

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 531 317**

51 Int. Cl.:

G01B 9/02 (2006.01)

G01S 17/32 (2006.01)

G01S 17/58 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.05.2011 E 11719251 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.12.2014 EP 2569593**

54 Título: **Dispositivo de medición óptica de un parámetro físico**

30 Prioridad:

11.05.2010 FR 1053648

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.03.2015

73 Titular/es:

**INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE
TOULOUSE (100.0%)
Zone d'Activités du Palays, 6, allée Emile Monso,
BP 34038
31029 Toulouse Cedex 4, FR**

72 Inventor/es:

**BERNAL, OLIVIER;
BONY, FRANCIS;
BOSCH, THIERRY y
ZABIT, USMAN**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 531 317 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

Dispositivo de medición óptica de un parámetro físico

La presente invención es relativa al ámbito de los dispositivos optoelectrónicos. De modo más particular, la invención concierne a un dispositivo de medición óptica de desplazamiento de un blanco.

5 Existen numerosos tipos de dispositivos de medición de desplazamiento, de vibración, de distancia, ..., de un blanco que permiten mediciones denominadas no destructivas, es decir que no deterioran el blanco sobre el cual se efectúan éstas.

10 Se utilizan frecuentemente métodos ópticos porque estos presentan la ventaja de ser sin contacto con el blanco y no intrusivos. Estos están basados en la transmisión de un haz luminoso por una fuente luminosa láser hacia un blanco y la medición de los cambios de las propiedades ópticas del haz luminoso reenviado desde el blanco por medios de detección y de medición adaptados.

15 Entre los dispositivos ópticos existentes, pueden citarse entre otros los interferómetros de Michelson, los interferómetros de fibra óptica, los sensores por triangulación. Sin embargo, en estos tipos de dispositivos, es necesaria la utilización de numerosos componentes ópticos, lo que hace difícil la realización de sensores compactos, simples de utilización y de bajo coste. Estos dispositivos presentan además, en algunos, un intervalo de medición limitado a algunos centímetros, incluso a milímetros.

Los dispositivos basados en el fenómeno de retroinyección óptica, conocido generalmente con el nombre anglosajón de self-mixing, ofrecen en comparación un sistema de realización compacto y flexible, de bajo coste.

20 Estos dispositivos son simples de realizar y solamente necesitan una fuente luminosa láser que emita un haz luminoso de medición sobre el blanco cuyo desplazamiento hay que medir por ejemplo. Una porción del haz de medición es reflejada por el blanco y reinyectada en una cavidad activa de la fuente láser, produciendo interferencias en la cavidad activa de la fuente láser.

25 Cuando un camino óptico recorrido por el haz de medición procedente de la fuente luminosa láser y que encuentra el blanco varía, por ejemplo en función del desplazamiento del blanco o de la variación del índice de refracción del medio en el cual se encuentra el blanco, se producen fluctuaciones especialmente de la potencia óptica emitida, causadas por estas interferencias. Estas fluctuaciones son detectadas por un fotodetector, tal como por ejemplo un fotodiodo situado en una cara trasera de la fuente láser, o bien directamente a través de una tensión de unión de la fuente luminosa láser. Las señales procedentes del fotodiodo o de la tensión de unión de la fuente luminosa láser son tratadas por medios de tratamiento adaptados y de ellas se deduce la información relativa al desplazamiento del blanco o a la variación del índice de refracción del medio. Así, la fuente láser desempeña a la vez la función de una fuente luminosa y de un microinterferómetro, sin necesitar componentes ópticos externos. Sin embargo, cuando el blanco está colocado más allá de algunos centímetros, puede ser intercalada una lente entre la fuente luminosa láser y el blanco.

35 Estos dispositivos de retroinyección óptica presentan así la ventaja de ser autoalineados, compactos y menos caros que por interferometría tradicional.

40 Sin embargo, estos dispositivos son especialmente sensibles a las vibraciones parásitas. Estos, por consiguiente, necesitan ser colocados sobre un soporte estable e inmóvil con respecto al blanco, tal como por ejemplo una mesa óptica, para garantizar la precisión de la medición efectuada. Esta condición, por una parte, implica un coste suplementario importante y, por otra, es inadecuada para una utilización de estos dispositivos en condiciones reales, tales como por ejemplo la instalación en sitios industriales.

El documento US4928152 describe un diodo láser de retroinyección que comprende un acelerómetro como medio de corrección para las vibraciones mecánicas del detector. El documento US6233045 describe un diodo de retroinyección que comprende acelerómetros o inclinómetros para corregir las mediciones de las vibraciones del detector.

45 La invención tiene por objetivo proponer un dispositivo de medición basado en el fenómeno de retroinyección óptica que responda a requisitos de tensión, de rendimiento y de coste que hagan su utilización realista en un medio industrial.

A tal efecto, la invención tiene por objeto un dispositivo de medición óptica de un parámetro físico. El dispositivo de medición comprende:

- 50
- una fuente luminosa láser para generar un haz de medición en dirección a un blanco y para recibir el haz de medición reflejado por el citado blanco, recorriendo el citado haz de medición un camino óptico cuya variación es función del parámetro físico que hay que determinar, comprendiendo la citada fuente luminosa láser una cavidad óptica,
 - un sensor de movimiento de la fuente luminosa láser,

- medios de cálculo del parámetro físico a partir de una señal de medición a nivel de la fuente luminosa láser y de una señal medida por el sensor de movimiento,
- medios de cálculo que comprenden un medio de calibración del sensor de movimiento con respecto a la fuente luminosa láser, comprendiendo el citado medio de calibración un sistema de ganancia variable y un desfaseador.

5 El camino óptico se define como una distancia geométrica recorrida por el haz luminoso relacionada con las propiedades refringentes del medio que atraviesa el haz luminoso, es decir multiplicando esta distancia geométrica por el índice de refracción del medio.

10 El parámetro físico que hay que determinar, que modifica el camino óptico del haz de medición es por ejemplo una variación de índice de refracción del medio en el cual se encuentra el blanco, una tensión (mecánica, térmica, ...) aplicada a una fibra óptica situada enfrente de la fuente luminosa láser, y preferentemente un desplazamiento del blanco en movimiento según un eje óptico que pasa por la fuente luminosa láser.

La fuente luminosa láser emite el haz de medición en dirección al blanco, el cual refleja una fracción del mismo. El haz de medición reflejado es reinyectado, totalmente o en parte, en la cavidad óptica de la fuente luminosa láser, produciendo con el haz de medición emitido interferencias en la citada cavidad.

15 Preferentemente, la fuente luminosa láser es un diodo láser pero es posible la utilización de cualquier otro tipo de fuente luminosa láser, tal como por ejemplo un láser de gas.

Cuando el camino óptico recorrido por el haz de medición varía, las interferencias inducidas generan especialmente una variación de la potencia óptica del haz incidente emitido por el diodo láser.

20 La señal medida a nivel de la fuente luminosa láser es función de esta variación de potencia óptica del haz de medición. Esta variación es función de la variación de camino óptico. La señal medida es por ejemplo una tensión, una corriente o una señal digital.

25 El sensor de movimiento permite ventajosamente medir el desplazamiento relativo a los movimientos de la fuente luminosa láser en modo de funcionamiento. Estos movimientos pueden ser por ejemplo desplazamientos de la fuente luminosa láser inherentes a las necesidades de la aplicación o desplazamientos parásitos debidos a las vibraciones experimentadas por la fuente luminosa láser.

El sensor de movimiento es un dispositivo apto par medir el desplazamiento de la fuente luminosa láser en funcionamiento, tales como por ejemplo un acelerómetro, un giróscopo o un sensor óptico.

30 Cuando el sensor de movimiento es por ejemplo un acelerómetro, éste se sitúa preferentemente lo más cerca posible de la fuente luminosa láser y solidario de ésta. Cuando el sensor de movimiento es un sensor sin contacto, por ejemplo óptico, éste puede ser situado a distancia y su haz luminoso dirigido en dirección a la fuente luminosa láser.

La señal medida por el sensor de movimiento es función del desplazamiento de la fuente luminosa láser. La señal medida es por ejemplo una corriente, una tensión o una señal digital.

35 Medios de cálculo permiten a continuación determinar el parámetro físico a partir de la señal medida a nivel de la fuente luminosa láser y de la señal medida por el sensor de movimiento.

Los medios de cálculo comprenden:

- un primer medio de conversión de la señal medida a nivel de la fuente luminosa láser en una medición de variación de camino óptico, denominada medición de variación de camino óptico total,
- 40 - un segundo medio de conversión de la señal medida por el sensor de movimiento en una medición del desplazamiento de la fuente luminosa láser, denominada medición de desplazamiento.

La medición de la variación de camino óptico total tiene en cuenta a la vez la medición de la variación de camino óptico real y la medición de desplazamiento.

45 En un ejemplo de realización, los medios de calibración consisten en una compensación del error en la ganancia del sensor de movimiento y una sincronización temporal entre la cadena de medición de la fuente luminosa láser y la cadena de medición del sensor de movimiento.

En un modo de realización del dispositivo de medición, los medios de calibración son colocados, en la cadena de medición del sensor de movimiento, a la salida del segundo medio de conversión.

50 En un modo de realización del dispositivo de medición, para mejorar la relación entre señal y ruido, el dispositivo de medición comprende un fotodiodo a la salida de la fuente luminosa láser, aguas arriba del primer medio de conversión, y la señal medida a nivel de la fuente luminosa láser es una señal adquirida por el fotodiodo.

En un modo preferido de realización del dispositivo de medición, cuando la fuente luminosa láser es un diodo láser, el fotodiodo es un fotodiodo integrado en una misma carcasa que el diodo láser.

En otro modo de realización del dispositivo de medición, cuando la fuente luminosa láser es un diodo láser, la señal medida a nivel del diodo láser es una señal adquirida por amplificación de la tensión de unión del citado diodo láser.

- 5 En otro modo de realización del dispositivo de medición, cuando el blanco está colocado a una distancia de la fuente luminosa láser superior a algunos centímetros, el dispositivo de medición comprende una lente colocada en el eje óptico XX', entre la fuente luminosa láser y el blanco. La lente, preferentemente convexa, permite focalizar/colimar el haz de medición. La citada lente puede ser una lente adaptativa para una colimación/focalización automatizada.

- 10 En otro modo de realización del dispositivo de medición, para mejorar su resolución, el citado dispositivo de medición comprende, entre la fuente luminosa láser y el blanco, un modulador electroóptico apto para modular la fase del haz de medición.

De acuerdo con otro aspecto, la invención concierne a un procedimiento de medición de un parámetro físico por una medición láser.

El procedimiento comprende las etapas de:

- 15 - emisión de un haz de medición por la fuente luminosa láser en dirección al blanco,
- medición a nivel de la fuente luminosa láser de una señal representativa de la variación de camino óptico total,
- medición por el sensor de movimiento de una señal representativa del desplazamiento de la fuente luminosa láser, durante la medición a nivel de la fuente luminosa láser,
20 - determinación de la variación de camino óptico total por el primer medio de conversión, a partir de la señal medida por la fuente luminosa láser,
- determinación del desplazamiento de la fuente luminosa láser por el segundo medio de conversión, a partir de la señal medida por el sensor de movimiento,
- determinación del parámetro físico a partir de la variación de camino óptico total y del desplazamiento de la fuente luminosa láser,
25 - calibración realizada por los medios de calibración, comprendiendo la citada etapa de calibración una corrección de fase y ganancia entre la señal medida por el sensor de movimiento y la señal representativa de la variación de camino óptico total.

- 30 La medición a nivel de la fuente luminosa láser de la señal representativa de la variación de camino óptico total, y la medición por el sensor de movimiento de la señal representativa del desplazamiento de la fuente luminosa láser son realizadas de manera síncrona con un mismo origen.

- 35 El orden de la puesta en práctica de la etapa de determinación de la variación de camino óptico total por el primer medio de conversión, a partir de la señal medida a nivel de la fuente luminosa láser y de la etapa de determinación del desplazamiento de la fuente luminosa láser por el segundo medio de conversión, a partir de la señal medida por el sensor de movimiento, no viene impuesto y de acuerdo con el procedimiento, pueden ser realizadas en el orden inverso al orden descrito o preferentemente realizadas simultáneamente sin modificar el resultado de las citadas etapas.

La invención es relativa igualmente a la utilización del dispositivo de medición óptica para la inspección y el control no destructivo de materiales y piezas manufacturadas así como a su análisis modal.

- 40 La invención es relativa igualmente a la utilización del dispositivo de medición óptica para la medición de desplazamiento y de vibraciones de un blanco.

La invención es relativa igualmente a la utilización del dispositivo de medición óptica para la detección de variación de una mezcla gaseosa y/o líquida.

- 45 Entre otras utilizaciones de este dispositivo de medición óptica, pueden citarse por ejemplo las mediciones de desplazamientos aleatorios de blancos, el seguimiento de unión/soldadura, la detección de impacto, la optimización del mecanizado a gran velocidad, la medición de tensiones mecánicas en los materiales.

La puesta en práctica de este dispositivo de medición entre otros en las utilizaciones antes citadas es de la incumbencia del especialista en la materia.

Este dispositivo de medición óptica presenta también la ventaja de poder ser utilizado incluso en un sistema embarcado en movimiento.

En un modo preferido de realización, el dispositivo de medición óptica permite la medición de un desplazamiento de un blanco según un eje XX' , como parámetro físico.

La invención es relativa igualmente a un sistema para la medición de desplazamientos de un blanco según N ejes, N superior o igual a dos, que comprenda N dispositivos de medición óptica colocados cada uno según un eje.

- 5 La descripción que sigue, dada únicamente a título de ejemplo de un modo de realización de la invención, se hace refiriéndose a las figuras anejas, en las cuales:

Figura 1, ilustra esquemáticamente un ejemplo de dispositivo de medición de desplazamiento de un blanco, basado en el fenómeno de retroinyección óptica de acuerdo con la invención,

Figura 2, ilustra un ejemplo de tratamiento de señal del dispositivo de medición,

- 10 Figura 3, ilustra las curvas de desplazamiento medido y reconstruido para un primer ejemplo de funcionamiento,

Figura 4, ilustra las curvas de desplazamiento medido y reconstruido para un segundo ejemplo de funcionamiento,

Figura 5, ilustra las curvas de desplazamiento medido y reconstruido para un tercer ejemplo de funcionamiento,

Figura 6, ilustra las curvas de desplazamiento medido y reconstruido para un cuarto ejemplo de funcionamiento.

- 15 El ejemplo de realización del dispositivo de medición es descrito de manera detallada en su aplicación al caso de una medición de desplazamiento de un blanco. Esta elección no es limitativa y la invención se aplica igualmente a otros parámetros físicos, tales como por ejemplo una variación del índice de refracción óptico del medio, debida a una tensión aplicada a una fibra óptica situada delante del láser o a una variación de mezcla gaseosa entre el láser y el blanco.

- 20 La figura 1 ilustra esquemáticamente un dispositivo de medición óptica 10 para la medición de desplazamiento de un blanco 20 de acuerdo con un modo particular de realización de la invención y basado en el fenómeno de retroinyección óptica.

El dispositivo comprende una fuente luminosa láser 11, una lente 12, un detector 13, un sensor de movimiento 14 y medios de cálculo 15 del desplazamiento del blanco.

La fuente luminosa láser 11, la lente 12 y el blanco 20 están colocados en un eje óptico común XX' .

- 25 La fuente luminosa láser 11 es sensible a la retroinyección óptica, ésta comprende una cavidad óptica 111 y está adaptada para emitir un haz óptico de medición, de longitud de onda λ , según el eje óptico XX' en dirección al blanco 20 y para recibir el haz de medición reflejado.

Preferentemente, la fuente luminosa láser 11 es un diodo láser, pero es posible la utilización de cualquier otro tipo de fuente luminosa láser, tal como por ejemplo un láser de gas.

- 30 En un modo preferido de realización, el diodo láser 11 es alimentado con una corriente de valor sensiblemente continuo en el tiempo.

En otro modo de realización, el diodo láser 11 es alimentado por una corriente variable en el transcurso del tiempo, tal como una corriente periódica, por ejemplo de tipo sinusoidal o triangular.

- 35 Al contrario de los interferómetros clásicos, no es obligatorio estabilizar el diodo láser en longitud de onda por medio de sistemas de control que implican un sobre coste, siendo suficiente la precisión alcanzable sin control para numerosas aplicaciones que necesiten un dispositivo de bajo coste.

El diodo láser 11 está colocado a una distancia L_{ext} del blanco.

La lente 12 está colocada en un camino óptico recorrido por el haz óptico de medición e interpuesta entre la fuente láser y el blanco.

- 40 Preferentemente, la lente 12 es utilizada para la medición de desplazamiento de blanco situado para distancias L_{ext} superiores a algunos centímetros. Ésta no es generalmente necesaria para distancias L_{ext} inferiores a algunos centímetros.

- 45 La lente 12 es elegida, por una parte, para recibir un haz de medición procedente del diodo láser 11 y para colimar/focalizar el citado haz de medición en dirección al blanco y, por otra, para recibir una fracción del haz de medición reflejado por el blanco y para colimarle/focalizarle hacia la cavidad interna 111 del diodo láser 11.

El blanco 20 está en movimiento, como está indicado esquemáticamente a título de ejemplo por la flecha 21, según el eje óptico XX' .

El dispositivo de medición 10 de acuerdo con la invención está por tanto adaptado para medir la proyección del desplazamiento del blanco 20 a lo largo de la dirección del eje óptico XX'.

El blanco 20 está adaptado para recibir al menos una parte del haz de medición procedente del diodo láser y presenta una superficie 21 para reflejar el citado haz de medición.

5 Preferentemente, la superficie 21 del blanco 20 es sensiblemente plana y sensiblemente perpendicular al eje óptico XX' a fin de obtener la mejor precisión posible. Sin embargo, una superficie plana y una perpendicularidad con respecto al eje óptico no son esenciales para obtener una medición de desplazamiento del blanco de acuerdo con la invención. Pueden ser utilizadas otras formas de superficie siempre que éstas reflejen al menos una parte del haz de medición hacia la cavidad óptica del diodo láser.

10 En caso de no perpendicularidad del desplazamiento, la medición del desplazamiento del blanco se hará según la proyección según el eje óptico XX'.

En un ejemplo de realización, el blanco 20 puede ser una parte de un objeto del que debe ser medido el desplazamiento.

15 Alternativamente, el blanco 20 puede estar separado del objeto pero ligado al objeto, de modo que la medición de desplazamiento del blanco es equivalente a la medición del desplazamiento del objeto.

Así, el haz de medición, no colimado, procedente del láser 11, se dirige hacia la lente 12 que le colima/focaliza hacia al blanco 20.

El blanco 20 refleja una fracción del haz de medición.

20 El haz de medición reflejado, después del paso por la lente 12, es reinyectado en la cavidad óptica 111 del diodo láser 11 creando interferencias con el haz de medición emitido por el diodo láser.

Cuando el blanco 20 está en desplazamiento según el eje óptico XX', la longitud de camino óptico recorrido por los haces, es decir la distancia de ida y vuelta entre el diodo láser 11 y el blanco 20, varía, las interferencias dependientes del desplazamiento del blanco generan una variación de la potencia óptica del haz de medición emitido por el diodo láser 11.

25 Un detector de medición 13 detecta la variación de la potencia óptica del haz de medición emitido por el diodo láser y la convierte en una señal, denominada señal SM, que comprende las interferencias dependientes del desplazamiento del blanco. Esta señal SM puede ser por ejemplo una señal de intensidad de corriente, de tensión, de potencia, una señal digital.

30 El detector de medición es preferentemente un fotodiodo 13. En un ejemplo preferido de realización, el fotodiodo 13 es un fotodiodo integrado en una misma carcasa que el diodo láser 11 y situado en una cara trasera del diodo láser. Este fotodiodo, que habitualmente sirve para controlar la potencia de emisión del diodo láser, es utilizado para detectar las variaciones de la potencia óptica del diodo láser, inducidas por el fenómeno de retroinyección óptica.

35 A la salida del fotodiodo, como está ilustrado en la figura 2, un medio de conversión, denominado primer medio de conversión 151, trata la señal SM procedente del fotodiodo y la convierte en una medición de desplazamiento, denominada medición de desplazamiento total DSM.

Esta medición de desplazamiento total DSM tiene en cuenta la medición de desplazamiento del blanco y de desplazamiento debido a los movimientos del diodo láser 11 cuando éste está en funcionamiento.

40 En un ejemplo de realización, el primer medio de conversión 151 utiliza un método de recuento de franjas para reconstruir el desplazamiento total DSM a partir de la señal SM. La precisión de este método está ligada a la longitud de onda del diodo láser utilizado.

En otro ejemplo de realización, el primer medio de conversión 151 utiliza un método de despliegue de fase para reconstruir el desplazamiento total DSM a partir de la señal SM.

Los dos métodos enunciados anteriormente, recuento de franjas y despliegue de fase, son métodos en sí conocidos y por tanto no serán descritos.

45 El primer medio de conversión 151 puede ser analógico o digital según la señal SM.

El dispositivo de medición 10 comprende además un sensor de movimiento 14. En un ejemplo preferido de realización, este sensor de movimiento es un acelerómetro dispuesto en la proximidad del diodo láser 11, preferentemente solidario del diodo láser. De acuerdo con la invención, el acelerómetro 14 es utilizado ventajosamente para medir el desplazamiento debido a los movimientos del diodo láser 11.

El acelerómetro 14 puede ser por ejemplo de tipo óptico o piezoeléctrico. En un ejemplo preferido de realización, el acelerómetro es un acelerómetro a base de sistemas microelectromecánicos, denominado MEMS. Los acelerómetros a base de MEMS son de pequeño volumen y permiten ventajosamente situar el citado acelerómetro lo más cerca de la fuente láser.

- 5 El desplazamiento debido a los movimientos del diodo láser es medido indirectamente por la medición de la aceleración de la fuente láser por el acelerómetro.

A la salida del acelerómetro, un medio de conversión, denominado segundo medio de conversión 152, trata una señal, denominada señal de aceleración, procedente del acelerómetro y la convierte en una medición de desplazamiento del diodo láser, denominada medición de desplazamiento Dp.

- 10 La señal de aceleración puede ser por ejemplo una señal de tensión, una señal digital.

En un ejemplo de segundo medio de conversión, como ilustra la figura 2, el citado segundo medio de conversión 152 utiliza un método de doble integración de la señal de aceleración para reconstruir el desplazamiento del diodo láser a partir de la señal de aceleración.

El segundo medio de conversión 152 puede ser analógico o digital según la señal de aceleración.

- 15 A la salida del segundo medio de conversión 152, un medio de calibración 153 del acelerómetro 14 con respecto al diodo láser 11 calibra la medición de desplazamientos del diodo láser 11.

Como ilustra la figura 2, el citado medio de calibración comprende un sistema de ganancia variable 154 para permitir compensar los errores de ganancia del propio acelerómetro y un desfaseador 155 para sincronizar las dos cadenas de medición, a saber la cadena de medición del diodo láser y la cadena de medición del acelerómetro.

- 20 El desplazamiento real reconstituido DT del blanco 20 es determinado después por una sustracción entre la medición de desplazamiento total DSM obtenida por el diodo láser sometido a un movimiento y la medición calibrada de desplazamiento Dacc obtenida a partir del acelerómetro.

El primer y segundo medio de conversión 151, 152, así como el medio de calibración 153 constituyen los medios de cálculo 15.

- 25 El dispositivo de medición 10 de acuerdo con la invención permite reconstituir la medición del desplazamiento del blanco DT. Este dispositivo puede ser utilizado ventajosamente en un gran intervalo de medición. En efecto, el intervalo de medición puede ser limitado por la semilongitud de coherencia del diodo láser. El intervalo de medición puede ir hasta varios metros, según la fuente luminosa láser elegida.

- 30 Es importante observar aquí que, a fin de corregir los desplazamientos parásitos de la fuente láser, se sustrae, en el presente procedimiento, el desplazamiento medido obtenido por el acelerómetro en el sentido del haz láser.

No solamente la ganancia, sino también la fase de la señal de desplazamiento reconstituida a partir de la señal de aceleración, son corregidas para tener en cuenta desfases introducidos por el tratamiento de la señal de self-mixing y de la señal de aceleración. Estas correcciones permiten obtener una buena precisión de medición.

- 35 Puesto que las etapas del tratamiento de la señal efectuado en cada uno de los dos canales (acelerómetro y canales de automezclado) son de naturaleza no lineal (filtrado, integración, derivación, etc.), las fases de las señales finales en los dos canales son no nulas y varían en toda la anchura de la banda pasante del sistema.

Por consiguiente, una simple sustracción directa de las dos señales finales por el especialista en la materia no puede permitir obtener una evaluación correcta del desplazamiento del blanco.

- 40 El presente procedimiento comprende así etapas complementarias de calibración y de corrección de las respectivas fases de las señales.

De hecho, una corrección de fase se manifiesta más importante que una corrección de ganancia, conduciendo una diferencia importante de fase entre las dos señales finales a una muy mala señal obtenida después de la sustracción.

- 45 La corrección de fase entre las dos señales finales puede ser obtenida por diferentes medios, de los cuales se citan tres a continuación a título no limitativo:

1) Puede utilizarse un filtro analógico pasa todo, con una relación de fase personalizada, concebida para corregir la fase de una de las dos señales finales con respecto a la otra señal.

- 50 2) Puede utilizarse un filtro digital con una relación entre fase y medición para hacer corresponder la fase de una señal con respecto a la otra. Tal solución podría implicar un coste suplementario de conversiones analógica-digital y digital-analógica. Sin embargo, puede utilizarse una relación de fase muy precisa con datos digitales.

3) Un análisis espectral de las dos últimas señales permite obtener la relación entre estas dos señales. A continuación, puede realizarse una corrección por la modificación de estos espectros de manera que las señales resultantes estén en fase.

5 Sin embargo, esta corrección de ganancia y de fase no es suficiente si se desea, como es el caso en el presente procedimiento, tener resoluciones próximas a la resolución intrínseca del sensor láser. En efecto, dos fenómenos distintos pueden generar errores:

- el ruido del acelerómetro
- el acoplamiento entre los diversos ejes del acelerómetro.

10 Considérese en primer lugar el ruido del acelerómetro. Durante el proceso de doble integración necesario para obtener la señal de desplazamiento a partir de la señal de aceleración, el ruido procedente del sensor de aceleración experimenta a su vez esta doble integración.

Por esta razón, resulta un aumento del ruido de la señal de desplazamiento así reconstituida en $1/f^2$ donde f designa la frecuencia considerada.

15 Para evitar las derivas a bajas frecuencias del sensor (random walk) resultantes, el presente procedimiento comprende una etapa de filtrado, con la ayuda de un paso alto de orden elevado, de la señal procedente del acelerómetro.

En general, la frecuencia baja de corte de este filtro viene fijada por el error máximo que puede ser tolerado por el sistema.

20 Por ejemplo, con un acelerómetro lineal de tipo conocido con el nombre comercial de LIS344ALH (marca registrada) de ST (marca registrada), esta frecuencia es del orden de 20 Hz para obtener una corrección con una resolución igual a la del self-mixing, o sea de 50 nm. Ésta sería de 1 Hz para un dispositivo de tipo conocido con el nombre comercial de SF1500 (marca registrada) de Colibrys (marca registrada).

25 En lo que concierne ahora al acoplamiento entre los diversos ejes del acelerómetro, este acoplamiento puede ser debido a una mala alineación, ya sea extrínseca (con respecto al sensor láser), o intrínseca (con respecto a ejes internos del acelerómetro). En general, el acoplamiento es inferior al 2%. Hay que señalar que este acoplamiento se observa, disponga el acelerómetro de un solo eje, de dos ejes o de tres ejes.

Por ello, si la perturbación (vibración parásita) que se aplica al láser está mayoritariamente orientada según un eje perpendicular al del haz láser, se compromete la información facilitada por el acelerómetro.

30 El procedimiento aquí descrito a título de ejemplo no limitativo comprende así una etapa de calibración del acelerómetro con respecto al acoplamiento entre los ejes que es necesaria para poder garantizar la resolución deseada.

A fin de ilustrar el desplazamiento reconstituido del blanco a partir del dispositivo de medición de acuerdo con la invención, se han realizado numerosas experiencias que se sintetizan a continuación en forma de cuatro ejemplos.

Para todas las experiencias:

- 35 - la fuente luminosa láser es un diodo láser de tipo conocido con el nombre comercial de HL 7851G (marca registrada) de Hitachi (marca registrada) que emite a una longitud de onda λ de 785 nm con fotodiodo integrado. El diodo láser es alimentado por una corriente de inyección constante de 30 mA, y a una potencia de salida máxima de 50 mW,
- 40 - el sensor de aceleración es un acelerómetro de tipo conocido con el nombre comercial de ADXL311 (marca registrada) de Analog Devices (marca registrada) con una resolución de $300 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ y una banda pasante de 5 kHz,
- las vibraciones/desplazamientos susceptibles por ejemplo de ser parásitos para el diodo láser son generadas por un bote vibratorio del cual son solidarios el diodo láser y el acelerómetro,
- 45 - el blanco es situado a una distancia de 45 cm del diodo láser, y el desplazamiento de éste es generado por un sensor piezoeléctrico de tipo P753.2CD de Physik Instrumente®. Este sensor piezoeléctrico está acoplado a un sensor capacitativo para medir directamente el desplazamiento del sensor piezoeléctrico con una resolución de 2 nm.

50 Para obtener los coeficientes de calibración sobre la ganancia y la fase del medio de calibración, se utiliza en este ejemplo de realización una fase de calibración del dispositivo de medición de acuerdo con un modo particular de la invención a fin de obtener una mayor precisión. Durante esta fase de calibración, solo el diodo láser se desplaza, en este ejemplo, con la ayuda del bote vibratorio, mientras que el blanco está inmóvil. Se han realizado cuatro series de

mediciones entre 20 Hz y 400 Hz por pasos de 20 Hz. Las señales extraídas del acelerómetro y del diodo láser son comparadas para obtener los coeficientes de calibración de ganancia y de fase y son almacenadas en una tabla de valor. Después de esta fase de calibración, el error en la fase medido es inferior a 2° y el error medido en la ganancia es inferior al 3 %.

5 Se presentan ahora cuatro experiencias. Los resultados obtenidos están ilustrados respectivamente en las figuras 3, 4, 5 y 6. En cada figura:

- la curva numerada con 1 ilustra la señal de desplazamiento total, reconstruida a partir de las señales obtenidas por el diodo láser,
- 10 - la curva numerada con 2 ilustra la señal de desplazamiento real, reconstruida a partir de las señales obtenidas por el diodo láser y por el acelerómetro,
- la curva numerada con 3 ilustra la señal de desplazamiento del blanco, es la curva de referencia.

Ejemplo 1: el blanco y el bote vibratorio vibran a la misma frecuencia de manera sinusoidal.

En este primer ejemplo, el bote vibratorio y el blanco vibran a una frecuencia idéntica de 81 Hz, con una amplitud de señal de 3,5 μm y 2,5 μm respectivamente.

15 Los resultados son obtenidos en la figura 3.

Se constata que para la curva 1, se obtiene una amplitud de desplazamiento errónea de 5 μm , mientras que para la curva 2, se está próximo a la curva 3.

20 Este primer ejemplo permite mostrar que el dispositivo de medición de acuerdo con la invención permite reconstruir el desplazamiento real del propio blanco en presencia de una vibración de igual frecuencia. Esto puede ocurrir frecuentemente en el caso de un acoplamiento mecánico no deseable entre el dispositivo de medición y el blanco vibratorio.

Ejemplo 2: el blanco y el bote vibratorio vibran a frecuencias diferentes de modo sinusoidal.

En este segundo ejemplo, el bote vibratorio vibra a una frecuencia de 167 Hz con una amplitud de señal de 2 μm y el blanco vibra a una frecuencia de 97 Hz con una amplitud de señal de 2,5 μm .

25 Los resultados son obtenidos en la figura 4.

En este segundo ejemplo, se constata que para la curva 1, se obtiene una señal de desplazamiento distorsionada, mientras que en la curva 2, se está próximo a la curva 3.

Ejemplo 3: el blanco y el bote vibratorio vibran de modo arbitrario.

El bote vibratorio vibra a una combinación de frecuencias de 46 Hz-92 Hz-194 Hz-276 Hz.

30 El blanco vibra a una combinación de frecuencias de 26 Hz-104 Hz-216 Hz.

Los resultados son obtenidos en la figura 5.

En este tercer ejemplo, se constata que, para la curva 1 se obtiene una señal de desplazamiento muy distorsionada con altas amplitudes, mientras que para la curva 2, se está de nuevo próximo a la curva 3 de referencia.

Ejemplo 4: el blanco vibra a una frecuencia fija de manera sinusoidal y el bote vibratorio vibra de modo arbitrario.

35 El bote vibratorio vibra a una combinación de frecuencias de 46 Hz-92 Hz-194 Hz-276 Hz.

El blanco vibra a una frecuencia de 91 Hz con una amplitud de 2,3 μm .

Los resultados son obtenidos en la figura 6.

En este cuarto ejemplo, se constata que, para la curva 1, se obtiene una señal de desplazamiento distorsionada y una alta amplitud, mientras que para la curva 2, se esta de nuevo próximo a la curva 3 de referencia.

40 El dispositivo de medición de acuerdo con la invención permite ventajosamente reducir el error de medición de desplazamiento del blanco por un sensor de retroinyección óptica causado por los desplazamientos del diodo láser.

45 El dispositivo de medición de acuerdo con la invención es un dispositivo simple de realizar, poco voluminoso, auto alineado y robusto para la medición de desplazamiento con una precisión de 300 nm en la presente realización, con el acelerómetro de tipo ADXL311 de Analog Devices. Éste presenta igualmente la ventaja de ser de coste abordable y transportable en medio industrial.

En una variante de realización de la invención, es posible considerar un sistema de medición formado por la asociación de al menos dos dispositivos de medición óptica 10, situados según ejes diferentes, para la medición conjunta de desplazamientos transversales del blanco 20.

5 En un ejemplo de realización, cuando el conjunto está formado por dos dispositivos de medición óptica 10 situados según dos ejes diferentes, el desplazamiento del blanco 20 es determinado entonces bidimensionalmente, en un plano formado por los dos ejes.

En otro ejemplo de realización, cuando el conjunto está formado por tres dispositivos de medición óptica 10 situados según tres ejes diferentes, el desplazamiento del blanco 20 es determinado tridimensionalmente.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de medición óptica (10) de un parámetro físico que comprende:
 - una fuente luminosa láser (11) para generar un haz de medición en dirección a un blanco (20) y para recibir el haz de medición reflejado por el citado blanco, recorriendo el citado haz de medición un camino óptico cuya variación es función del parámetro físico que hay que determinar, comprendiendo la citada fuente luminosa láser una cavidad óptica (111) y medios de medición del haz de medición reflejado por el blanco,
 - un sensor de movimiento (14) de la fuente luminosa láser (11),
 - medios de cálculo (15) del parámetro físico a partir de una señal de medición a nivel de la fuente luminosa láser (11) y de una señal medida por el sensor de movimiento (14),
- 10 caracterizado por que los medios de cálculo (15) comprenden un medio de calibración (153) del sensor de movimiento (14) con respecto a la fuente luminosa láser (11), el citado medio de calibración comprende un sistema de ganancia variable (154) y un desfasador (155).
2. Dispositivo de medición de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual los medios de cálculo (15) comprenden un primer medio de conversión (151) de la señal medida a nivel de la fuente luminosa láser (11) en una medición de variación de camino óptico total y un segundo medio de conversión (152) de la señal medida por el sensor de movimiento (14) en una medición de desplazamiento de la fuente luminosa láser.
3. Dispositivo de medición de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, en el cual el sensor de movimiento (14) es un acelerómetro.
4. Dispositivo de medición de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 3 que comprende un fotodiodo (13) a la salida de la fuente luminosa láser (11), aguas arriba del primer medio de conversión (151).
5. Dispositivo de medición de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, en el cual la fuente luminosa láser (11) es un diodo láser.
6. Procedimiento de medición de un parámetro físico a partir del dispositivo de medición óptica de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5 que comprende las etapas de:
 - emisión de un haz de medición por la fuente luminosa láser (11) en dirección al blanco (20),
 - medición a nivel de la fuente luminosa láser (11) de una señal representativa de la variación de camino óptico total,
 - medición por el sensor de movimiento (14) de un señal representativa del desplazamiento de la fuente luminosa láser (11), durante la medición a nivel de la fuente luminosa láser,
 - determinación de la variación de camino óptico total por el primer medio de conversión (151), a partir de la señal medida por la fuente luminosa láser (11),
 - determinación del desplazamiento de la fuente luminosa láser por el segundo medio de conversión (152), a partir de la señal medida por el sensor de movimiento (14),
 - determinación del parámetro físico a partir de la variación de camino óptico total y del desplazamiento de la fuente luminosa láser,
- caracterizado por que el procedimiento comprende una etapa de calibración realizada por los medios de calibración (153), comprendiendo la citada etapa de calibración una corrección de fase y ganancia entre la señal medida por el sensor de movimiento (14) y la señal representativa de la variación de camino óptico total.
7. Utilización del dispositivo de medición óptica de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5 para la inspección y el control no destructivo de materiales y piezas manufacturadas.
8. Utilización del dispositivo de medición óptica de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5 para la medición de desplazamientos y de vibraciones de un blanco.
9. Utilización del dispositivo de medición óptica de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5 para la detección de variación de una mezcla gaseosa y/o líquida.
10. Sistema embarcado que comprende un dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5.
11. Dispositivo de medición (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el parámetro físico medio es el desplazamiento del blanco según un eje XX'.

12. Sistema para la medición de desplazamientos de un blanco según N ejes, N superior o igual a dos, que comprende N dispositivos de medición óptica de acuerdo con la reivindicación 11.

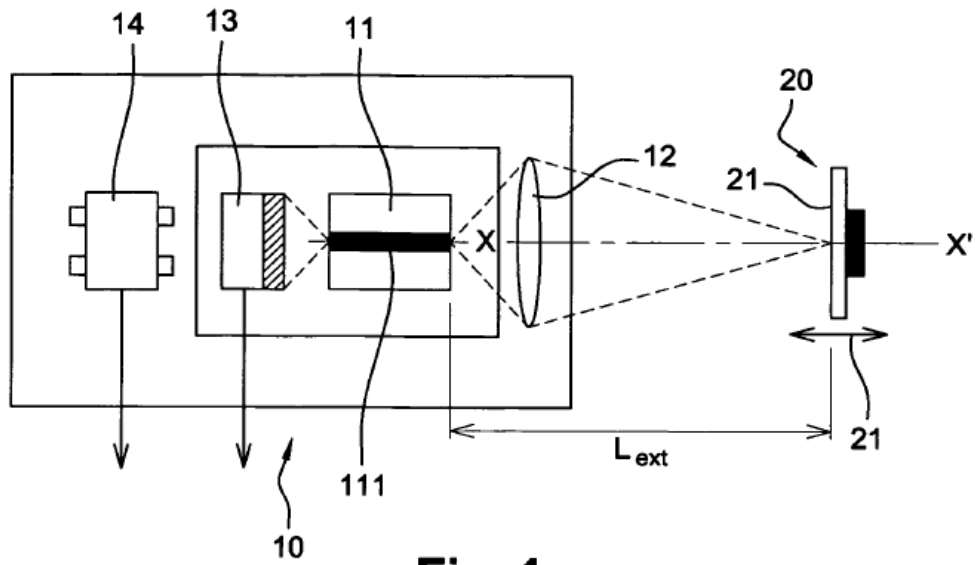


Fig. 1

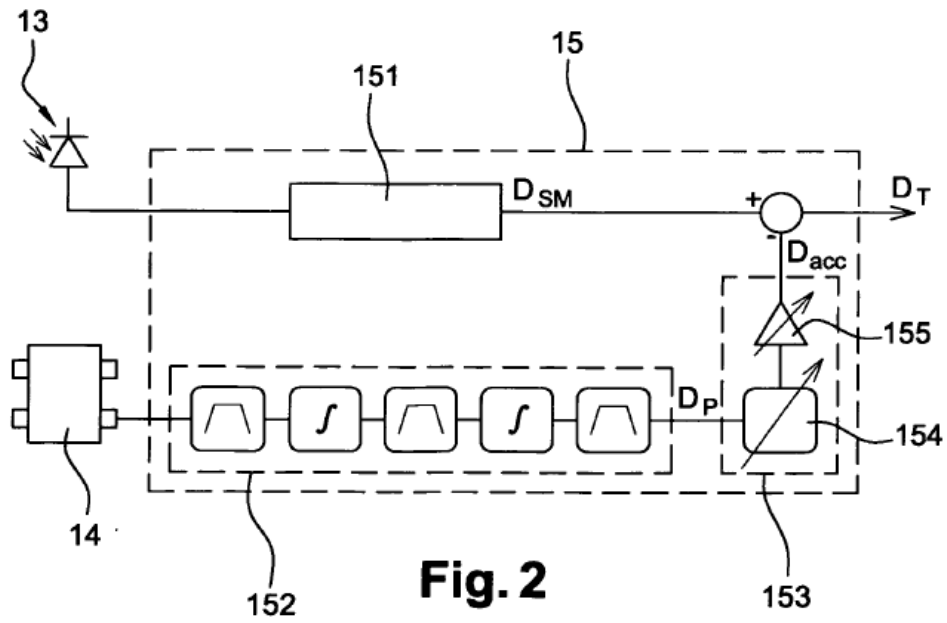


Fig. 2

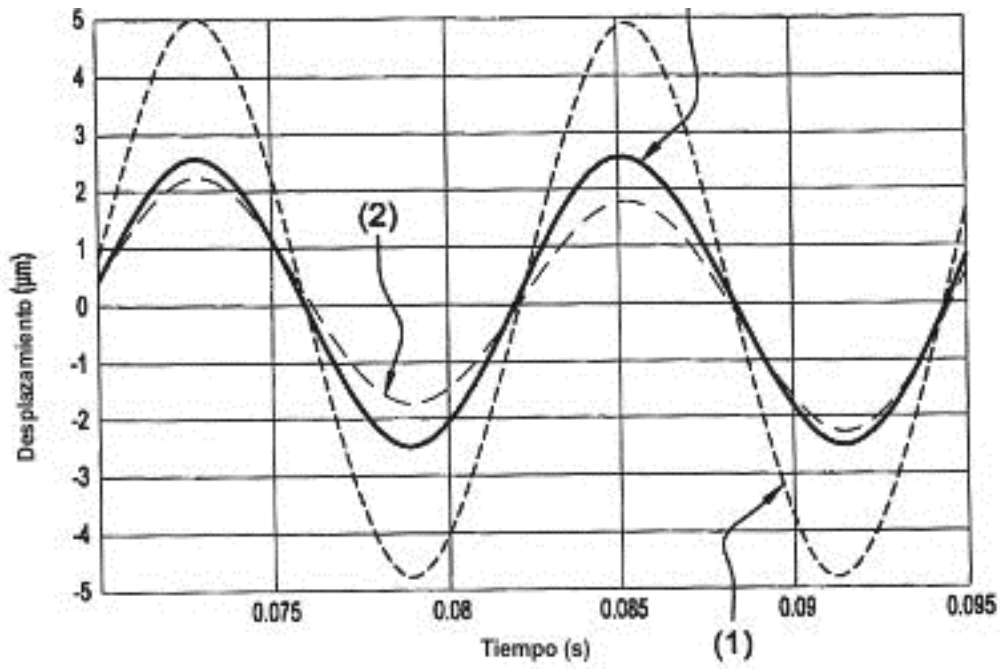


Fig. 3

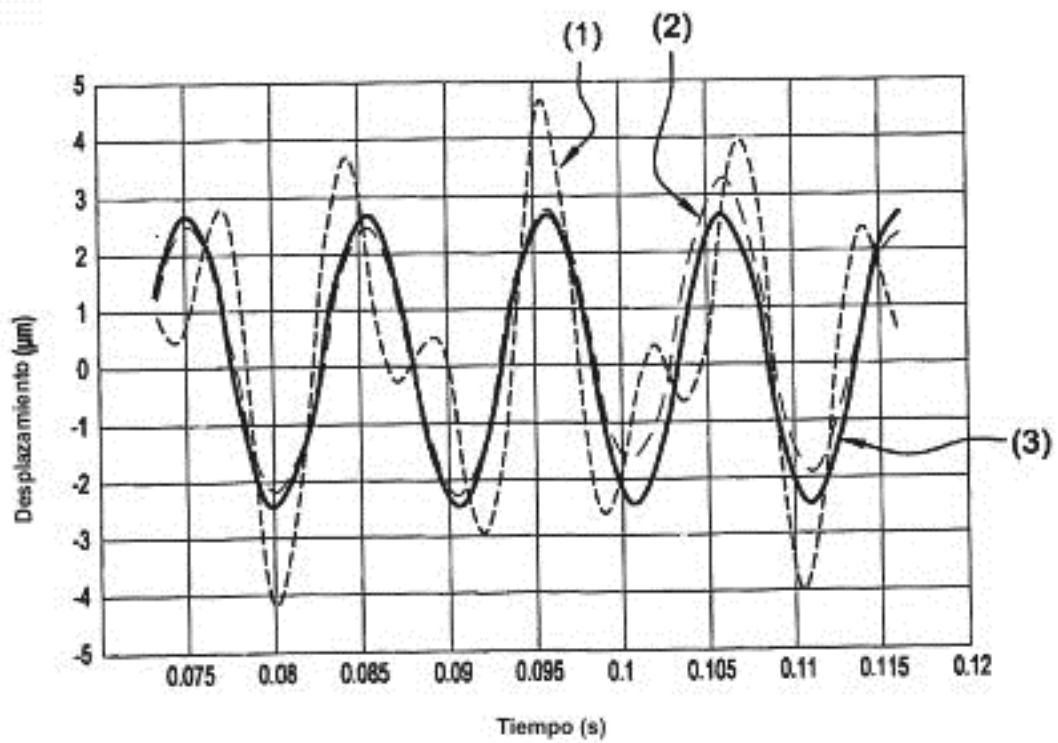


Fig. 4

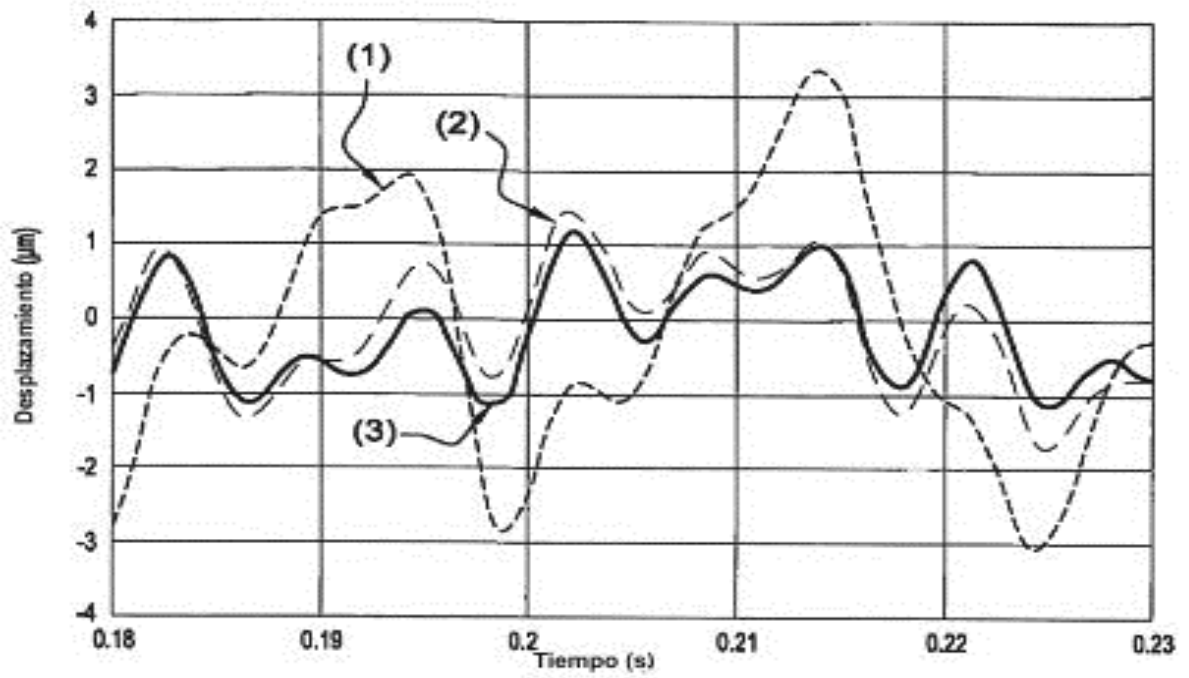


Fig. 5

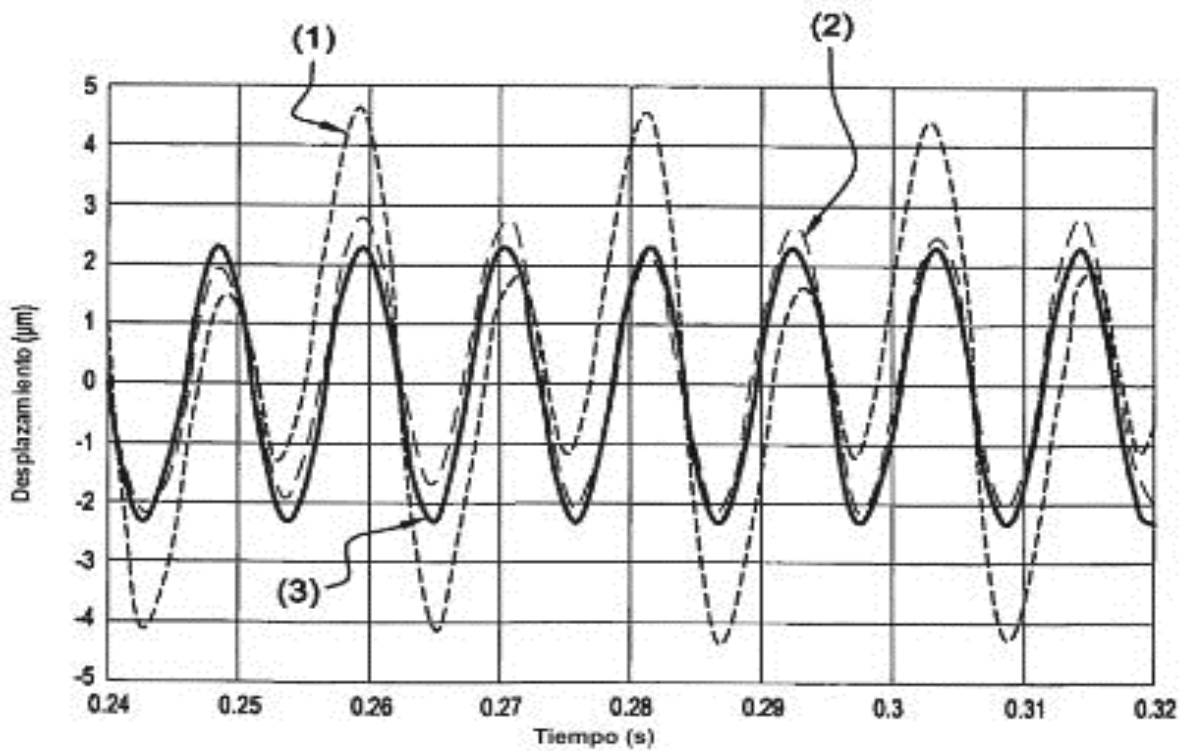


Fig. 6