

**SISTEMA BASADO EN EL EFECTO DOPPLER Y MÉTODO DE MEDICIÓN EN EL
EJE DEL MOVIMIENTO DE LA SUPERFICIE**

CAMPO TÉCNICO

- 5 La presente invención se refiere al campo de la deflectometría y la divergencia de la colocación de la superficie, en particular la defletometría sin contacto basada en mediciones de desplazamiento Doppler.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- 10 Se sabe que la medición de la deflexión de superficies bajo la fuerza de una carga predeterminada es útil para la determinación de las propiedades de esa superficie, como la capacidad de carga, la durabilidad, el desgaste e incluso la integridad del material de la cimentación.
- 15 Una forma conocida de determinar la deflexión de una superficie que se mueve en relación con el deflectómetro es mediante la detección del desplazamiento Doppler de la luz coherente reflejada en la superficie desviada.

- El documento EP 2535679 A1 divulga un sistema óptico (100) para reducir los efectos del moteado en un sistema de interferómetro, pero no divulga un sistema para el
- 20 monitorización de superficies, y no tiene indicaciones sobre el dimensionamiento del tamaño del haz. El documento JP H07 229913 A divulga un velocímetro dispuesto como un sistema óptico, pero no divulga un método o sistema para el monitorización de carreteras ni ningún problema de moteado como se describe en la presente solicitud.

25

- La deflectometría basada en Doppler tiene varios beneficios. Una de estas ventajas es que las mediciones son sin contacto, es decir, se basan en la reflexión de la luz. Otro beneficio es que la medición se realiza mientras el deflectómetro, la superficie o ambos están en movimiento, por lo tanto, no es necesario pausar completamente el
- 30 funcionamiento de un sistema para realizar las mediciones. Por ejemplo si la superficie a medir es una carretera, no es necesario bloquear esa carretera y detener el tráfico para realizar la medición, ya que el deflectómetro se puede ubicar en un vehículo, o si la superficie a detectar es una cinta transportadora no es necesario detener el transporte mientras se realiza la medición.

35

Sin embargo, el principio subyacente de la alta sensibilidad a pequeños cambios en la distancia entre el sensor y la superficie también hace que estos deflectómetros basados en Doppler sean muy sensibles a la descorrelación de moteado en superficies ópticamente rugosas y a la suciedad en la superficie a medir, como la arena y la grava en una carretera, o la estructuración de una cinta transportadora para proporcionar una mayor fricción. Esta descorrelación de moteado provoca fluctuaciones en la señal que son indicativas de otras características además de la deflexión que se va a medir. Una solución sugerida a este problema es la diversificación del receptor que permite que el sistema que transporta el deflectómetro mantenga una distancia constante a la superficie a detectar. Tales compensaciones para la descorrelación de moteado son técnicamente complicadas y costosas.

RESUMEN DE LA INVENCION

Numerosos objetos y ventajas, que se pondrán de manifiesto a partir de la descripción de la presente invención, se obtienen de acuerdo con un primer aspecto de la presente invención mediante:

Un método para medir ópticamente la divergencia de una superficie en dirección axial en un ángulo con respecto a dicha superficie, que comprende:

- proporcionar un sistema óptico, compuesto por una fuente láser y un detector;
- emitir un rayo láser de luz coherente desde dicha fuente láser de dicho sistema óptico en dicha dirección axial hacia dicha superficie mientras dicha superficie se mueve en una dirección transversal en relación con dicho rayo láser emitido;
- dicho rayo láser emitido de tal manera que el radio del haz en dicha superficie es mayor o igual que $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$ en el que λ es la longitud de onda del rayo láser emitido y L es la distancia desde la fuente láser hasta dicha superficie, de tal manera que el radio del haz en dicha superficie está dentro de un rango de $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$ hasta 5 veces $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$;
- medir una señal óptica de un haz reflejado desde dicha superficie;
- determinar la frecuencia Doppler del haz reflejado;
- en base a la frecuencia Doppler determinar el movimiento de dicha superficie en dicha dirección axial.

Por dirección axial se entiende una primera dirección que se cruzará con la superficie, cuya divergencia se va a medir la superficie y el material subyacente. Por divergencia se entiende el cambio dinámico de la distancia entre el detector y la superficie, por

ejemplo, debido a una deflexión bajo una fuerza aplicada o debido a vibraciones. El sistema óptico se ubicará a una distancia L de la superficie a lo largo de la dirección axial. La luz coherente emitida por la fuente láser se emitirá en la dirección axial. En algunas variantes, el sistema óptico puede estar dispuesto de tal manera que la dirección axial sea sustancialmente perpendicular a la superficie, como 0-10 grados desde la perpendicular, generalmente de 0 a 2 grados desde la perpendicular. En algunas variantes, el sistema óptico puede estar dispuesto de tal manera que la dirección axial esté en un ángulo que oscile entre 30 y 150 grados con respecto a la superficie. En algunas variantes, el ángulo entre el sistema óptico y la superficie puede variar durante el tiempo en el que se realizan las mediciones. Por ejemplo, si se mide la variación en la distancia entre la superficie y el sistema óptico debido a la deflexión de la superficie, una carga que está causando la deflexión de la superficie también puede hacer que el ángulo cambie. El ángulo también puede cambiar debido al movimiento relativo del sistema óptico y la superficie, ya que la irregularidad de la superficie puede causar variaciones en el ángulo dependiendo de la posición relativa en el momento de la medición.

La fuerza que causa la divergencia en la superficie y el material subyacente, por ejemplo, una fuerza aplicada, debe moverse en relación con la superficie en una dirección transversal para que se produzca cualquier velocidad en la dirección axial, ya que la velocidad axial depende de cuánto se vea afectado el material debajo de la superficie por la fuerza de deflexión. Alternativamente, una onda estacionaria o una vibración a través del material puede producir la velocidad axial. Por ejemplo, un medio de deflexión, es decir, un medio para aplicar una fuerza de deflexión, puede montarse junto con el sistema óptico, de modo que el sistema óptico y la fuerza de deflexión se muevan juntos en relación con la superficie, de modo que la velocidad axial varíe en respuesta a la fuerza de deflexión constante a medida que el material se desvía en un grado variable dependiendo de la resistencia estructural del material. En las variantes en las que un medio para aplicar la fuerza de deflexión está montado de forma fija en relación con el sistema óptico, la fuerza que causa la divergencia y el sistema óptico se moverán juntos en una dirección transversal en relación con la superficie.

Conocer la distancia del movimiento relativo en la dirección transversal permite correlacionar el desplazamiento Doppler medido con una posición en la superficie, por ejemplo, para determinar dónde la resistencia del material se debilita de tal manera que

la fuerza de deflexión provoca una mayor velocidad axial que donde el material es fuerte.

La medición del haz reflejado en la dirección axial, es decir, en el eje con el rayo láser emitido, provoca interferencias entre el haz láser coherente emitido y el haz reflejado desplazado Doppler. Este diagrama de interferencia puede ser medido por el detector y, a partir de tales mediciones, puede determinarse la velocidad relativa entre el sistema óptico y la superficie. Debe entenderse que, si bien lo que se mide es la reflexión de la superficie y, por lo tanto, la anchura del haz en la intersección con la superficie lo que es importante, las mediciones se refieren a las propiedades de la estructura subyacente, por ejemplo, la integridad del material y cuánto puede ceder el material bajo la fuerza de deflexión aplicada en lugar de a la estructura de la superficie.

Es preferible la medición coaxial de la reflexión, es decir, que el rayo láser coherente y el haz reflejado sean coaxiales, ya que las mediciones se simplifican. Sin embargo, debe entenderse que en otras variantes el sistema puede configurarse para medir un haz reflejado que no es coaxial con el rayo láser coherente emitido, por ejemplo, haciendo que el haz reflejado se recoja en ángulo o se guíe hasta el detector a través de una ruta separada. Las ventajas de la anchura de haz optimizada no se limitan a la medición coaxial.

Al adaptar el sistema óptico para proporcionar un rayo láser con un radio de haz que cae dentro de un cierto rango, se entiende que la disposición de los componentes del sistema óptico es tal que a la distancia L , el radio del haz de un haz gaussiano emitido por una fuente láser del sistema óptico caerá dentro de ese rango donde la intensidad óptica cae a $1/e^2$. En otras palabras, el radio del haz de la invención se determina de acuerdo con el estándar de radio del haz gaussiano y es el radio en el que la intensidad del haz gaussiano ha disminuido a $1/e^2$ desde la intensidad máxima en el eje central del haz. Este es el caso de los perfiles de haz circulares y elípticos, de modo que para los perfiles de haz elípticos al menos uno de los radios largo o corto cumple los requisitos del radio del haz. Por ejemplo, para un haz elíptico, el radio grande puede cumplir el requisito, mientras que el radio pequeño es significativamente más pequeño, lo que tiene la ventaja de proporcionar una alta potencia de la luz láser reflejada debido al radio pequeño, al tiempo que se obtienen los beneficios de un haz amplio de acuerdo con la invención. Dicha disposición puede surgir de una combinación de la elección de la fuente láser, los medios de guía en las trayectorias ópticas, como las fibras ópticas,

así como la elección de una o más lentes y su distancia relativa para dar forma al rayo láser. La persona experta apreciará que se pueden elegir varias combinaciones, que conducirán al radio del haz de acuerdo con la invención, por ejemplo, colocando varias lentes en secuencia.

5

El aumento del radio del haz es beneficioso para minimizar los efectos adversos de la descorrelación de moteado. Mientras tanto, la disminución del radio del haz es beneficiosa, ya que aumenta la potencia del haz reflejado, lo que a su vez aumenta la precisión de la medición. Siendo el radio del haz en la superficie mayor o igual que

10 $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$ en el que λ es la longitud de onda del rayo láser emitido y L es la distancia desde la fuente láser hasta dicha superficie, lo que garantiza que los efectos adversos de la descorrelación de moteado se reduzcan y se puedan lograr mediciones confiables. Para lograr un equilibrio entre las preocupaciones opuestas de la descorrelación de moteado y la potencia del haz reflejado a detectar, el radio del haz está preferiblemente dentro

15 de un rango de $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$ hasta 5 veces $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$ en el que λ es la longitud de onda del rayo láser emitido y L es la distancia desde la fuente láser hasta dicha superficie. En una variante preferida, el radio del haz estará dentro del rango de 1 a 3,5 veces $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$. En una variante aún más preferida, el radio estará dentro del rango de 1 a 2,3 veces $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$, como dentro de 1,4 a 1,9 veces $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$.

20

De acuerdo con una realización adicional del primer aspecto de la invención, se monitoriza la distancia que dicho sistema óptico ha recorrido en la dirección transversal en relación con dicha superficie y/o se monitoriza la velocidad del movimiento transversal relativo.

25

En algunas variantes, el sistema óptico se monta junto con medios para aplicar una fuerza de deflexión para proporcionar una divergencia de la superficie para formar un sistema combinado. En estas variantes, el seguimiento de la distancia que ha recorrido el sistema combinado en la dirección transversal con respecto a la superficie permite la

30 correlación entre una frecuencia Doppler medida y la posición de la superficie correspondiente a esa medición. La distancia recorrida puede medirse, por ejemplo, mediante sensores de rueda, que determinan con precisión la distancia en función de

las rotaciones. En otras variantes, la velocidad relativa del movimiento en la dirección transversal puede controlarse y utilizarse para determinar la distancia recorrida durante el tiempo de medición a fin de correlacionar la posición entre los puntos de frecuencia Doppler medida y la posición en la superficie correspondiente a la medición.

5

De acuerdo con una realización adicional del primer aspecto de la invención, el movimiento relativo entre la superficie y el sistema óptico se debe al movimiento de un vehículo sobre el cual se monta el sistema óptico a lo largo de la superficie.

- 10 Tener el sistema óptico montado en un vehículo que puede ser autopropulsado tiene la ventaja de hacer que el sistema óptico sea móvil y, por lo tanto, fácil de usar mientras está en movimiento, por ejemplo, para medir carreteras. En otras variantes, el sistema óptico puede montarse por separado de un vehículo, por ejemplo, en un remolque que puede ser arrastrado por un vehículo separado.

15

El vehículo o el remolque en el que se monta el sistema óptico también puede incluir equipos de asistencia, como una carga, que se puede aplicar a la superficie y causar deflexión mientras el sistema óptico mide esa deflexión. La carga puede ser ajustable o fija.

20

De acuerdo con una realización adicional del primer aspecto de la invención, el movimiento relativo entre la superficie y el sistema óptico depende de la traslación y/o rotación de la superficie mientras el sistema óptico es estático.

- 25 El montaje estático del sistema óptico es beneficioso para superficies que están dispuestas para moverse, por ejemplo, cintas transportadoras o partes móviles en maquinaria, por ejemplo, piezas giratorias, donde la superficie a detectar se mueve por sí sola. En tales sistemas, la estabilidad o el desgaste de las partes móviles pueden ser monitorizados por un sistema óptico montado estáticamente. Por ejemplo, si el
30 desplazamiento Doppler medido supera un cierto umbral, puede ser indicativo de que una pieza está desgastada o montada torcida.

- De acuerdo con una realización adicional del primer aspecto de la invención, los resultados de la medición se transmiten a una unidad de procesamiento de datos para
35 su almacenamiento y/o procesamiento.

La transmisión de los resultados de medición a una unidad de procesamiento de datos externa tiene varias ventajas. Puede permitir que las unidades ópticas sean más pequeñas, ya que necesitan menos potencia de procesamiento a bordo. Además, la unidad de procesamiento de datos externa puede recibir datos de múltiples sistemas ópticos, lo que permite el mapeo central de una superficie y/o la calibración de uno o más sistemas ópticos basados en un sistema óptico de referencia que también transmite datos de medición a la unidad de procesamiento de datos externa. La unidad de procesamiento de datos externa también puede contener datos de mediciones anteriores de la superficie, lo que permite comparar y controlar los cambios a lo largo del tiempo, por ejemplo, debido al desgaste.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema óptico para su uso en el método descrito anteriormente.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, los objetos y ventajas anteriores se obtienen mediante:

Un sistema óptico para su uso en un método de medición de la divergencia superficial de acuerdo con el método de la invención, que comprende

una fuente láser para emitir luz coherente,
 una primera ruta óptica está dispuesta para guiar la luz coherente de dicha fuente láser y para dirigir un rayo láser coherente hacia una superficie, siendo dicha primera ruta óptica el mantenimiento de la polarización,
 un detector, para detectar un haz de luz reflejado en dicha superficie,
 una segunda ruta óptica para recoger y guiar dicho haz reflejado a dicho detector, siendo dicha segunda ruta óptica la polarización que mantiene,
 un divisor de haz polarizador dispuesto entre dicha primera trayectoria óptica y dicha segunda trayectoria óptica para desviar el haz reflejado en el eje a dicha segunda trayectoria óptica,

Dicho sistema óptico proporciona a dicho rayo láser un radio de haz mayor o igual que $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$ en la intersección con dicha superficie, de tal manera que el radio del haz esté dentro de un rango de $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$ hasta 5 veces $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$.

Por fuente láser se entiende cualquier fuente que esté configurada para emitir luz coherente, es decir, luz láser. Puede ser cualquier fuente láser conocida, como, entre

otros, láseres de gas, láseres de estado sólido, láseres de fibra, láseres de colorante o diodos láser.

5 En algunas variantes, la fuente láser puede emitir luz coherente con una longitud de onda en el rango de 1000 nm a 3000 nm, como dentro del rango de longitud de onda de 1400 nm a 2000 nm, como 1500 nm a 1600 nm, generalmente a 1550 nm debido a la disponibilidad de láseres adecuados a esta longitud de onda, lo que lo convierte en una solución rentable.

10 El detector está adaptado para realizar mediciones que se correlacionan con la velocidad axial entre el sistema óptico y la superficie que se utiliza para medir. En algunas variantes, el detector puede estar midiendo la intensidad del haz de luz reflejado en la superficie, lo que permite determinar el patrón de interferencia y medir la frecuencia Doppler.

15

En algunas variantes preferidas, el sistema óptico comprende además una ruta óptica de derivación dispuesta para guiar una subparte de la luz coherente emitida desde dicha fuente láser directamente a dicho detector.

20 Tener una ruta óptica de derivación permite utilizar una gama más amplia de detectores en el sistema óptico, ya que la luz guiada directamente desde la fuente láser puede interferir con la luz reflejada dentro del detector.

25 En tales variantes preferidas que tienen el sistema óptico comprende una ruta óptica de derivación, un modulador acústico-óptico (AOM) está dispuesto en la ruta óptica de derivación. Un AOM de este tipo permite cambiar la frecuencia de la luz láser emitida.

30 Por una primera trayectoria óptica y una segunda trayectoria óptica se entiende cualquier medio de dirigir la luz hacia y desde los componentes del sistema óptico de acuerdo con la invención. Por ejemplo, una trayectoria óptica puede comprender fibras ópticas, rutas de espacio libre dirigidas por sistemas de lentes y/u otras guías de onda. En algunas variantes, todos los trayectos ópticos pueden ser del mismo tipo, por ejemplo, todos los trayectos ópticos pueden basarse en fibras ópticas, mientras que en otras variantes el primer trayecto óptico, el segundo trayecto óptico y/o el trayecto óptico
35 de derivación pueden ser de uno o más tipos diferentes.

El hecho de que la primera ruta óptica y la segunda ruta óptica estén compuestas por fibras ópticas permite variar la disposición de la fuente láser y el detector entre sí en la construcción del sistema óptico. Al hacer que la primera ruta óptica y la segunda ruta óptica mantengan la polarización, es posible utilizar un divisor de haz polarizado para
 5 dividir el rayo láser emitido y el haz reflejado y controlar que la luz reflejada se dirija al detector. Esto, a su vez, permite la recogida en el eje del haz reflejado, es decir, el haz emitido y el reflejado coinciden entre la superficie y el divisor de haz polarizado.

De acuerdo con una realización adicional del segundo aspecto de la invención, que
 10 comprende un sistema de lentes para controlar la forma de dicho rayo láser emitido de tal manera que dicho radio del haz en la intersección de dicho rayo láser y dicha superficie es mayor o igual que $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$, de tal manera que el radio del haz esté dentro de un rango de $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$ hasta 5 veces $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$.

15 El sistema de lentes puede comprender una o más lentes dispuestas para proporcionar un radio de haz mayor o igual que $(\lambda L/\pi)^{1/2}$, tal como si se encuentre dentro del rango de $(\lambda L/\pi)^{1/2}$ a 5 veces $(\lambda L/\pi)^{1/2}$. Tenga en cuenta que para el contexto de esta aplicación, el radio del haz se refiere al radio del haz de intensidad $1/e^2$ de un haz gaussiano emitido por una fuente láser coherente, que puede tener un perfil de haz
 20 circular o elíptico.

Debe entenderse que la elección específica del número de lentes, los tipos de lentes y las distancias entre lentes están interrelacionadas y también dependen de la elección de los láseres y la fibra. La persona experta sabrá cómo la elección de las lentes, por
 25 ejemplo, la elección de lentes cóncavas y/o convexas, lentes esféricas o asféricas y su curvatura afectarán la distancia focal y el radio del haz.

En las variantes preferidas, el sistema de lentes se dispone entre el divisor de haz y la superficie. En estas variantes, el sistema de lentes puede estar compuesto
 30 preferiblemente por dos lentes.

En otras variantes preferidas, las lentes del sistema de lentes pueden estar dispuestas entre la primera trayectoria óptica y el divisor de haz, así como entre la segunda trayectoria óptica y el divisor de haz. En otras variantes preferidas, las lentes del sistema
 35 de lentes pueden disponerse tanto antes como después del divisor de haz, por ejemplo,

entre la fuente láser y el divisor de haz y/o entre el detector y el divisor de haz, así como entre el divisor de haz y la superficie.

5 En algunas variantes, las lentes del sistema de lentes están montadas de tal manera que su distancia relativa se puede variar, lo que permite el ajuste del sistema de lentes para adaptarse al uso del mismo sistema óptico en diferentes contextos donde la distancia L a la superficie varía.

10 En algunas variantes, el sistema óptico puede fabricarse sin un sistema de lentes. La anchura de haz prevista puede obtenerse en función de la anchura del haz emitida por la fuente láser y de la ubicación de la fuente láser en relación con la superficie que se va a medir.

15 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, los objetos y ventajas anteriores se obtienen mediante:

Un sistema óptico para su uso en un método de medición de la divergencia superficial de acuerdo con el método de la invención, que comprende

- una fuente láser para emitir luz coherente,
- 20 un detector, para detectar un haz de luz reflejado en una superficie,
- una primera ruta óptica dispuesto para guiar la luz coherente de dicha fuente láser y para dirigir un rayo láser coherente hacia dicha superficie,
- una segunda vía óptica para recoger y guiar dicho haz reflejado a dicho detector,
- 25 un circulador dispuesto entre dicha fuente láser, dicho detector y dicha superficie para mantener separada la luz coherente emitida y el haz reflejado recogido; y

Dicho sistema óptico proporciona a dicho rayo láser un radio de haz mayor o igual que $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$ en la intersección con dicha superficie, de tal manera que el radio del

30 haz esté dentro de un rango de $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$ hasta 5 veces $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$.

Debe entenderse que la fuente láser y el detector pueden ser del mismo tipo que para la realización del sistema óptico descrita anteriormente.

En esta realización, debido a la presencia de un circulador óptico, es posible utilizar fibras ópticas que pueden ser, pero no necesariamente, que mantengan la polarización, al tiempo que permiten la emisión en el eje y la recogida del haz reflejado. El circulador permite transmitir la luz láser coherente emitida desde la fuente láser y recoger el haz reflejado a través de la misma primera fibra óptica.

En algunas variantes, el sistema óptico puede fabricarse sin un sistema de lentes. La anchura de haz prevista puede obtenerse en función de la anchura del haz emitida por la fuente láser y de la ubicación de la fuente láser en relación con la superficie que se va a medir.

En algunas variantes preferidas, el sistema óptico comprende además una ruta óptica de derivación dispuesta para guiar una subparte de la luz coherente emitida desde dicha fuente láser directamente a dicho detector.

Tener una ruta óptica de derivación permite utilizar una gama más amplia de detectores en el sistema óptico, ya que la luz guiada directamente desde la fuente láser puede interferir con la luz reflejada dentro del detector.

En tales variantes preferidas que tienen el sistema óptico comprende una ruta óptica de derivación, un modulador acústico-óptico (AOM) está dispuesto en la ruta óptica de derivación. Un AOM de este tipo permite cambiar la frecuencia de la luz láser emitida.

De acuerdo con una realización adicional del segundo aspecto de la invención, el sistema óptico comprende un sistema de lentes para controlar el punto focal de dicho rayo láser emitido de tal manera que dicho radio del haz en la intersección de dicho rayo láser y dicha superficie es mayor o igual que $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$, de tal manera que el radio del haz esté dentro de un rango de $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$ hasta 5 veces $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$.

En las variantes que tienen un sistema de lentes presente, los componentes están dispuestos preferiblemente de tal manera que la fuente láser suministre luz coherente a un primer puerto del circulador, el sistema de lentes se disponga después del segundo puerto del circulador y el detector se disponga después de un tercer puerto del circulador. En algunas variantes, se puede colocar un polarizador entre el tercer puerto y el detector.

De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, los objetos y ventajas anteriores se obtienen mediante:

- 5 Un sistema de medición para su uso en un método de medición de superficie, el sistema de medición que comprende una pluralidad de sistemas ópticos. La pluralidad de sistemas ópticos dispuestos a lo largo de una barra de montaje.

Al tener un sistema de medición que comprende una pluralidad de sistemas ópticos, es
10 posible medir la velocidad axial entre cada uno de los sistemas ópticos dentro de la pluralidad de sistemas ópticos en relación con la superficie. Por lo tanto, es posible determinar la topología dinámica de la superficie en múltiples posiciones relacionándola con la velocidad transversal del movimiento relativo del sistema óptico y la superficie. Por ejemplo, se pueden colocar múltiples sistemas ópticos en una disposición paralela
15 a la dirección del movimiento relativo transversal de los sistemas ópticos y la superficie, lo que permite trazar un rango más amplio de la superficie para una sola pasada. Por ejemplo, esto puede permitir el mapeo de una curvatura de la superficie debido a una fuerza de deflexión aplicada o una onda estacionaria a través del material subyacente a la superficie. En otras variantes, una pluralidad de sistemas ópticos pueden
20 disponerse perpendicularmente a la dirección del movimiento relativo transversal de los sistemas ópticos y de la superficie, ya sea en lugar de o además de la disposición en la dirección paralela. Esto podría, por ejemplo, permitir la detección a lo ancho de una cinta transportadora. Alternativamente o además, el uso de múltiples sistemas ópticos también puede permitir la verificación al hacer que múltiples sistemas ópticos detecten
25 la misma superficie en corta sucesión. Otro uso de múltiples sistemas ópticos es la colocación de uno o más de esos sistemas ópticos en una región donde se espera poco desgaste o donde no se aplica ninguna fuerza tal que no se espere ninguna deflexión en esa región, lo que permite que esos sistemas ópticos funcionen como sistemas de referencia para la calibración.

30

El uso de una barra de montaje para la colocación de la pluralidad de sistemas ópticos es beneficioso, ya que permite la fijación de la posición de los sistemas ópticos dentro del sistema de medición entre sí. Por ejemplo, los sistemas ópticos pueden montarse a la misma distancia de la superficie para medirse en diferentes posiciones en relación
35 con el movimiento relativo transversal de la superficie. Por la misma distancia se

entiende si la superficie a medir es plana, por ejemplo, la misma distancia al plano esperado de la superficie o a una distancia media.

La elección del material para la barra de montaje es importante para garantizar la robustez de la barra de montaje. Esto, a su vez, es importante para garantizar que el movimiento axial de la superficie en relación con los sistemas ópticos se deba a la divergencia de la superficie y no a la posición del montaje de un sistema óptico que cambie con el tiempo. Durante el funcionamiento del sistema de medición, el entorno circundante puede provocar el calentamiento de la barra de montaje en la que están dispuestos los sistemas ópticos; Esto es especialmente problemático si la barra de montaje no se calienta uniformemente, por ejemplo, si el lado que mira hacia el objeto al que se fija la barra de montaje se calienta más que el lado que mira hacia la superficie en la que se está midiendo o viceversa. Dependiendo del material, este calentamiento desigual puede hacer que la barra de montaje se expanda y/o se doble, lo que moverá los sistemas ópticos en comparación con su posición para la barra no calentada, es decir, la barra antes de tomar las mediciones. La flexión también causaría un cambio en el ángulo relativo de los ejes de medición de los sistemas ópticos, lo que afectaría la velocidad medida en el eje.

En algunas variantes, la barra de montaje está hecha de acero.

De acuerdo con una realización adicional del cuarto aspecto de la invención, la barra de montaje comprende un recinto térmico pasivo que comprende una primera capa aislante y una segunda capa aislante de material aislante. La primera capa aislante y la segunda capa aislante de material aislante se disponen para formar una cavidad entre ellas.

La presencia de una carcasa térmica pasiva contribuye aún más a la estabilización térmica de la barra de montaje y minimiza su deformación con el tiempo.

En algunas variantes, la capa aislante es un material de espuma. En algunas variantes, tanto la primera como la segunda capa aislante tienen espesores en el rango de 10 a 50 mm, como 20 mm, ya que dicho espesor es un buen compromiso para proporcionar un aislamiento suficiente, manteniendo al mismo tiempo un tamaño preferido de la barra de montaje.

LISTA BREVE DE DIBUJOS

A continuación, se describen ejemplos de realizaciones de acuerdo con la invención, donde:

- 5 La Fig. 1 es una ilustración esquemática de la medición de una superficie.

La Fig. 2 es una ilustración conceptual de una superficie ópticamente rugosa y la relevancia del radio del haz.

- 10 Las Figs. 3A y 3B ilustran los componentes de un sistema óptico en dos realizaciones diferentes.

La Fig. 4 es una ilustración esquemática de una pluralidad de sistemas ópticos montados en una barra de montaje.

15

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS DIBUJOS

La invención se explicará ahora con más detalle a continuación mediante ejemplos con referencia a los dibujos adjuntos.

- 20 Sin embargo, la invención puede incorporarse en formas diferentes a las que se describen a continuación, y no debe interpretarse como limitada a ninguno de los ejemplos establecidos en este documento. Más bien, los ejemplos se proporcionan para que la divulgación sea exhaustiva y completa, y transmita plenamente el alcance de la invención a los expertos en la materia. Los números de referencia similares se refieren
- 25 a elementos similares en todo momento. Por lo tanto, los elementos similares no se describirán en detalle con respecto a la descripción de cada figura.

- La Fig. 1** ilustra esquemáticamente el método de medición de la velocidad axial d (ilustrada por una flecha doble, ya que debe entenderse que este movimiento puede ser en cualquier dirección), debido a la divergencia de una superficie 1 bajo una fuerza F (ilustrada como una flecha) en una dirección axial relativa a un sistema óptico 10.
- 30

- El sistema óptico 10 comprende una fuente láser dispuesta para emitir un rayo láser coherente 22 en una dirección axial tal que el rayo láser 22 coincidirá con la superficie
- 35 1. Al incidir con la superficie 1, se reflejará el rayo láser coherente 22. La parte de la luz reflejada que se refleja en el eje, es decir, en la dirección de retorno a lo largo del eje

de emisión, se considera el haz reflejado 32. El haz reflejado 32 es detectado por un detector del sistema óptico 10.

La fuerza de deflexión F , representada conceptualmente como una flecha en la Fig. 1, y la superficie 1 se mueven entre sí en una dirección transversal a la dirección axial del rayo láser 22 y el haz reflejado 32. Si hay una divergencia de la superficie 1, por ejemplo, debido a una fuerza de deflexión aplicada F o debido a una onda vibratoria que se propaga a través del material subyacente a la superficie, la velocidad d con la que diverge la superficie 1 diferirá dependiendo de la posición en la superficie 1 donde se produce la divergencia, ya que la cantidad de divergencia de la superficie dependerá de la integridad estructural del material en esa posición. En algunas realizaciones preferidas, que serán los ejemplos discutidos de ahora en adelante, se monta un medio de aplicar una fuerza de deflexión F junto con el sistema óptico 10 tal que el sistema óptico 10 experimenta un movimiento transversal v (ilustrado por la flecha v) en relación con la superficie 1 junto con la fuerza de deflexión aplicada F para que una velocidad axial d sea medible. Debido al movimiento transversal v y a la fuerza de divergencia f aplicada, la velocidad axial y , por tanto, el desplazamiento Doppler medido variarán en función de la resistencia estructural bajo la superficie en función de lo grande que sea la deflexión de esa superficie en una posición transversal específica. Debido a la velocidad de movimiento transversal v y la velocidad axial de la divergencia d en el eje, la distancia L recorrida por el rayo láser 22 a lo largo de la dirección axial permanecerá constante. En otras realizaciones no discutidas en ejemplos posteriores, el sistema óptico 10 puede permanecer estacionario en relación con la superficie 1, mientras que sólo la fuerza de deflexión F viaja en la dirección transversal.

Como el haz reflejado 32 se define como la parte de la luz reflejada que está en el eje, esta luz causará interferencia con el rayo láser coherente 22 debido a la velocidad axial de la divergencia d . Esta interferencia puede ser detectada por el sistema óptico 10 y a partir de esta medición es posible determinar la frecuencia Doppler. Se entiende que solo la reflexión en el eje se considera el haz reflejado 32. Por lo tanto, la variación en la velocidad en el eje se puede medir para superficies ópticamente rugosas, ya que causan una reflexión difusa por lo que habrá reflexión en la dirección axial. Una superficie reflectante especular no es adecuada como el sistema óptico 10, a menos que se pueda asegurar que la reflexión coincida con la posición del detector dada la velocidad transversal v .

La medición coaxial de la reflexión, es decir, el rayo láser coherente 22 y el haz reflejado 32 siendo coaxial, es preferible ya que las mediciones se simplifican. Debe entenderse que en otras realizaciones el sistema puede configurarse para medir un haz reflejado 32 que no es coaxial con el rayo láser coherente 22 emitido, por ejemplo, haciendo que
 5 el haz reflejado se recoja en un ángulo o se guíe hacia atrás, no a través de un divisor de haz, sino dirigido a un detector colocado adyacente. Las ventajas de la anchura de haz optimizada no se limitan a la medición coaxial.

Conociendo la posición inicial del sistema óptico 10 en relación con la superficie 1 y la
 10 velocidad del movimiento transversal es posible correlacionar la magnitud del cambio de frecuencia Doppler a una posición específica en la superficie 1.

El movimiento transversal v entre el sistema óptico 10 y la superficie 1 es relativo. Por lo tanto, en algunas realizaciones, el sistema óptico 10 puede estar estacionario
 15 mientras la superficie 1 se está moviendo. Un ejemplo de tal realización es una cinta transportadora, que puede moverse continuamente más allá del sistema óptico 10 que detecta en una posición mientras que la superficie 1 cambia debido a una fuerza de deflexión aplicada a la cinta transportadora o debido a vibraciones que se propagan a través de la cinta transportadora. En otra realización, la superficie móvil puede ser una
 20 parte de maquinaria que gira, vibra o se supone que se traduce con una frecuencia específica, el sistema óptico estacionario 10 puede utilizarse en tales realizaciones para determinar variaciones o cambios no deseados en los patrones de movimiento, por ejemplo, debido a vibraciones, desgaste, mal funcionamiento o instalación inclinada.

En otras realizaciones, el movimiento transversal v entre el sistema óptico 10 y la
 25 superficie 1 puede ser causado por el movimiento del sistema óptico 10 mientras la superficie 1 está estacionaria. Un ejemplo de tal realización es el montaje del sistema óptico 10 en un vehículo, que puede conducir a lo largo de la superficie las propiedades que se están midiendo, por ejemplo, una carretera o una vía férrea. En tales
 30 realizaciones, el vehículo también puede tener una carga montada a bordo de tal manera que una deformación conocida esté afectando a la superficie 1. En tales casos, el sistema óptico 10 puede medir la deflexión de la superficie 1 causada por la carga montada en el mismo vehículo que el sistema óptico 10. Dichas cargas pueden ser ajustables o fijas.

La Fig. 2 ilustra esquemáticamente una superficie 1 que comprende diferentes segmentos de 5,5',5". Los diferentes segmentos 5 se muestran simplemente como áreas de tamaño irregular, que podrían corresponder, por ejemplo, a diferentes segmentos de piedra o grava en una superficie similar a una carretera. Sin embargo, estos son solo un ejemplo, ya que diferentes estructuras pueden, por ejemplo, tener un patrón regular repetitivo, como las superficies de una cinta transportadora que tienen una estructuración de superficie para diseñar el coeficiente de fricción.

En la Fig. 2, el punto láser 25 del rayo láser se muestra de manera simplificada como un círculo que ilustra el radio de intensidad $1/e^2$, de modo que el radio del círculo corresponde al radio del haz w de acuerdo con la invención.

A la hora de determinar un tamaño de haz adecuado, dos factores son relevantes. Un factor a tener en cuenta es la descorrelación de moteado, también conocida como ebullición moteada. Cuando la superficie 1 se ha movido en relación con el sistema óptico una distancia correspondiente al punto láser 25 en la superficie 1, es una nueva región en la superficie 1 la responsable de la reflexión y, por lo tanto, también del patrón de moteado de la luz reflejada. Esto se ilustra en la Fig. 2 mediante el punto láser desplazado 25' junto al punto láser 25. El punto láser desplazado 25' es donde el rayo láser incidirá una vez que la superficie 1 se haya movido dos veces el radio del haz w .

En el punto láser marcado 25, tres segmentos diferentes de 5,5",5'" contribuyen al patrón de moteado disperso de la superficie 1. En el punto láser desplazado 25' sólo dos segmentos de 5,5' contribuyen a la dispersión de la luz fuera de la superficie, y sólo uno de ellos es el mismo que para el punto láser 25 original. La diferencia en el patrón de moteado de la luz reflejada debido al cambio de la estructura de la superficie 1 causará un cambio de fase indefinido de la señal Doppler causando una descorrelación de moteado.

Por lo tanto, teniendo en cuenta la correlación de moteado, es beneficioso aumentar el radio del haz w .

El otro factor a tener en cuenta para la elección del radio del haz w es que la potencia de la señal aumenta para un radio más pequeño w a medida que se refleja más luz desde la superficie 1, el aumento de la potencia de la señal aumenta aún más la

precisión de la medición y/o disminuye el consumo de energía requerido de la fuente láser.

- 5 Por lo tanto, teniendo en cuenta la potencia de la señal, es beneficioso disminuir el radio del haz w .

Por lo tanto, el límite inferior para la funcionalidad del sistema óptico y del método se rige por el ruido de fase debido a la descorrelación de moteado y el radio del haz debe ser al menos:

10
$$w_{min} = \sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$$

En el que:

λ es la longitud de onda de la luz láser coherente emitida por la fuente láser; y

L es la distancia desde la fuente láser del sistema óptico 10 hasta la superficie 1.

- 15 Cabe señalar además que esto se aplica a perfiles de haz gaussiano, los cuales pueden ser circulares o elípticos. En el caso de un haz elíptico, la ecuación debe cumplirse para el radio largo o el corto, y opcionalmente puede cumplirse para ambos.

- 20 El límite superior se rige por la potencia de la señal. La potencia de la señal se puede ajustar disminuyendo el radio del haz o suministrando más potencia desde la fuente láser. Por lo tanto, el límite superior del radio se rige principalmente por las preocupaciones prácticas de la configuración, por ejemplo, la fuente láser disponible, el coste de suministro de energía y/o el área máxima de la superficie que se puede iluminar, que puede estar limitada, por ejemplo, por la distancia entre las ruedas de un
- 25 vehículo bajo el cual está montado el sistema óptico o el ancho de una cinta transportadora examinada.

Para el uso práctico preferido del sistema y método óptico, el límite superior será de 5

veces $\sqrt{\lambda \frac{L}{\pi}}$.

30

Esto logra un equilibrio entre los dos factores de la descorrelación de moteado y la potencia de la señal.

Como se discutió anteriormente, una persona experta sabe cómo organizar los componentes del sistema óptico 10 para ajustar el radio del haz w para que esté dentro del rango preferido. Una vez elegida la fuente láser, se fija la longitud de onda de la luz coherente emitida y la persona experta puede elegir posteriormente una o más lentes del sistema de lentes y la ubicación, por ejemplo, la distancia entre el láser y la lente de conformación del haz y, si hay varias lentes, la distancia mutua entre dichas lentes, para obtener un radio de haz w dentro del rango deseado.

En una realización ejemplar, el sistema óptico puede montarse de tal manera que la distancia L a la superficie sea de 1,6 m y la longitud de onda de la luz emitida por la fuente láser sea de 1550 nm. En este caso, el radio del haz en la superficie es de al menos 0,89 mm.

En otro ejemplo de realización, el sistema óptico puede montarse de tal manera que la distancia L a la superficie sea de 1,8 m, utilizando la misma longitud de onda de luz emitida por la fuente láser de 1550 nm. En este caso, el radio del haz en la superficie es de al menos 0,94 mm. Sin embargo, debido a los efectos del entorno de medición, pueden producirse ligeras variaciones en este ancho a lo largo del procedimiento de medición. Por lo tanto, en algunas realizaciones puede ser beneficioso dar forma al haz para que sea más grande que el límite inferior, de modo que ligeras variaciones no hagan que el radio del haz caiga por debajo del límite inferior.

Las Figs. 3A y 3B ilustran esquemáticamente los componentes del sistema óptico 10 para dos realizaciones diferentes de la invención.

25

La Fig. 3A se muestra como realización del sistema óptico 10 en el que un divisor de haz polarizado 44 está dispuesto para dividir el haz láser emitido 22 y el haz reflejado 32 de la propagación en el eje para ser dirigido al detector 30.

En esta realización, una fuente láser 20 emite luz láser coherente. La luz láser emitida pasa a través de una primera ruta óptica 41 en la realización ilustrada en forma de fibra óptica. En esta realización, la primera fibra óptica 41 se mantiene la polarización de tal manera que la luz entregada al divisor de haz polarizador 44 mantiene su polarización. Un sistema de lentes 47 está dispuesto entre el divisor de haz polarizado 44 y la superficie 1 y está configurado para controlar el radio del haz en la superficie 1 para que sea mayor que el radio mínimo del haz $w_{\min}$ al caer dentro del rango de radios del

35

haz de acuerdo con la invención. El sistema de lentes 47 puede comprender una sola lente o varias lentes. Una o más lentes del sistema de lentes 47 pueden disponerse para proporcionar el radio de haz previsto en función de su posición en relación con el rayo láser emitido y su curvatura.

5

Se observa que varias ubicaciones del sistema de lentes 47 en relación con los otros componentes del sistema óptico 10 son posibles de acuerdo con la invención. El sistema de lentes 47 puede estar dispuesto en la trayectoria óptica entre el divisor de haz de polarización 44 y la superficie/objetivo 1 como se ilustra, o puede colocarse entre la trayectoria óptica 41 y el divisor de haz de polarización 44, así como entre el divisor de haz de polarización 44 y la segunda ruta óptica 42, o una combinación de las anteriores.

La luz láser coherente emitida pasa por el divisor de haz polarizado 44 que está dispuesto para dirigir el rayo láser 22 emitido hacia la superficie 1 de modo que el rayo láser 22 coincida con la superficie 1 (las flechas a lo largo de las trayectorias ópticas denotan la dirección de desplazamiento de los haces). La luz láser coherente se refleja desde la superficie 1 y el haz reflejado 32 se propaga en el eje hacia el divisor de haz polarizado 44.

20

El divisor de haz polarizador 44 dirige el haz reflejado 32 a una segunda trayectoria óptica 43 en forma de fibra óptica, siendo la segunda fibra óptica 43 la que mantiene la polarización. La segunda fibra óptica 43 guía la luz reflejada hacia un detector 30.

En algunas realizaciones preferidas, como se ilustra en la Fig. 3A, el sistema óptico comprende además un trayecto óptico de derivación 46, en la realización ilustrada en forma de fibra óptica de derivación. La ruta óptica de derivación 46 guía una subparte de la luz láser emitida directamente desde la fuente láser 20 hasta el detector 30. La luz emitida directamente desde la fuente láser 20 y el haz reflejado 32 interfieren dentro del detector 30 y se puede determinar la frecuencia Doppler. Es posible que algunos detectores no requieran una ruta óptica de derivación de este tipo.

En algunas realizaciones preferidas que comprenden una ruta óptica de derivación 46, un AOM 50 como una célula de Bragg puede disponerse dentro de esa ruta óptica de derivación 46 para permitir el desplazamiento de frecuencia controlado de la luz láser emitida antes de que entre en el detector 30.

El detector 30 puede comprender una unidad de procesamiento para calcular la velocidad axial d de la divergencia sobre la base del desplazamiento Doppler detectado y/o el detector puede comprender un transmisor para transmitir la señal registrada a una unidad de procesamiento externa en la que se pueden almacenar los datos y/o se pueden realizar cálculos posteriores. La unidad de procesamiento, ya sea integrada en el sistema óptico o externa, puede realizar cálculos adicionales para correlacionar la frecuencia Doppler medida con la posición en la superficie 1.

Si bien esta realización se ilustra con fibras ópticas como todas las trayectorias ópticas, debe entenderse que otras realizaciones con el mismo principio de funcionamiento pueden utilizar otras guías de onda u ópticas de espacio libre para guiar la luz.

En algunas variantes del sistema óptico 10, el sistema de lentes 47 puede montarse de manera que el sistema óptico 10 se pueda calibrar ajustando la posición de una o más lentes del sistema de lentes 47. Por ejemplo, una o más lentes del sistema de lentes 47 pueden estar montadas sobre rieles de manera que puedan ser trasladadas a lo largo de dicho riel, por ejemplo, mediante un motor. En otras realizaciones del sistema óptico 10, el sistema de lentes 47 puede montarse de tal manera que las lentes se puedan intercambiar con otras lentes para ajustar la configuración para diferentes casos de uso, por ejemplo, para el montaje en diferentes piezas de equipo que harían variar la distancia axial L . Otra forma de calibración se puede lograr ajustando la ubicación del sistema óptico 10 en relación con la superficie. Dichos métodos de calibración pueden utilizarse en combinación o por separado. Además, o como alternativa, la corrección matemática de la señal detectada puede ser realizada por la unidad de procesamiento a bordo o externa sobre la base de mediciones de referencia.

La Fig. 3B ilustra esquemáticamente una disposición alternativa del sistema óptico 10 en la que un circulador 45 está dispuesto entre la superficie 1 y la fuente láser 20 y el detector 30, respectivamente. El circulador 45 permite guiar el rayo láser coherente emitido 22 y el haz reflejado 32 a lo largo del mismo trayecto óptico de emisión y reflexión 42, mientras que todavía es posible distinguir la señal reflejada en el detector 30. La luz láser coherente emitida desde la fuente láser 20 se dirige a través de una primera ruta óptica 41 a un primer puerto del circulador 45 y luego se guía hacia el material subyacente de la superficie 1 a través de una ruta óptica de emisión y reflexión 42 a través del segundo puerto. El haz reflejado 32 también se recoge en el segundo

puerto del circulador 45 y luego sale del circulador 45 a través de un tercer puerto para atravesar la segunda ruta óptica 43 y llegar al detector 30.

En realizaciones que tienen un circulador 45, está presente un sistema de lentes 47 que tiene una o más lentes. El sistema de lentes 47 está dispuesto para asegurar que el rayo láser emitido tenga una forma tal que el radio del haz w en la superficie 1 esté dentro del alcance de la invención. El sistema de lentes 47 está dispuesto entre la fuente láser 20 y la superficie 1. En algunas realizaciones, el sistema de lentes 47 puede disponerse entre el circulador 45 y la superficie 1, por ejemplo, mediante la colocación en la trayectoria óptica de emisión y reflexión 42 entre el circulador 45 y la superficie 1. Como se ilustra, el trayecto óptico del sistema óptico puede consistir en fibras, pero en otras realizaciones se pueden utilizar otras guías de onda, así como óptica de espacio libre.

De manera similar a las realizaciones descritas anteriormente, el sistema óptico que comprende un circulador puede tener el sistema de lentes 47 dispuesto para ser ajustable para permitir la calibración. También de manera similar a las realizaciones descritas anteriormente, el sistema óptico puede comprender una unidad de procesamiento integrada y/o un transmisor para permitir el almacenamiento de mediciones y/o cálculos basados en la frecuencia Doppler.

En algunas realizaciones preferidas, como se ilustra en la Fig. 3B, el sistema óptico comprende además un trayecto óptico de derivación 46, en la realización ilustrada en forma de fibra óptica de derivación. La ruta óptica de derivación 46 guía una subparte de la luz láser emitida directamente desde la fuente láser 20 hasta el detector 30. La luz emitida directamente desde la fuente láser 20 y el haz reflejado 32 interfieren dentro del detector 30 y se puede determinar la frecuencia Doppler. Es posible que algunos detectores no requieran una ruta óptica de derivación de este tipo.

Aunque no se ilustran, algunas realizaciones preferidas que tienen un circulador y una ruta óptica de derivación 46 comprenden además un AOM 50, como una célula de Bragg, dispuestas en la ruta óptica de derivación 46 para permitir el desplazamiento controlado de la luz láser emitida antes de que entre en el detector 30.

Mientras que tanto la realización ilustrada en la Fig. 3A como en la Fig. 3B muestran configuraciones en las que hay propagación coaxial del haz láser coherente 22 y del

haz reflejado 32, debe entenderse que en otras realizaciones de acuerdo con la invención la propagación no tiene por qué ser coaxial. Los beneficios de la invención también se logran en situaciones en las que la fuente láser 20 y el detector 30 están dispuestos de tal manera que el haz reflejado 32 se detecta en un ángulo con respecto al rayo láser coherente 22.

En todas las realizaciones ilustradas, se ha mostrado que el sistema óptico 10 está montado gravitacionalmente sobre la superficie 1 desde la que se refleja la luz. La persona experta, sin embargo, comprenderá que también es posible tener el montaje relativo de manera diferente, por ejemplo, para medir una superficie vertical o tener el sistema óptico 10 dispuesto para medir una placa o un material con una superficie 1 gravitacionalmente por encima de él.

La Fig. 4 ilustra el concepto de una pluralidad de sistemas ópticos 10 montados en una barra de montaje 70. Cada sistema óptico 10 fijado a la barra de montaje 70 puede ser del mismo tipo, por ejemplo, con un divisor de haz polarizador y con sus sistemas de lentes dispuestos de la misma manera. En otras variantes, algunos o todos los sistemas ópticos 10 instalados en la misma barra de montaje 70 pueden ser de diferentes tipos.

Los sistemas ópticos 10 pueden montarse en la barra de montaje 70 distribuidos uniformemente a lo largo de la barra de montaje 70, algunos o todos los sistemas ópticos 10 pueden estar agrupados o los sistemas ópticos 10 pueden estar distribuidos de manera desigual sobre la base de estimaciones de dónde es más importante medir la divergencia para la superficie dada, por ejemplo, en función de la posición de una fuerza de deflexión aplicada F . En algunas realizaciones, se puede agrupar un grupo de sistemas ópticos 10 mientras que uno o más sistemas ópticos 10 pueden instalarse lejos de este grupo, por ejemplo, de modo que pueda funcionar como referencia si la barra de montaje 70 se va a utilizar en conexión con un vehículo portante que haga que los sistemas ópticos midan la deflexión.

La barra de montaje 70 está construida preferiblemente para minimizar los efectos del calentamiento de fuentes externas en el entorno donde se montan y utilizan los sistemas ópticos.

La barra de montaje es preferiblemente de metal. En algunas realizaciones, la barra de montaje está hecha de acero.

La forma de la barra de montaje también puede contribuir a la robustez y rigidez de la barra de montaje 70 durante el uso. En algunas realizaciones, la barra de montaje 70 puede construirse como una viga con un perfil en H. En otras realizaciones, la barra de montaje 70 puede construirse como una viga con un perfil C.

En algunas realizaciones, la barra de montaje puede construirse con un recinto térmico pasivo de modo que se disminuya el impacto del calentamiento desde el entorno externo. Un recinto térmico pasivo de este tipo puede incluir un hueco que tenga una primera capa aislante y una segunda capa aislante de material aislante.

Las realizaciones anteriores son ejemplares y se pueden añadir otros componentes, por ejemplo, para filtrar las señales, dividir los haces entregados y reflejados, cambiar la polarización o, en general, dar forma al rayo láser mientras se encuentran dentro del alcance de la invención.

A continuación se muestra una lista de los signos de referencia utilizados en la descripción detallada de la presente divulgación y en los dibujos a los que se hace referencia en la descripción detallada de la presente divulgación.

5	1	Superficie
		Segmentos de 5, 5', 5"
	L	Distancia axial
	d	Velocidad axial
10	F	Fuerza de deflexión
	v	Velocidad relativa en sentido transversal
	w	Radio del haz
	10	Sistema óptico
15		
	20	Fuente láser
	22	Rayo láser coherente
	25	Punto láser
20	30	Detector
	32	Haz reflejado
	41	Primera ruta óptica
	42	Trayectoria óptica de emisión y reflexión
25	43	Segunda ruta óptica
	44	Divisor de haz polarizador
	45	Circulador
	46	Derivar ruta óptica
30	47	Sistema de lentes
	50	AOM
	70	Barra de montaje