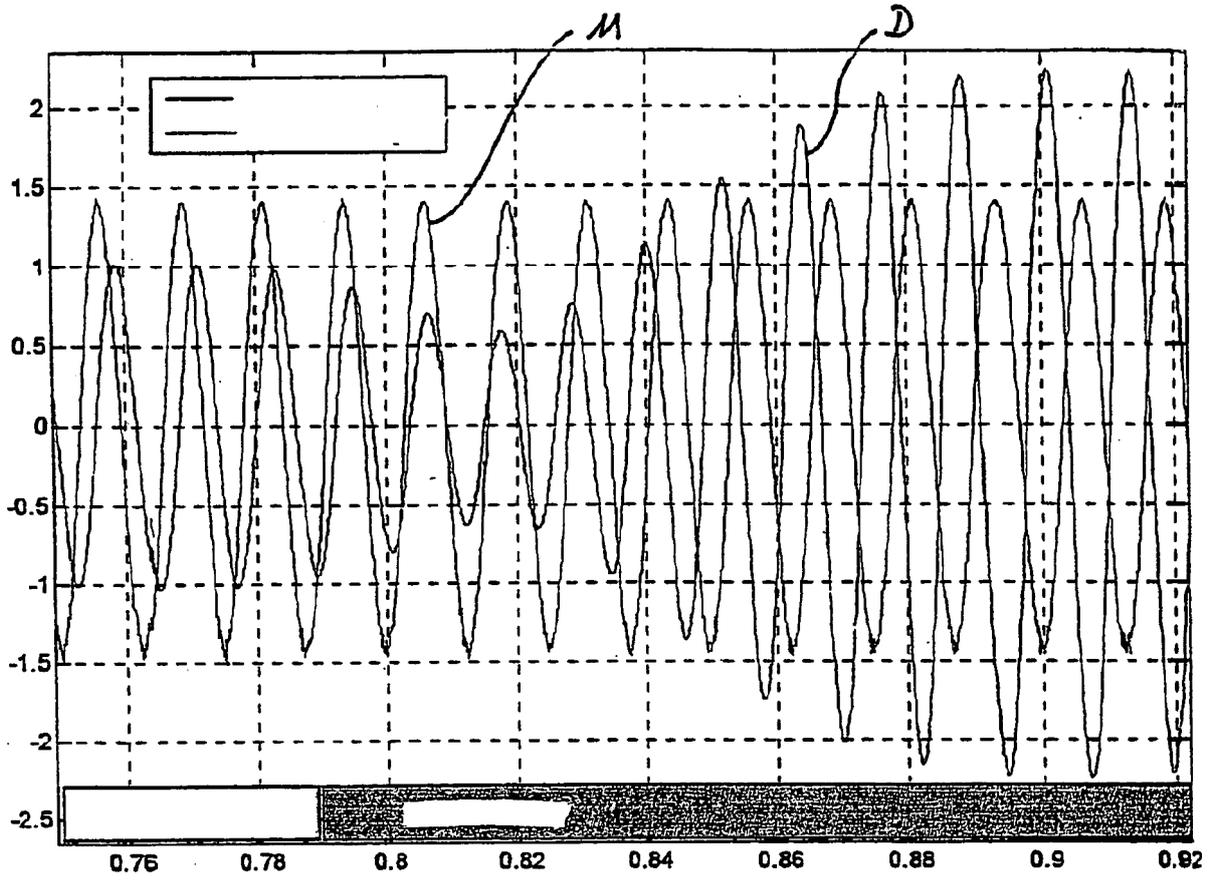


Fig. 7