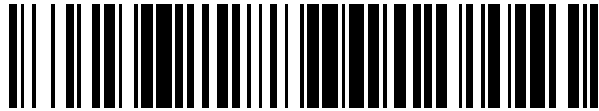


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 706 991**

51 Int. Cl.:

**G01L 1/24** (2006.01)

**G01M 5/00** (2006.01)

**G01M 11/08** (2006.01)

**G01D 5/353** (2006.01)

**G01K 11/32** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.09.2012 PCT/DK2012/050345**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.04.2013 WO13044919**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2012 E 12762530 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019 EP 2761263**

54 Título: **Sistema de sensor de rejilla de fibra óptica y método**

30 Prioridad:

**30.09.2011 DK 201170542 P**

**30.09.2011 US 201161541134 P**

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

**02.04.2019**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**Hedeager 42**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**HJORT, THOMAS y**

**GLAVIND, LARS**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 706 991 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Sistema de sensor de rejilla de fibra óptica y método

**Antecedentes de la invención**

5 La invención se refiere a un sistema de sensor de rejilla de fibra óptica y a un método para aumentar el número de sitios de medición en un sistema de este tipo. En particular, la invención se refiere a un sistema y a un método que usa rejillas de Bragg en fibra (FBG) o de fibra de periodo largo (LPG), y contempla el uso del sistema aplicado a una central eléctrica de turbinas eólicas.

10 Los componentes de una turbina eólica están sometidos a una variación de temperatura desde varias fuentes, tales como cambio de temperatura ambiental, y calor generado en los componentes. Por consiguiente, es importante que la temperatura de esos componentes se monitorice para garantizar que están funcionando dentro de rangos apropiados.

15 Además, los componentes de una turbina eólica están sometidos a deformación o esfuerzo desde varias fuentes, tales como la acumulación de materiales particulados como suciedad o hielo, su propio peso, y la fuerza ejercida por el propio viento. Por consiguiente, es importante que se monitorice el esfuerzo sobre los componentes para garantizar que siguen siendo aptos para funcionar a lo largo de sus vidas útiles previstas.

20 Un sensor de FBG es una fibra óptica en la que está formada una rejilla óptica. La propia rejilla es normalmente una variación periódica en el índice de refracción de la fibra, ajustada para reflejar una longitud de onda particular de luz. La región de la fibra óptica que tiene la rejilla se une entonces a la región del componente de turbina eólica en que va a medirse un estado de funcionamiento tal como temperatura o esfuerzo. Se une de tal manera que cualquier deformación, esfuerzo o cambio de temperatura experimentado por el componente se transmite a la fibra y a la rejilla. La variación de temperatura, deformación y esfuerzo provoca que cambie el espaciado y el índice de refracción de la rejilla, y provoca un cambio detectable en la longitud de onda de la luz reflejada de vuelta o transmitida por la rejilla. Se conocen diversas disposiciones para insertar luz en los sensores de FBG y para extraer y analizar la salida.

25 Las rejillas en fibra de periodo largo funcionan de una manera similar a las FBG pero, en su lugar, acoplan luz de longitudes de onda particulares que viajan en el núcleo al revestimiento donde posteriormente se pierde debido a absorción o dispersión.

30 Se conocen varias técnicas para montar sensores ópticos de fibra en componentes de turbina eólica, tal como unir el cable óptico de fibra por medio de abrazaderas o envolturas huecas, o ubicar el sensor dentro de un tubo capilar que puede encapsularse, tubo y todo, en un material compuesto. Cuando se une un sensor óptico de fibra, es importante que el sensor no se dañe por los medios de montaje, o bien cuando se monta el cable o bien más tarde, durante la vida operativa del sensor. Sin embargo, para sensores de esfuerzo, también es importante que el sensor sea lo suficientemente sensible al esfuerzo en el componente.

35 Los sensores de FBG actuales presentan varias desventajas. En particular, con el fin de medir la temperatura, el o esfuerzo, en varias ubicaciones diferentes es necesario usar una serie de FBG, ajustándose a cada FBG a una longitud de onda diferente. Además, es necesario que el rango de longitudes de onda en el que funciona cada FBG sea distinto de cada otro rango de la FBG de longitudes de onda de funcionamiento. Esto se ilustra por medio del ejemplo en la figura 8. Esto es necesario para posibilitar que una sola longitud de onda se relacione con una FBG específica y un estado de funcionamiento específico. Tales sistemas requieren una fuente de luz de banda ancha y un interrogador de banda ancha, o una fuente de luz ajustada de banda estrecha, que da como resultado un coste global significativo del sistema. Las LPG presentan problemas similares.

40 El documento GB2372100 describe un sistema de rejilla de Bragg de longitud de onda óptica que contiene un conjunto de rejillas de Bragg en cada una de varias ubicaciones. A cada ubicación se asigna un código digital exclusivo que define la longitud de onda establecida de las rejillas en esa ubicación.

45 El documento WO2006107278 describe una fibra óptica que tiene al menos una primera rejilla de Bragg en fibra (FBG) y una segunda FBG formada en la misma; que somete la fibra óptica a un esfuerzo que induce una fuerza de manera que se comprime un periodo de rejilla en la primera FBG y se extiende un periodo de rejilla en la segunda FBG y que interroga ópticamente la FBG primera y segunda para determinar longitudes de onda de reflexión pico de las FBG primera y segunda respectivamente, por lo cual una separación entre las longitudes de onda de reflexión pico de las FBG primera y segunda es representativa del esfuerzo inducido.

50 El documento GB2348000 describe un sensor de esfuerzo que comprende una guía de ondas óptica que tiene una pluralidad de estructuras de reflexión (rejillas de Bragg) a lo largo de su longitud. Cada estructura refleja luz en una longitud de onda de característica diferente que cambia según la longitud física de al menos parte de la estructura de reflexión.

55 El documento JP2004145382 describe un sistema de monitorización que usa sensores de fibra óptica en los que se

solapa parcialmente una medición de longitud de onda que va a asignarse a cada sensor de fibra óptica.

Se ha apreciado que existe la necesidad de una solución más rentable para detectar cambios de temperatura y/o deformación en múltiples ubicaciones en un componente de turbina eólica.

**Sumario de la invención**

5 La invención se define en las reivindicaciones independientes a las que se hará referencia. Se exponen características ventajosas en las reivindicaciones dependientes a las que se hará referencia.

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de sensor de fibra óptica para medir en una pluralidad de ubicaciones un estado de funcionamiento, comprendiendo el sensor: una fibra óptica de sensor; una fuente de luz para introducir luz en la fibra óptica de sensor; un detector de luz para recibir luz desde la fibra óptica de sensor; y un procesador para emitir mediciones del estado de funcionamiento correspondientes a la pluralidad de ubicaciones basándose en luz recibida en el detector de luz, en el que las condiciones de funcionamiento en la pluralidad de ubicaciones están acopladas de manera que un aumento en un estado de funcionamiento da como resultado un aumento en las otras condiciones de funcionamiento, y viceversa. El sensor de fibra óptica comprende una pluralidad de rejillas ópticas, estando dispuesta cada rejilla en uso en una ubicación respectiva en el componente de turbina eólica y dispuesta para funcionar en un rango respectivo de longitudes de onda dependiendo de variaciones en el estado de funcionamiento. Una primera de la pluralidad de rejillas es una rejilla principal y está dispuesta para funcionar en un primer rango de longitud de onda, siendo el primer rango de longitud de onda distinto de un segundo rango de longitudes de onda en que las otras rejillas están dispuestas para funcionar. Las otras rejillas están dispuestas de manera que los rangos de longitud de onda respectivos en los que funcionan están espaciados del primer rango de longitud de onda en un intervalo predeterminado respectivo y de manera que se solapan con el rango de longitud de onda respectivo de al menos otra rejilla adyacente, en las que la cantidad en que se solapan los rangos respectivos de longitudes de onda de las otras rejillas es de manera que para cada una de las otras rejillas hay un rango de longitudes de onda no ambiguas que son exclusivas para esa rejilla y un rango de longitudes de onda ambiguas que se solapan con las longitudes de onda de la rejilla adyacente. El procesador puede hacerse funcionar para determinar el valor del estado de funcionamiento en la ubicación de la rejilla principal a partir del valor de longitud de onda recibido en el primer rango de longitud de onda, y para determinar el valor de un estado de funcionamiento en la ubicación de una de las otras rejillas basándose en el valor de longitud de onda recibido en el primer rango de longitud de onda, un valor de longitud de onda recibido en el segundo rango de longitud de onda, y los intervalos predeterminados en que los rangos solapantes están espaciados entre sí.

El término “dispuesta para funcionar” tal como se usa en el presente documento significa interactuar con luz a una longitud de onda que se encuentra dentro del rango asignado de longitudes de onda y que varía dentro del rango dependiendo de variaciones en el estado de funcionamiento”.

Al proporcionar un sistema de sensor de fibra óptica de este tipo, puede reducirse ventajosamente el coste de un sensor para medir múltiples condiciones de funcionamiento. El coste puede reducirse ya que el rango de longitudes de onda en el que funciona la fuente de luz, y el detector de luz, puede reducirse para el mismo número de mediciones. De manera alternativa, ventajosamente, puede haber un aumento en el número de mediciones que pueden realizarse para una fuente de luz dada capaz de emitir un rango de longitudes de onda fijo.

Preferiblemente, la luz que tiene una longitud de onda en el primer rango de longitud de onda es exclusivamente indicativa del valor del estado de funcionamiento en la ubicación de la rejilla principal.

Preferiblemente, el procesador puede hacerse funcionar para determinar un valor de longitud de onda de referencia para una primera de las otras rejillas, indicando el valor de referencia para la primera de las otras rejillas, la longitud de onda en el rango respectivo de longitudes de onda de la rejilla que corresponde al valor del estado de funcionamiento medido en la rejilla principal. En este caso, el valor de longitud de onda de referencia para la rejilla se calcula sumando o restando el intervalo predeterminado respectivo al/del valor de longitud de onda recibido en el primer rango de longitud de onda.

Preferiblemente, el procesador puede hacerse funcionar para determinar el valor del estado de funcionamiento en la primera de las otras rejillas determinando la diferencia entre el valor de longitud de onda de referencia para la rejilla y el valor de longitud de onda recibido más próximo.

La cantidad en que se solapan los rangos respectivos de longitudes de onda de las otras rejillas es de manera que para cada una de las otras rejillas hay un rango de longitudes de onda no ambiguas que son exclusivas para esa rejilla y un rango de longitudes de onda ambiguas que se solapan con las longitudes de onda de la rejilla adyacente.

El sistema de sensor también puede comprender una memoria. En este caso, el procesador puede hacerse funcionar para almacenar una serie cronológica de mediciones de longitud de onda en la memoria para cada una de las otras rejillas, y el procesador puede hacerse funcionar para determinar el valor del estado de funcionamiento en la primera de las otras rejillas determinando la diferencia entre el valor de longitud de onda de referencia y un valor de longitud de onda recibido que se encuentra dentro de las longitudes de onda ambiguas para la primera de las

otras rejillas, y comparando el valor de longitud de onda recibido con valores históricos de la longitud de onda en la serie cronológica de mediciones.

Preferiblemente, el segundo rango de longitud de onda se divide en segundos rangos de longitud de onda inferior y superior, y el primer rango de longitudes de onda se sitúa entre los rangos inferior y superior.

- 5 Preferiblemente, los rangos de longitud de onda primero y segundo están separados uno de otro por un margen de longitudes de onda no usadas.

Según un aspecto adicional de la presente invención, se proporciona un método para hacer funcionar un sistema de sensor de fibra óptica, comprendiendo el sistema una fibra óptica de sensor que tiene una pluralidad de rejillas ópticas, estando dispuesta cada rejilla en uso en una ubicación de medición respectiva y dispuesta para funcionar en un rango respectivo de longitudes de onda dependiendo de variaciones en un estado de funcionamiento de la ubicación de medición, en el que las condiciones de funcionamiento en las ubicaciones de medición están acopladas de manera que un aumento en un estado de funcionamiento da como resultado un aumento en las otras condiciones de funcionamiento, y viceversa, comprendiendo el método: asignar un primer rango de longitudes de onda de medición exclusivas a una rejilla principal en la fibra óptica; asignar rangos respectivos de longitudes de onda de medición a rejillas adicionales en la fibra óptica, en el que los rangos asignados a las rejillas adicionales son distintos del primer rango de longitudes de onda de medición exclusivas y están separados del primer rango por intervalos predeterminados, y en el que los rangos asignados a cada una de las rejillas adicionales se solapan con al menos una rejilla adicional adyacente, en el que la cantidad en que se solapan los rangos respectivos de longitudes de onda de las rejillas adicionales es de manera que para cada una de las rejillas adicionales hay un rango de longitudes de onda no ambiguas que son exclusivas para esa rejilla y un rango de longitudes de onda ambiguas que se solapan con las longitudes de onda de la rejilla adyacente; determinar el valor del estado de funcionamiento en la ubicación de la rejilla principal a partir de un valor de longitud de onda recibido en el primer rango de longitudes de onda de medición exclusivas; determinar el valor de un estado de funcionamiento en la ubicación de una de las otras rejillas basándose en el valor de longitud de onda recibido en el primer rango de longitud de onda, un valor de longitud de onda recibido en los rangos de longitud de onda asignados a las rejillas adicionales, y basándose en los intervalos predeterminados en que los rangos solapantes están espaciados entre sí.

Preferiblemente, el método comprende además determinar un valor de longitud de onda de referencia para una primera de las otras rejillas, indicando el valor de referencia para la primera de las otras rejillas, la longitud de onda en el rango respectivo de longitudes de onda de la rejilla que corresponde al valor del estado de funcionamiento medido en la rejilla principal, y el valor de longitud de onda de referencia para la rejilla se calcula sumando o restando el intervalo predeterminado respectivo al/del valor de longitud de onda recibido en el primer rango de longitud de onda. Más preferiblemente, el método también comprende determinar el valor del estado de funcionamiento en la primera de las otras rejillas para determinar la diferencia entre el valor de longitud de onda de referencia para la rejilla y el valor de longitud de onda recibido más próximo.

- 35 La cantidad en que se solapan los rangos respectivos de longitudes de onda de las otras rejillas es de manera que para cada una de las otras rejillas hay un rango de longitudes de onda no ambiguas que son exclusivas para esa rejilla y un rango de longitudes de onda ambiguas que se solapan con las longitudes de onda de la rejilla adyacente.

Preferiblemente, el método comprende además: almacenar una serie cronológica de mediciones de longitud de onda en la memoria para cada una de las otras rejillas, y determinar el valor del estado de funcionamiento en la primera de las otras rejillas determinando la diferencia entre el valor de longitud de onda de referencia y un valor de longitud de onda recibido que se encuentra dentro de las longitudes de onda ambiguas para la primera de las otras rejillas, y comparando el valor de longitud de onda recibido con valores históricos de la longitud de onda en la serie cronológica de mediciones.

- 45 Preferiblemente, el segundo rango de longitud de onda se divide en segundos rangos de longitud de onda inferior y superior, y el primer rango de longitudes de onda se sitúa entre los rangos inferior y superior.

Preferiblemente, los rangos de longitud de onda primero y segundo están separados uno de otro por un margen de longitudes de onda no usadas.

Según aún otro aspecto adicional de la presente invención, se proporciona un producto de programa informático que tiene un código informático almacenado en el mismo que cuando se ejecuta en un procesador provoca que el procesador lleve a cabo un método tal como se describe en el presente documento.

La fibra óptica comprende una primera rejilla de Bragg en fibra adaptada para funcionar en un primer rango de longitudes de onda, y al menos un conjunto de rejillas de Bragg en fibra adicionales adaptado para funcionar en un segundo rango de longitudes de onda. Cada rejilla de Bragg en fibra dentro del conjunto está adaptada para funcionar en una parte del segundo rango de longitudes de onda. Además, cada rejilla de Bragg en fibra dentro del conjunto tiene un rango de funcionamiento que se solapa parcialmente con al menos otro de tal rango de funcionamiento de rejilla de Bragg en fibra. Al dotar a una fibra óptica con un conjunto de rejillas de Bragg en fibra de rangos de longitud de onda solapantes, puede reducirse ventajosamente el coste de un sensor para medir múltiples condiciones de funcionamiento. El coste puede reducirse ya que el rango de longitudes de onda en que funciona la

fuentes de luz y el interrogador de luz, puede reducirse para el mismo número de mediciones. Alternativamente, puede haber un aumento en el número de mediciones que pueden realizarse para una fuente de luz dada capaz de emitir un rango de longitudes de onda fijo.

5 El primer rango de longitudes de onda no se solapa con el segundo rango de longitudes de onda. Esto posibilita que la primera rejilla se use para determinar de manera no ambigua un rango de condiciones de funcionamiento esperadas para las otras rejillas.

10 La fibra óptica también puede comprender un segundo conjunto de rejillas adicionales adaptado para funcionar en un tercer rango de longitudes de onda. Cada rejilla en el segundo conjunto está adaptada para funcionar en una parte del tercer rango, y cada rejilla dentro del conjunto tiene un rango de funcionamiento que se solapa parcialmente con al menos otro de tal rango de funcionamiento de rejilla. Proporcionar un segundo conjunto de rejillas posibilita que se realicen más mediciones por una sola fibra óptica.

15 Preferiblemente, el primer rango de longitudes de onda está entre el segundo rango y el tercer rango. Al proporcionar el primer rango de longitudes de onda en medio de los otros dos rangos de longitudes de onda, puede usarse una sola rejilla para determinar de manera no ambigua dos rangos de condiciones de funcionamiento esperadas, el primer rango para el primer conjunto de rejillas y el segundo rango para el segundo conjunto de rejillas.

20 El sensor óptico de fibra también comprende una fuente de luz para alimentar luz en la al menos una fibra óptica, un detector de luz para detectar luz que ha viajado a lo largo de la al menos una fibra, y un controlador para determinar, a partir de la luz detectada, las longitudes de onda de luz que interactúan con la rejillas. Esta disposición permite que el sensor se implemente usando sólo un pequeño número de componentes ópticos, y proporciona por tanto ventajas en coste, instalación y mantenimiento.

La invención se extiende a un aparato y/o métodos, sustancialmente como en el presente documento, descritos con referencia a los dibujos adjuntos.

#### **Breve descripción de los dibujos**

25 Ahora se describirán realizaciones preferidas de la invención, por medio de ejemplo y con referencia a los dibujos en los que:

la figura 1 ilustra una turbina eólica conocida;

la figura 2 ilustra una fibra óptica según la invención;

la figura 3 ilustra un sensor de fibra óptica según la invención;

30 la figura 4 ilustra un controlador según la invención;

las figuras 5(a) y 5(b) ilustran los rangos de longitud de onda asignados a variaciones en temperatura de una fibra óptica según la invención;

las figuras 6(a) y 6(b) ilustran salidas de longitud de onda de muestra para dos temperaturas uniformes pero diferentes;

35 la figura 7 ilustra salidas de longitud de onda de muestra para el caso en el que las temperaturas locales sean diferentes; y

la figura 8 ilustra la asignación de longitud de onda de la técnica anterior.

#### **Descripción detallada de las realizaciones preferidas**

40 La figura 1 ilustra una turbina eólica 1, que comprende una torre de turbina eólica 2 en la que está montada una góndola de turbina eólica 3. Un rotor de turbina eólica 4 que comprende al menos una pala de turbina eólica 5 está montado en un buje 6. El buje 6 está conectado a la góndola 3 mediante un árbol de baja velocidad (no mostrado) que se extiende desde la parte frontal de la góndola. La turbina eólica ilustrada en la figura 1 puede ser un modelo pequeño pensado para uso de utilidad doméstico o ligero, o puede ser un modelo grande, tal como los que son adecuados para su uso en la generación de electricidad a gran escala en un parque eólico por ejemplo. En este  
45 último caso, el diámetro del rotor puede ser de hasta 100 metros o más.

La figura 2 ilustra un ejemplo de una fibra óptica para su uso en un sistema de sensor de fibra óptica según la invención. Aunque en este ejemplo, la fibra óptica descrita contiene una pluralidad de rejillas, se apreciará que la fibra óptica según la invención puede construirse con una pluralidad de LPG, o de hecho cualquier otra rejilla óptica de longitud de onda selectiva adecuada.

50 La fibra óptica 200 comprende un núcleo de fibra 201 y un revestimiento de fibra 202. El núcleo de fibra está dotado

de dos conjuntos de rejillas de Bragg en fibra (FBG) 203, 204, 205, 206 y 207 en el conjunto de FBG 208, y FBG 209, 210, 211, y 212 en el conjunto de FBG 213. Los conjuntos de FBG 208 y 213 corresponden a FBG A a D y F a I respectivamente en las figuras 5(a) y 5(b), mientras que la FBG 203 corresponde a la FBG E. Cada FBG está ajustada en el sentido de que reflejará una longitud de onda diferente de luz determinada por las dimensiones de la rejilla. Si la sección de la fibra óptica 20 que tiene una FBG se coloca junto a o en contacto con un componente de turbina eólica, entonces los cambios en la longitud de la fibra óptica en esa ubicación (por ejemplo, debido a un cambio de temperatura del componente o un cambio en esfuerzo), darán como resultado un cambio tanto en las dimensiones de la FBG como el índice de refracción de la fibra óptica. Ambos efectos alteran la longitud de onda de cualquier luz reflejada y/o transmitida por la FBG, que puede usarse por tanto como una medida de la temperatura o el esfuerzo del componente en esa ubicación.

La figura 3 ilustra una realización de un sistema de sensor de fibra óptica según un ejemplo de la invención. El sensor 300 comprende un dispositivo de emisión de luz 301, tal como una fuente de LED, de láser, halógena o de haluro metálico, un detector o dispositivo de medición de recogida de luz 302, tal como un fotodetector, y una fibra óptica 200 (por motivos de concisión se muestra sólo un conjunto de FBG 208). El dispositivo de emisión de luz está conectado a un extremo del cable óptico de fibra para introducir luz en la fibra, y el dispositivo de medición de luz (tal como un interrogador) está conectado al otro para recibir luz transmitida a lo largo de la fibra. Un interrogador es un detector de luz que detecta y mide la luz a lo largo de una amplia extensión de longitudes de onda. Un controlador 303 está conectado tanto al dispositivo de emisión de luz 301 como al dispositivo de medición de luz 302, mediante conexiones 304 y 305, tales como hilos o cables. Los componentes 301 a 305 pueden alojarse en una caja de montaje, o similar, para una unión fácil al interior o el exterior de un componente de turbina eólica.

La figura 4 ilustra el controlador 303 tal como se describió anteriormente con referencia a la figura 3. El controlador comprende un controlador de fuente de luz 400, acoplado a la fuente de luz 301. El controlador de fuente de luz se usa para determinar cuándo se hace funcionar la fuente de luz.

El controlador también comprende una memoria 401 para almacenar la salida recibida desde el detector de luz. Un analizador 402, tal como un procesador, y acoplado a la memoria, se proporciona para analizar la salida desde el detector de luz 302 almacenada en la memoria y determinar las longitudes de onda de la luz reflejada por las FBG. Existen dos alternativas disponibles para determinar las longitudes de onda de la luz reflejada por las FBG. O bien las longitudes de onda se miden directamente habiendo situado el detector de luz 302 en el mismo extremo de la fibra óptica 200 que la fuente de luz 301, o bien detectando la diferencia entre el perfil de luz proporcionado por la fuente de luz, y la luz recibida en el otro extremo de la fibra óptica.

Una unidad de cálculo 403 está acoplada al analizador 402 para calcular la diferencia entre la longitud de onda recibida desde cada FBG y una longitud de onda de referencia esperada si no hubiese diferencia de temperatura o esfuerzo, por ejemplo, entre las FBG (A, B, C o D) y la FBG E. La unidad de cálculo 403 también está acoplada a la memoria 401. La memoria 401 está adaptada para almacenar una tabla de consulta, y la tabla de consulta se proporciona para permitir que la unidad de cálculo busque el rango de longitudes de onda esperado para cada FBG. La unidad de cálculo determina entonces el valor del estado de funcionamiento medido por la FBG.

El controlador comprende además una línea de entrada/salida 404 para recibir y transmitir instrucciones o datos hasta y desde un sitio remoto, tal como una estación de monitorización. La línea de entrada/salida puede ser con cable o inalámbrica.

Adicionalmente, puede incorporarse una detección de error en el controlador 303. Si no se detecta longitud de onda dentro del rango esperado para una FBG particular, entonces esto puede ser una indicación de un defecto. Esto puede ser el resultado de una avería en el acoplamiento entre las condiciones de funcionamiento que se miden, o que la propia FBG es defectuosa.

Aunque el controlador se ha descrito en lo que se refiere a componentes de hardware independientes, esto es solamente para ilustrar la funcionalidad del controlador de una manera clara. En la práctica, será posible proporcionar los componentes de hardware como software o hardware, o como cualquier combinación de componentes individuales o combinados.

La fibra óptica 200 está montada en o dentro de un componente de turbina eólica (no mostrado en la figura 3) para medir el esfuerzo en el componente, o de hecho cualquier otro estado de funcionamiento adecuado del componente, tal como la temperatura. En un ejemplo, esto puede lograrse mediante soportes unidos a la superficie exterior o interior del componente. Otros métodos de montaje serán aceptables, tal como conocerá el experto en la técnica. Si el sensor fuese a instalarse en una turbina eólica para medir el esfuerzo en las palas de turbina eólica, es probable que la caja de montaje se sitúe en el buje 6, y la fibra óptica 200 se extienda internamente dentro de la pala desde el buje hasta la región relevante de la pala que va a evaluarse. De este modo, las propiedades aerodinámicas de las palas no se ven afectadas por la presencia del sensor. En otras ubicaciones, el sensor de fibra óptica puede montarse en el exterior del componente.

El sistema de sensor de fibra óptica descrito puede utilizarse por tanto para medir varias condiciones de funcionamiento, un estado de funcionamiento por FBG. Sin embargo, se requiere que esas condiciones de

funcionamiento estén acopladas (es decir, que un aumento en un estado de funcionamiento dé como resultado un aumento en las otras condiciones de funcionamiento, y viceversa). Por ejemplo, las condiciones de funcionamiento pueden ser la temperatura de varios componentes alojados dentro del alojamiento eléctrico de una turbina eólica ya que se esperará que una subida de temperatura de un componente lleve a una subida de temperatura de otro componente, y viceversa. El rango de temperatura global que puede medirse puede ser grande, por ejemplo desde -40 grados C hasta 60 grados C.

Ahora se describirá en más detalle el funcionamiento del sistema de sensor de fibra óptica, y con referencia a las figuras 2, 5a y 5b. En este ejemplo, sólo se describirá el uso del sensor para detectar la temperatura. El funcionamiento del sensor será el mismo para otras condiciones de funcionamiento que van a medirse. Además, en este ejemplo, se supone que las FBG están configuradas para reflejar luz de vuelta al detector, en lugar de transmitir luz a un detector remoto en el extremo de la fibra óptica 200. En la práctica, cualquiera o ambas configuraciones son aceptables.

Tal como se muestra en la figura 2, la fibra óptica 200 comprende varias FBG A a I, cada una ajustada a una longitud de onda diferente y cada una ubicada en una ubicación diferente en el componente donde van a tomarse mediciones. Tal como se muestra en la figura 5a, la FBG E está ajustada a una primera longitud de onda por defecto, que se encuentra en medio del rango de longitudes de onda de la luz que puede transmitirse a lo largo de la fibra óptica 200 y detectarse por el detector de luz 302.

Además, tal como se muestra en la figura 5a, un primer rango de longitudes de onda de medición está asignado a la FBG E para su uso, que corresponde al rango de temperaturas que la FBG E usará para detectar. En la figura 5a, se ilustra el rango de longitudes de onda extendiéndose entre  $\lambda_{emín}$  y  $\lambda_{emáx}$ , significando  $\lambda_{emed}$  el valor medio del rango.

En la práctica, por tanto, si se requiere la FBG E para detectar temperaturas en el rango de, por ejemplo, -40 a 60 grados C, la FBG E se construirá en la fibra óptica 200 de modo que cuando la fibra óptica 200 en la FBG E esté a -40 grados C, la longitud de onda de luz reflejada por la FBG E igualará a  $\lambda_{emín}$ , y de modo que cuando la fibra óptica 200 en la FBG E esté a 60 grados C, la longitud de onda de luz reflejada por la FBG E igualará a  $\lambda_{emáx}$ . Suponiendo la variación lineal de la longitud de onda de FBG con respecto a la temperatura, entonces la FBG E reflejará luz en  $\lambda_{emed}$  a 10 grados. Se conoce bien usar sensores de FBG de este modo, y pueden calcularse las longitudes de onda apropiadas para corresponder a la temperatura deseada, leerse de fichas técnicas para la fibra óptica o determinarse mediante un sencillo experimento.

Tal como se muestra en la figura 5a, a la FBG E se le asigna un rango de longitudes de onda exclusivo y distinto para el rango esperado del parámetro de funcionamiento que se mide. Por tanto, si se recibe una señal de luz que tiene una longitud de onda en el rango de  $\lambda_{emín}$  y  $\lambda_{emáx}$ , el controlador 303 puede reconocer de manera no ambigua esa señal como que es representativa de la temperatura de la FBG E (y por tanto la temperatura del componente en esa ubicación) y no otra. Como las señales de luz desde la FBG E pueden detectarse siempre de manera no ambigua, la FBG E se denominará FBG de calibración.

De manera similar, a las FBG A a D y F a I se les asignan rangos de longitudes de onda respectivos entre  $\lambda_{nmín}$  y  $\lambda_{nmáx}$  (donde n es representativa de A, B, C, D, F, G, H e I). Se supone que cada una de las FBG funcionará en el mismo rango de temperaturas que la FBG E, y en este ejemplo por tanto, cada FBG se usará para detectar temperaturas en el rango de -40 a 60 grados C pero en ubicaciones diferentes del componente. Al igual que anteriormente, cada FBG se construirá de modo que a medida que varía la temperatura de la FBG, varía la longitud de onda de luz reflejada entre los valores de longitud de onda adjudicados máximo y mínimo.

En el ejemplo de técnica anterior comentado anteriormente con referencia a la figura 8, cada una de las FBG A a D y F a I requerirán por tanto un rango exclusivo de longitudes de onda de funcionamiento para distinguirse las unas de las otras y proporcionar mediciones de temperatura no ambiguas de la manera descrita para la FBG E. Sin embargo en este caso, tal como se ilustra en la figura 5a, los rangos respectivos de longitudes de onda de las FBG A a D y F a I se solapan con al menos una FBG adyacente (excluyendo la FBG E). Esto proporciona ventajosamente una reducción en el rango total de longitudes de onda al que debe dar cabida la fibra y el sistema de sensor, pero no significa que en determinadas situaciones las señales proporcionadas por cada una de las FBG A a D y F a I dejen de ser no ambiguas. Como los rangos de longitudes de onda adyacentes se solapan entre sí, es posible que una señal de luz recibida desde la fibra óptica 200 corresponda a más de un valor posible de temperatura y ubicación. La FBG E de calibración se usa por tanto para determinar el rango esperado de temperaturas medido en las FBG A a D y las FBG F a I (esto puede lograrse ya que se supone que las ubicaciones en las que están ubicadas las FBG están térmicamente acopladas, lo que significa que existirá alguna correspondencia entre temperaturas en diferentes ubicaciones) así como para distinguir los valores de las diferentes FBG entre sí. Por este motivo, las FBG A a D y F a I se denominarán FBG subsidiarias, para indicar su dependencia de la FBG E de calibración.

Tal como se muestra en la figura 5a, la FBG E está construida para funcionar en longitudes de onda de  $\lambda_{emín}$  a  $\lambda_{emáx}$ . A las FBG A a D se les asignan rangos más bajos de longitudes de onda en comparación con el rango asignado a la FBG E, mientras que a las FBG F a I se les asignan rangos más altos. En este ejemplo, por tanto, el rango de longitudes de onda asignado a las FBG D y F es adyacente al asignado a la FBG E. La longitud de onda

asignada mínima de la FBG F,  $\lambda_{f\text{mín}}$ , y la longitud de onda asignada máxima de FBG D,  $\lambda_{d\text{máx}}$ , están separadas del rango para la FBG E en un valor de tolerancia  $\alpha$ . Este valor de tolerancia está pensado para dar cabida a cualquier imprecisión en la técnica de fabricación y permite posibles desviaciones en la longitud de onda construida de las FBG respectivas.

5 Cada rango de longitudes de onda asignado tendrá necesariamente un punto medio  $\lambda_{n\text{med}}$  alrededor del cual se centra el rango. Tomando la FBG E de calibración inicialmente, la variación de longitudes de onda esperada máxima para la FBG E es el rango de longitudes de onda entre el punto medio  $\lambda_{emed}$  y o bien  $\lambda_{emín}$  o bien  $\lambda_{emáx}$ . En este ejemplo, la diferencia en las longitudes de onda base de cada uno de los rangos para las FBG A a D o las FBG F a I (que es la diferencia entre  $\lambda_{amín}$  y  $\lambda_{bmín}$  por ejemplo) se establece para que sea esta variación máxima para la  
 10 FBG E más la tolerancia alfa. Esto garantiza que los rangos solapantes de longitudes de onda no se espacien demasiado (en cuyo caso, se disminuye la reducción con respecto a la anchura de banda), pero que no estén demasiado próximos entre sí (en cuyo caso, puede verse afectada la exactitud del sensor).

Haciendo referencia ahora a la figura 5b, puede observarse que esto da como resultado rangos de longitudes de onda que se solapan, pero que para cada rango de longitudes de onda hay una posición central que permanece no ambigua, y partes solapantes donde para el rango esperado de temperaturas de funcionamiento, puede encontrarse una sola longitud de onda en el rango de longitudes de onda asignado a ambas de dos FBG adyacentes.  
 15

Ahora se explicarán varios modos de ejemplo diferentes de funcionamiento, para ilustrar cómo el controlador 303 procesa las señales de luz recibidas desde la fibra óptica 200 y soluciona cualquier ambigüedad entre señales recibidas desde diferentes FBG.

20 En el primer ejemplo, se supone que la temperatura de la fibra óptica 200 es la misma en cada una de las ubicaciones de FBG diferentes A a I. El controlador de fuente de luz 400 ordena a la fuente de luz 301 que introduzca luz en la fibra óptica 200, y como resultado se refleja luz de vuelta desde cada una de las FBG A a I y se detecta en el detector de luz 302. El analizador 402 explora a través de las nueve señales recibidas desde las FBG respectivas A a I para detectar la señal reflejada de vuelta por la FBG E de calibración. La señal de la FBG E puede distinguirse de las otras FBG ya que (suponiendo que la temperatura del componente no ha salido del rango  
 25 esperado de temperaturas) siempre se sitúa en el rango dedicado de longitudes de onda exclusivas  $\lambda_{emín}$  o  $\lambda_{emáx}$ . A partir de la medición  $\lambda_e$  la temperatura del componente en la ubicación E puede determinarse mediante el analizador 402 y la unidad de cálculo 403. Este valor también se almacenará en la memoria 401 con una información de marca temporal. Haciendo referencia a la figura 5b, esta primera temperatura se indica como T1.

30 Ya que se conoce la relación entre los rangos de longitud de onda de la FBG E y las FBG A a D y F a I, el analizador y la unidad de cálculo 403 pueden calcular la longitud de onda de las señales de luz reflejada por las FBG A a D y F a I cuando las FBG están todas a la misma temperatura. La longitud de onda de luz que corresponde a la misma temperatura que la FBG E se denominará la longitud de onda de referencia para la FBG (se apreciará que esto variará con variaciones en temperatura).

35 Como el tamaño del rango de longitud de onda es el mismo para cada FBG, la diferencia en longitudes de onda esperadas entre las FBG E y D a la misma temperatura puede darse mediante la diferencia en el centro de los rangos ( $\lambda_{emed} - \lambda_{dmed}$ ) por ejemplo (pueden usarse también los valores mínimo o máximo de los rangos). De manera similar, la diferencia en longitudes de onda esperadas entre las FBG E y C a la misma temperatura puede darse mediante la diferencia en el centro de los rangos ( $\lambda_{emed} - \lambda_{cmed}$ ) por ejemplo (de nuevo pueden usarse  
 40 también los valores mínimo o máximo de los rangos). Por tanto, tal como se muestra en la figura 5b, una vez que se determina de manera absoluta el valor de T1 a partir de la FBG E, las longitudes de onda para la misma temperatura T1 en cada una de las ubicaciones diferentes A a D y F a I pueden determinarse fácilmente por resta o suma de un intervalo predeterminado respectivo. Este intervalo será diferente para cada rango de FBG, y puede medirse con respecto al rango de FBG adyacente o al rango de longitudes de onda para la FBG E.

45 Además, tal como se muestra en la figura 5b, se apreciará que suponiendo que la fibra óptica se dispone de manera uniforme a una segunda temperatura inferior T2, las longitudes de onda respectivas de las señales reflejadas de vuelta por las FBG en este caso serán inferiores, pero que el intervalo entre las longitudes de onda respectivas será el mismo en ambos casos. Esto se ilustra en las figuras 6a y 6b para las temperaturas T1 y T2. En uso, por tanto, si el analizador 402 y la unidad de cálculo 403, que han determinado la temperatura en E determinan también el espaciado regular de longitudes de onda indicado en las figuras 6a y 6b, puede deducirse que la fibra óptica está a una  
 50 temperatura uniforme.

En las figuras 5b, las barras horizontales A, B C y D por debajo del eje de longitud de onda indican cómo cambiarán los rangos de longitudes de onda que pueden detectarse en las FBG A a D con respecto a la temperatura. A medida que varía la temperatura en la FBG E, el otro rango de longitudes de onda de medición útil de las otras FBG desliza  
 55 arriba o abajo las longitudes de onda disponibles. Para la temperatura T1, por ejemplo el analizador 402 y la unidad de cálculo 403 suponen que cada una de las FBG A a D están funcionando en el rango de longitud de onda no ambiguo no sombreado indicado directamente por debajo del eje de longitud de onda. Para la temperatura T2, esos rangos de longitudes de onda no ambiguas se desplazan hacia abajo. Debido al acoplamiento térmico supuesto entre la FBG E y las otras FBG, una vez que se determina la temperatura en la FBG E, puede determinarse



fácilmente el rango esperado de funcionamiento en las otras FBG subsidiarias.

En la práctica, la temperatura en las ubicaciones que se monitorizan por las otras FBG A a D e I a F no serán idénticas a la FBG E, y las señales reflejadas de vuelta al detector de luz 302 y el analizador 402 no presentarán el espaciado regular ilustrado en las figuras 6a y 6b, sino que se espaciarán de manera irregular tal como se muestra en la figura 7. En este caso, el espaciado irregular es indicativo de las diferencias de temperatura en cada ubicación. Para determinar la temperatura real de cada una de las FBG, la unidad de cálculo por tanto determina la diferencia entre la longitud de onda de referencia (denominada  $\lambda_{n\_ref}$ ) de la FBG n, suponiendo que esa FBG n está a la misma temperatura que la FBG E, y la señal real que se detecta a partir de la FBG n.  $\lambda_{n\_ref}$  puede calcularse una vez que se conoce  $T_e$ , tal como se explicó anteriormente, y calcular la diferencia para dar una lectura de temperatura en la FBG n es, por tanto, simplemente una cuestión de resta o suma tal como se muestra en la figura 7.

Este caso supone que las longitudes de onda reales reflejadas de vuelta desde las diversas FBG se sitúan todas en los rangos no sombreados de las longitudes de onda de FBG ilustradas en la figura 5b. Estas longitudes de onda no sombreadas son no ambiguas ya que una vez que se calibran con respecto a la FBG E, es posible suponer con un alto grado de fiabilidad que una señal recibida en ese rango se reflejó a partir de una FBG particular y no otra. Se apreciará, por ejemplo, que si la señal de luz que se encuentra dentro de ese rango de longitud de onda se había reflejado de hecho por la FBG (n+1/n-1) adyacente a la FBG n esperada, indicará una desviación de temperatura muy grande en la FBG adyacente con respecto a la que se espera. Esto es poco probable dado el requisito de que las ubicaciones de FBG estén acopladas térmicamente.

En el caso de que las señales recibidas desde la fibra óptica 200 se sitúen en la región sombreada en el eje de longitud de onda, el sistema de sensor tiene dos opciones. En una implementación, el sistema simplemente desestima las lecturas de sensor y da un mensaje de error que indica que la longitud de onda de señal de luz recibida ya no indica una longitud de onda no ambigua sino que en su lugar indica una de al menos dos temperaturas dependiendo de cuál de las FBG se crea que refleja la señal. Alternativamente, el analizador 402 puede procesar la señal que se encuentra dentro de las regiones de longitud de onda ambiguas sombreadas y ver si puede determinarse la FBG de origen (y por tanto la temperatura y la ubicación correctas). Esto puede lograrse de varios modos.

En primer lugar, el sistema de sensor está configurado para registrar la temperatura y las indicaciones de longitud de onda de manera continua en el tiempo. De este modo, una longitud de onda recibida que se encuentra en la parte ambigua sombreada del eje de longitud de onda puede compararse con las longitudes de onda recibidas para los intervalos de tiempo inmediatamente anteriores. Suponiendo que esos valores históricos de la longitud de onda recibida se originan en la región no sombreada del eje de longitud de onda y luego se derivan en la región ambigua sombreada a medida que cambiaba la temperatura, pueden resolverse valores de longitud de onda potencialmente ambiguos simplemente mediante inspección y comparación con valores anteriores. Sin embargo, esto supone que con bastante frecuencia se toman muestras de las longitudes de onda para que valores sucesivos puedan relacionarse entre sí.

En una configuración más sencilla, el analizador puede suponer simplemente que los valores de longitud de onda en la región ambigua del rango de longitud de onda pertenecen a la longitud de onda no ambigua de rango de FBG al que están lo más próximos. Esto da más cabida a error, pero significa que la sobrecarga de análisis y procesamiento del sensor es menor. En la práctica, usar los valores de longitud de onda en las regiones ambiguas del eje de longitud de onda será deseable o innecesario dependiendo del grado de solapamiento entre los rangos adyacentes. Se apreciará que tomar el valor de longitud de onda que esté lo más próximo al valor de referencia se produce por lo común cuando la longitud de onda que se recibe se sitúa en el rango de longitudes de onda no ambiguas. El funcionamiento basándose en la longitud de onda más próxima permite por tanto que el sistema desestime enteramente la distinción entre los rangos no ambiguos y ambiguos.

De manera similar, se apreciará que el rango dedicado de longitudes de onda de FBG E puede solaparse en una pequeña cantidad (por ejemplo, en una cantidad menor que el solapamiento de los rangos de longitud de onda asignados a las FBG A y B). De nuevo, puesto que se supone que las ubicaciones de FBG están térmicamente acopladas, incluso cuando la longitud de onda medida para la FBG E se sitúa en un rango que también se asigna a la FBG D (o la FBG F) analizando las longitudes de onda de luz reflejadas por las otras FBG, la temperatura en la FBG puede determinarse de manera no ambigua.

La invención se ha descrito con referencia a implementaciones de ejemplo, meramente por motivos de ilustración. La invención no ha de limitarse a ellas, ya que al experto en la técnica se le ocurrirán muchas modificaciones y variaciones. La invención ha de entenderse a partir de las reivindicaciones siguientes.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de sensor de fibra óptica (300) para medir en una pluralidad de ubicaciones un estado de funcionamiento, comprendiendo el sensor:
  - una fibra óptica de sensor (200);
  - 5 una fuente de luz (301) para introducir luz en la fibra óptica de sensor;
  - un detector de luz (302) para recibir luz desde la fibra óptica de sensor; y
  - un procesador (303) para emitir mediciones del estado de funcionamiento correspondientes a la pluralidad de ubicaciones basándose en luz recibida en el detector de luz (302); en el que las condiciones de funcionamiento en la pluralidad de ubicaciones están acopladas de manera que un aumento en un estado de funcionamiento da como resultado un aumento en las otras condiciones de funcionamiento, y viceversa;
  - 10 en el que la fibra óptica de sensor (200) comprende una pluralidad de rejillas ópticas (FBG 1-I), estando dispuesta cada rejilla en uso en una ubicación respectiva y dispuesta para funcionar en un rango respectivo de longitudes de onda dependiendo de variaciones en el estado de funcionamiento; caracterizado porque:
    - una primera de la pluralidad de rejillas es una rejilla principal (FBG E) y está dispuesta para funcionar en un primer rango de longitud de onda, siendo el primer rango de longitud de onda distinto de un segundo rango de longitudes de onda en el que las otras rejillas están dispuestas para funcionar, y
    - 15 en el que las otras rejillas (FBG A-D y FBG F-I) están dispuestas de manera que los rangos de longitud de onda respectivos en los que funcionan están espaciados del primer rango de longitud de onda en un intervalo predeterminado respectivo y de manera que se solapan con el rango de longitud de onda respectivo de al menos otra rejilla adyacente;
    - 20 en el que la cantidad en que se solapan los rangos respectivos de longitudes de onda de las otras rejillas es de manera que para cada una de las otras rejillas hay un rango de longitudes de onda no ambiguas que son exclusivas para esa rejilla y un rango de longitudes de onda ambiguas que se solapan con las longitudes de onda de la rejilla adyacente;
    - 25 en el que el procesador (303) puede hacerse funcionar para determinar el valor del estado de funcionamiento en la ubicación de la rejilla principal a partir del valor de longitud de onda recibido en el primer rango de longitud de onda, y para determinar el valor de un estado de funcionamiento en la ubicación de una de las otras rejillas basándose en el valor de longitud de onda recibido en el primer rango de longitud de onda, un valor de longitud de onda recibido en el segundo rango de longitud de onda, y los intervalos predeterminados en que los rangos solapantes están espaciados entre sí.
2. Sistema de sensor (300) según la reivindicación 1, en el que la luz que tiene una longitud de onda en el primer rango de longitud de onda es exclusivamente indicativa del valor del estado de funcionamiento en la ubicación de la rejilla principal.
3. Sistema de sensor (300) según la reivindicación 1 ó 2, en el que el procesador (303) puede hacerse funcionar para determinar un valor de longitud de onda de referencia para una primera de las otras rejillas, indicando el valor de referencia para la primera de las otras rejillas, la longitud de onda en el rango respectivo de longitudes de onda de la rejilla que corresponde al valor del estado de funcionamiento medido en la rejilla principal, y
  - 35 en el que el valor de longitud de onda de referencia para la rejilla se calcula sumando o restando el intervalo predeterminado respectivo al/del valor de longitud de onda recibido en el primer rango de longitud de onda.
4. Sistema de sensor (300) según la reivindicación 3, en el que el procesador (303) puede hacerse funcionar para determinar el valor del estado de funcionamiento en la primera de las otras rejillas determinando la diferencia entre el valor de longitud de onda de referencia para la rejilla y el valor de longitud de onda recibido más próximo.
- 45 5. Sistema de sensor (300) según las reivindicaciones 3 ó 4, que comprende una memoria (401), en el que el procesador (303) puede hacerse funcionar para almacenar una serie cronológica de mediciones de longitud de onda en la memoria para cada una de las otras rejillas, y
  - 50 en el que el procesador (303) puede hacerse funcionar para determinar el valor del estado de funcionamiento en la primera de las otras rejillas determinando la diferencia entre el valor de longitud de onda de referencia y un valor de longitud de onda recibido que se encuentra dentro de las longitudes de onda ambiguas para la primera de las otras rejillas, y comparando el valor de longitud de onda recibido con valores históricos de la longitud de onda en la serie cronológica de mediciones.

6. Sistema de sensor (300) según cualquier reivindicación anterior, en el que el segundo rango de longitud de onda se divide en segundos rangos de longitud de onda inferior y superior, y el primer rango de longitudes de onda se sitúa entre los rangos inferior y superior.
- 5 7. Sistema de sensor (300) según cualquier reivindicación anterior, en el que los rangos de longitud de onda primero y segundo están separados uno de otro por un margen de longitudes de onda no usadas.
8. Sistema de sensor (300) según cualquier reivindicación anterior, en el que la rejilla es una rejilla de Bragg en fibra, o una rejilla en fibra de periodo largo.
9. Sistema de sensor (300) según cualquier reivindicación anterior, en el que el estado de funcionamiento es uno o más de temperatura, esfuerzo, deformación o presión.
- 10 10. Sistema de sensor (300) según cualquier reivindicación anterior, en el que la pluralidad de ubicaciones son ubicaciones respectivas en un componente de turbina eólica.
11. Método para hacer funcionar un sistema de sensor de fibra óptica (300), comprendiendo el sistema una fibra óptica de sensor (200) que tiene una pluralidad de rejillas (FBG A-I), estando dispuesta cada rejilla en uso en una ubicación de medición respectiva y dispuesta para funcionar en un rango respectivo de longitudes de onda dependiendo de variaciones en un estado de funcionamiento de la ubicación de medición, en el que las condiciones de funcionamiento en las ubicaciones de medición están acopladas de manera que un aumento en un estado de funcionamiento da como resultado un aumento en las otras condiciones de funcionamiento, y viceversa, caracterizándose el método porque comprende:
- 15 asignar un primer rango de longitudes de onda de medición exclusivas a una rejilla principal (FBG E) en la fibra óptica;
- 20 asignar rangos respectivos de longitudes de onda de medición a rejillas adicionales (FBG A-D y FBG F-I) en la fibra óptica, en el que los rangos asignados a las rejillas adicionales son distintos del primer rango de longitudes de onda de medición exclusivas y están separados del primer rango por intervalos predeterminados, y en el que los rangos asignados a cada una de las rejillas adicionales se solapan con al menos una rejilla adicional adyacente;
- 25 en el que la cantidad en que se solapan los rangos respectivos de longitudes de onda de las rejillas adicionales es de manera que para cada una de las rejillas adicionales hay un rango de longitudes de onda no ambiguas que son exclusivas para esa rejilla y un rango de longitudes de onda ambiguas que se solapan con las longitudes de onda de la rejilla adyacente;
- 30 determinar el valor del estado de funcionamiento en la ubicación de la rejilla principal a partir de un valor de longitud de onda recibido en el primer rango de longitudes de onda de medición exclusivas;
- determinar el valor de un estado de funcionamiento en la ubicación de una de las otras rejillas basándose en el valor de longitud de onda recibido en el primer rango de longitud de onda, un valor de longitud de onda recibido en los rangos de longitud de onda asignados a las rejillas adicionales, y basándose en los intervalos predeterminados en que los rangos solapantes están espaciados entre sí.
- 35 12. Método según la reivindicación 11, que comprende determinar un valor de longitud de onda de referencia para una primera de las otras rejillas, indicando el valor de referencia para la primera de las otras rejillas, la longitud de onda en el rango respectivo de longitudes de onda de la rejilla que corresponde al valor del estado de funcionamiento medido en la rejilla principal, y
- 40 en el que el valor de longitud de onda de referencia para la rejilla se calcula sumando o restando el intervalo predeterminado respectivo al/del valor de longitud de onda recibido en el primer rango de longitud de onda.
13. Método según la reivindicación 12, que comprende determinar el valor del estado de funcionamiento en la primera de las otras rejillas para determinar la diferencia entre el valor de longitud de onda de referencia para la rejilla y el valor de longitud de onda recibido más próximo.
- 45 14. Método según las reivindicaciones 12 ó 13, que comprende:
- almacenar una serie cronológica de mediciones de longitud de onda en la memoria (401) para cada una de las otras rejillas, y
- determinar el valor del estado de funcionamiento en la primera de las otras rejillas determinando la diferencia entre el valor de longitud de onda de referencia y un valor de longitud de onda recibido que se encuentra dentro de las longitudes de onda ambiguas para la primera de las otras rejillas, y comparando el valor de longitud de onda recibido con valores históricos de la longitud de onda en la serie cronológica de mediciones.
- 50

15. Método según cualquiera según las reivindicaciones 11 a 14, en el que el segundo rango de longitud de onda se divide en segundos rangos de longitud de onda inferior y superior, y el primer rango de longitudes de onda se sitúa entre los rangos inferior y superior.
- 5 16. Método según cualquiera según las reivindicaciones 11 a 15, en el que los rangos de longitud de onda primero y segundo están separados uno de otro por un margen de longitudes de onda no usadas.
17. Método según cualquiera según las reivindicaciones 11 a 16, en el que la rejilla es una rejilla de Bragg en fibra, o una rejilla en fibra de periodo largo.
18. Método según cualquiera según las reivindicaciones 11 a 17, en el que el estado de funcionamiento es uno o más de temperatura, esfuerzo, deformación o presión.
- 10 19. Método según cualquiera según las reivindicaciones 11 a 18, en el que la pluralidad de ubicaciones son ubicaciones respectivas en un componente de turbina eólica.
20. Producto de programa informático que tiene un código informático almacenado en el mismo que cuando se ejecuta en un procesador (303) provoca que el procesador lleve a cabo las etapas de las reivindicaciones 11 a 19.

15

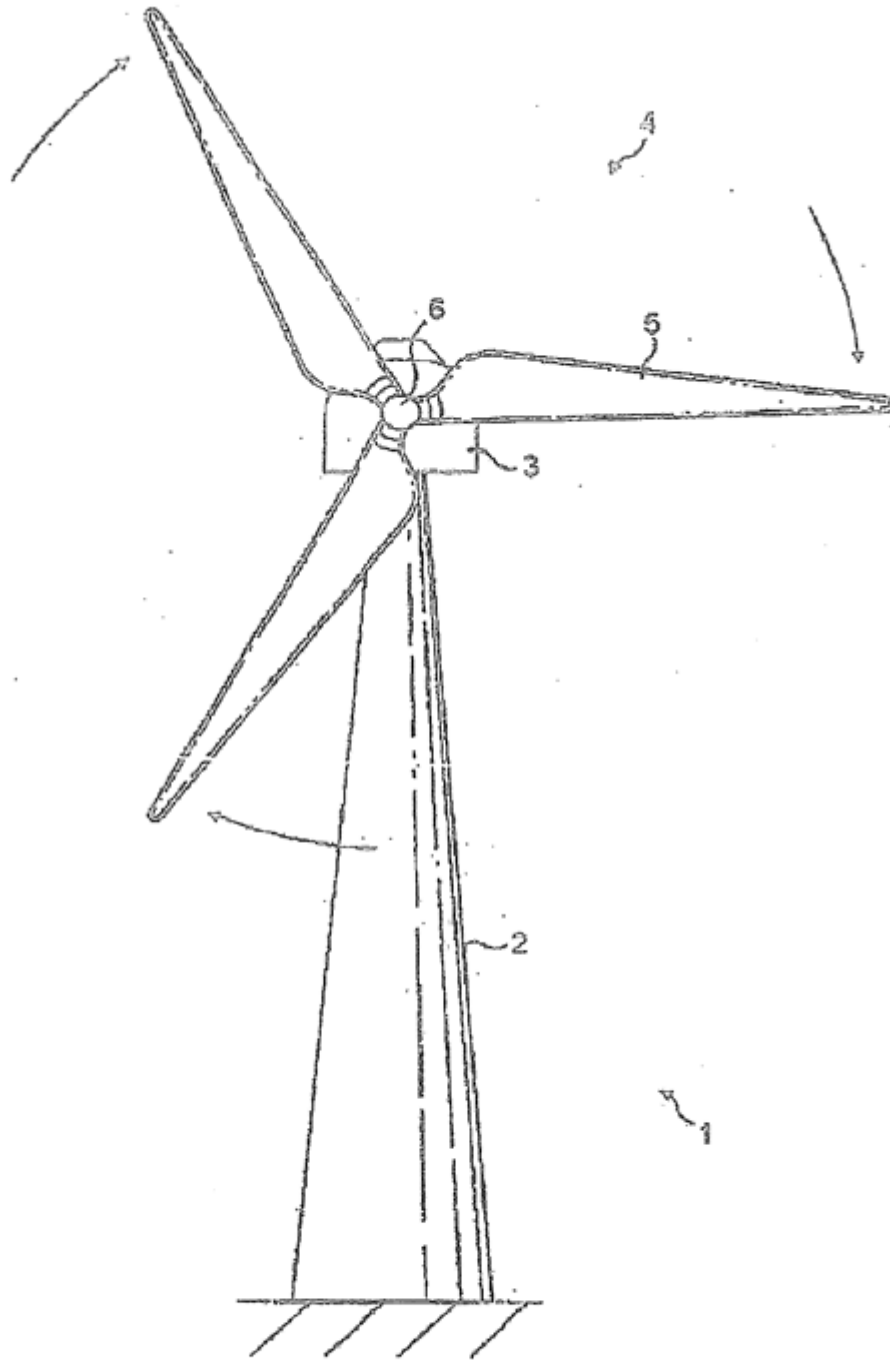


Figura 1

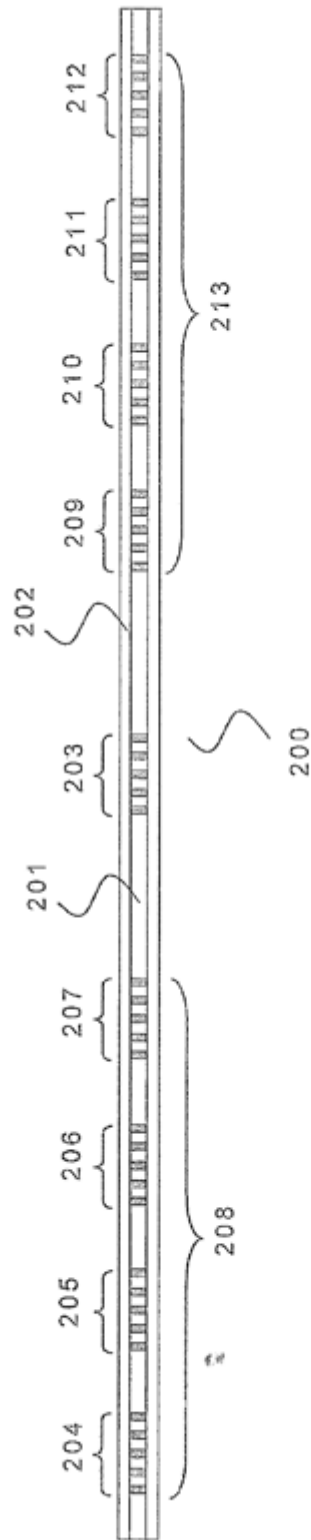


Figura 2

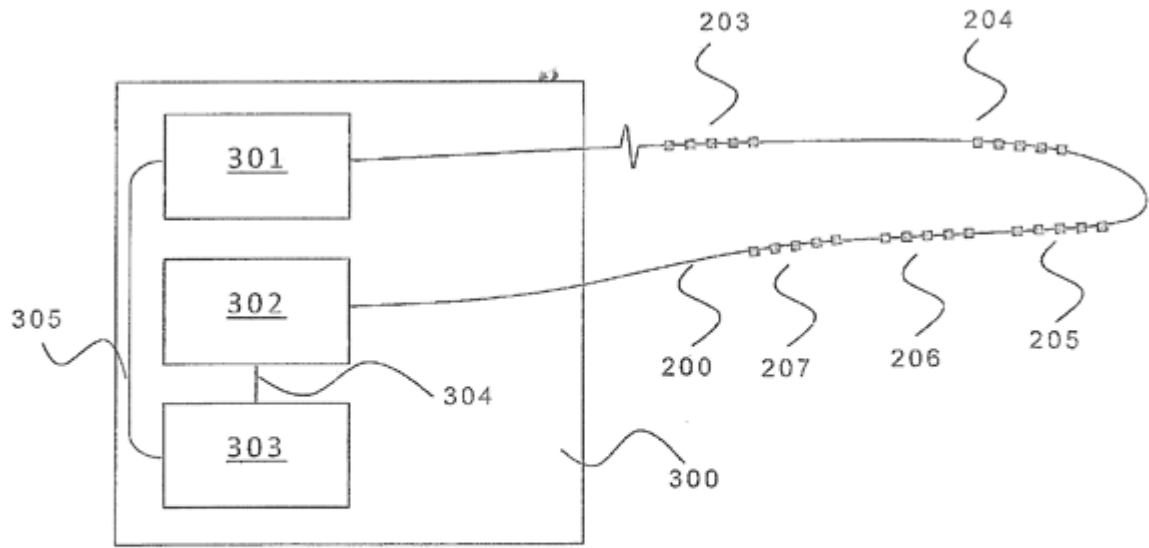


Figura 3

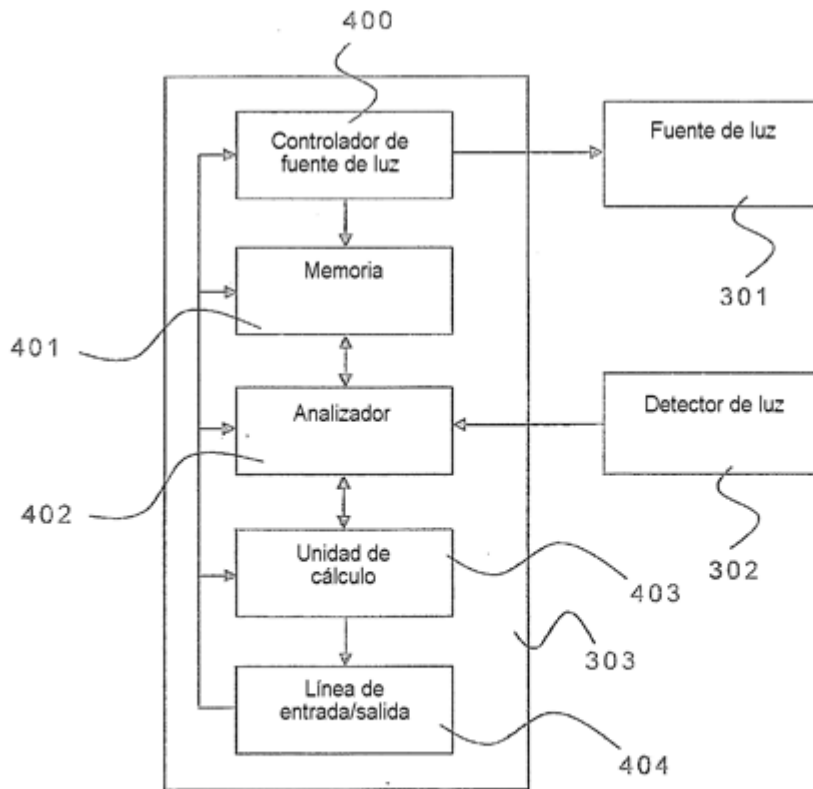


Figura 4

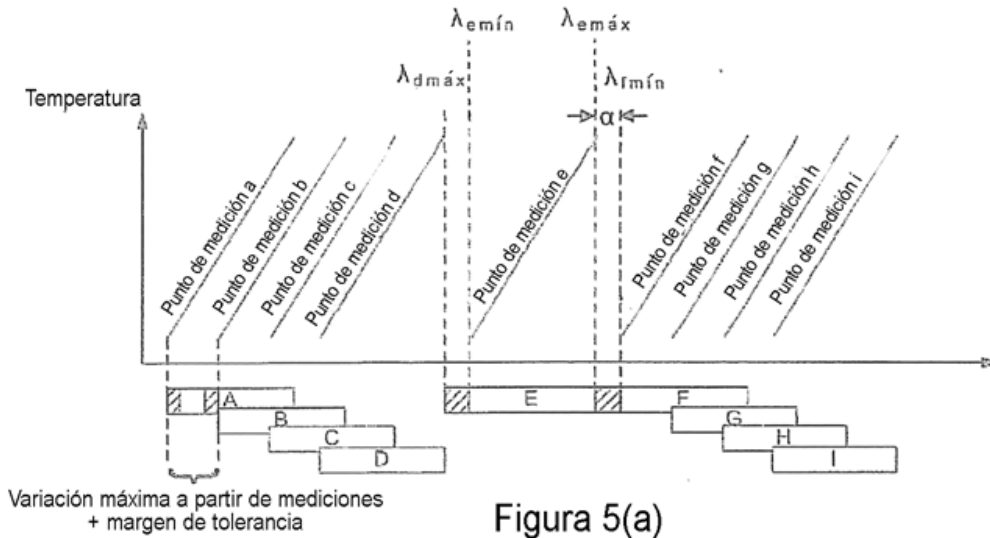


Figura 5(a)

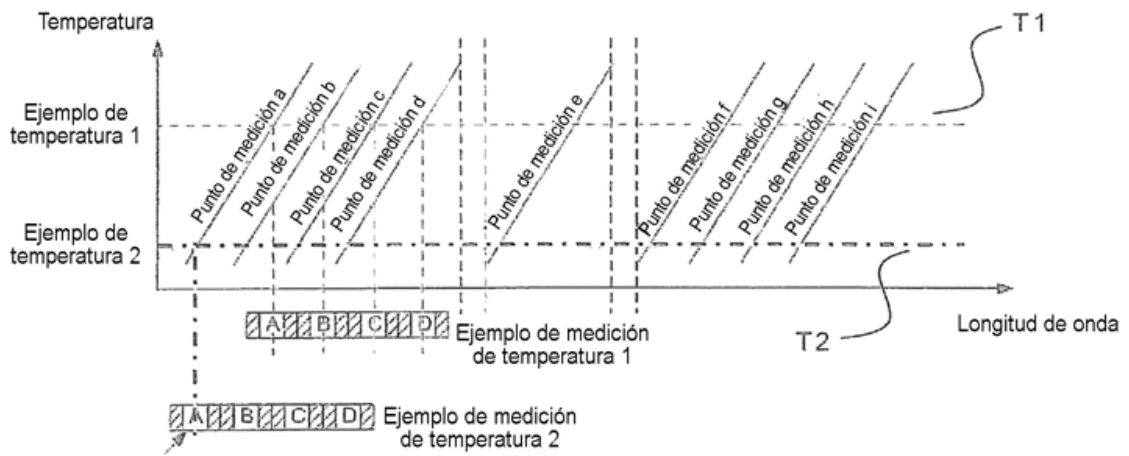


Figura 5(b)



Figura 6(a)

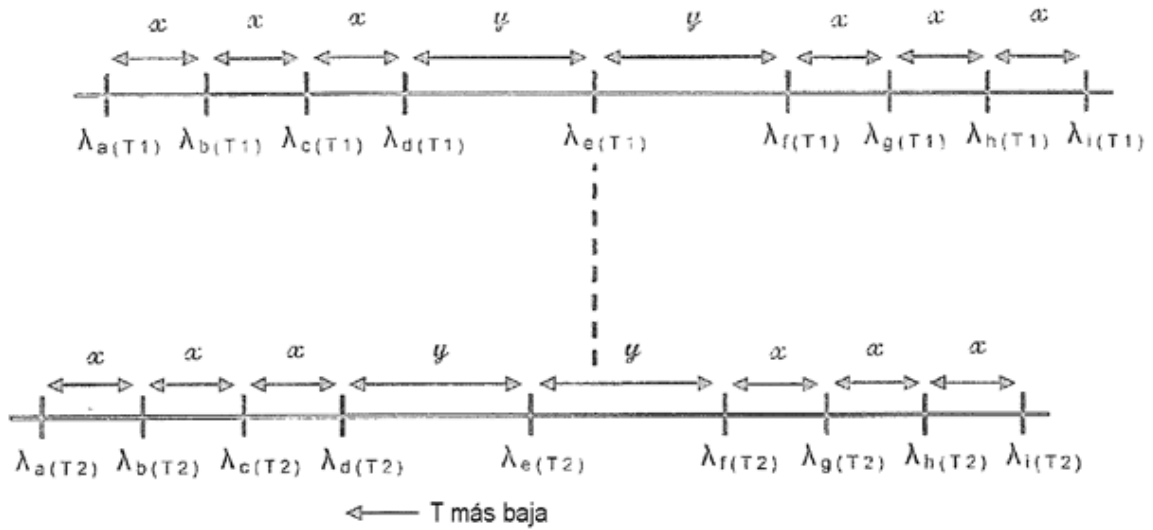


Figura 6(b)

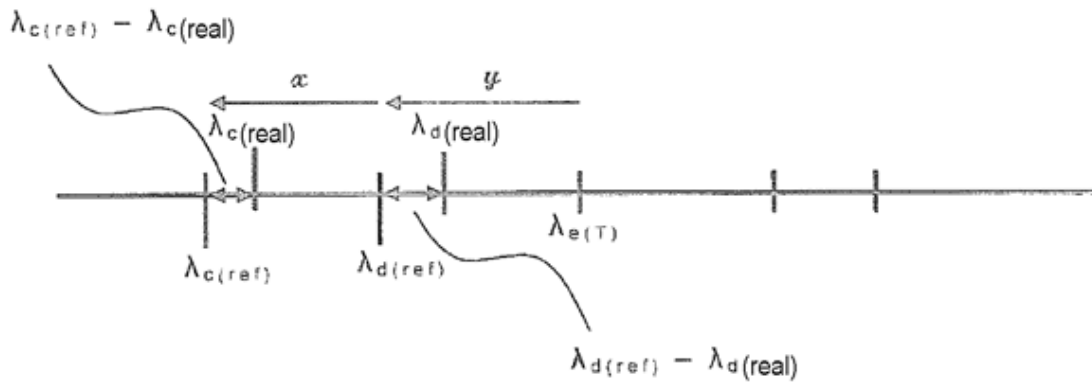


Figura 7

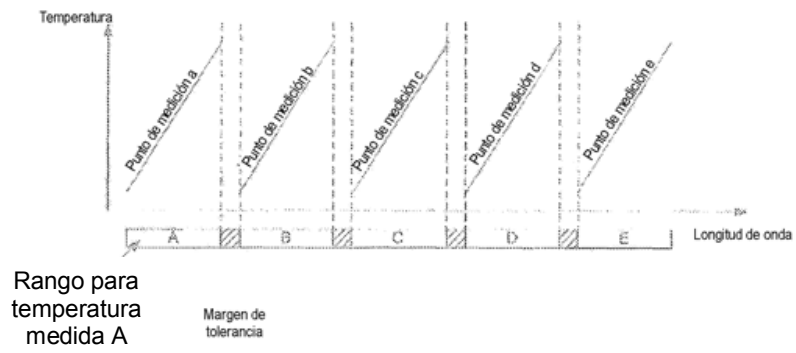


Figura 8