

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 419 579**

21 Número de solicitud: 201100866

51 Int. Cl.:

**G02B 6/44** (2006.01)

**G01B 11/16** (2006.01)

12

## PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**20.07.2011**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**20.08.2013**

88 Fecha de publicación diferida del informe sobre el estado de la técnica:

**15.10.2013**

Fecha de la concesión:

**18.08.2014**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**25.08.2014**

73 Titular/es:

**AEROBLADE S.A. (100.0%)**  
**Parque Científico y Tecnológico de Bizkaia, C/**  
**Astondo Bidea. Edificio 614**  
**48160 DERIO (Bizkaia) ES**

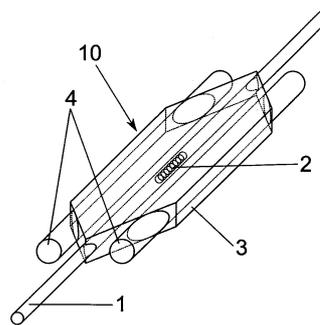
72 Inventor/es:

**ARAMBURU ARRIAGA, Joseba;**  
**LOPEZ HIGUERA, Jose Miguel;**  
**QUINTELA INCERA, Antonio;**  
**RODRIGUEZ COBO, Luis y**  
**ZABALAANDIKOETXEA PUENTE, Ainhoa**

54 Título: **SISTEMA DE TRANSDUCCION BASADO EN REDES DE DIFRACCION EN FIBRA OPTICA**

57 Resumen:

Un sistema de transducción (10) que comprende: una fibra óptica (1) que lleva grabada al menos una red de difracción (2); un bloque de resina (3) en el que al menos una red de difracción (2) está totalmente embebida. El bloque de resina (3) comprende una pluralidad de filamentos de refuerzo (4) dispuestos de forma longitudinal a dicha fibra óptica (1) y a la red de difracción (2) grabada en la misma, estando dichos filamentos de refuerzo (4) situados a ambos lados de la fibra óptica (1) y configurados para aislar a la red de difracción (2) de presiones verticales. Una estructura (40) de un material compuesto que comprende al menos un sistema de transducción (10) embebido en su interior.



a

FIGURA 1

ES 2 419 579 B1

## **DESCRIPCIÓN**

### **SISTEMA DE TRANSDUCCIÓN BASADO EN REDES DE DIFRACCIÓN EN FIBRA ÓPTICA**

#### 5 **CAMPO DE LA INVENCION**

La presente invención pertenece al campo de la monitorización y medida de deformaciones en estructuras de materiales compuestos mediante técnicas de fibra óptica, y en particular con transductores basados en redes de difracción en fibra  
10 óptica.

#### **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Los materiales compuestos presentan un impacto elevado en la industria actual. En  
15 concreto, en sectores como el aeronáutico o el eólico abundan los plásticos reforzados con fibras (de carbono, vidrio, madera, etc.).

Pese a que existen varios métodos de fabricación de materiales compuestos basados en fibras, la mayoría de métodos de fabricación pasan por colocar una serie de telas de  
20 fibras para que se entremezclen con los plásticos, típicamente resinas epoxi o poliéster.

Uno de estos métodos es el moldeo por infusión de resina (del inglés, *resin infusion moulding*), en el que se depositan los tejidos de fibra (de carbono, vidrio, etc.) sobre un molde, se cubre con una bolsa y se realiza vacío. Posteriormente se deja entrar la  
25 resina para que impregne los tejidos durante el proceso de infusión. A continuación se deja curar dicha resina para obtener un bloque de plástico reforzado con la forma del molde.

30 Medir deformaciones en estructuras es clave en los nuevos diseños. Conocer la respuesta de una estructura durante su vida útil puede reducir costes tanto en

fabricación como en mantenimiento, previendo cuándo va a fallar y permitiendo diseños más eficientes.

5 Existen numerosas técnicas de fibra óptica probadas para la medida de respuestas estructurales, entre ellas las basadas en redes de difracción. Empleando estas técnicas se puede detectar con gran precisión las deformaciones sufridas en puntos claves de una estructura.

10 La fibra óptica estándar de telecomunicaciones es de sílice y lleva un recubrimiento, generalmente de acrilato, que la protege mecánicamente. En la fibra óptica el recubrimiento típico de acrilato ronda las 250  $\mu\text{m}$  de diámetro, aproximadamente. Otros recubrimientos pueden ser empleados para habilitar la aplicación de la tecnología de fibra en otras áreas de aplicación como, por ejemplo, la de sensores óptico.

15 La tecnología de red de difracción en fibra óptica parte de la deformación periódica del núcleo de la fibra de modo que, en la zona alterada (zona de transducción), se modifican las propiedades de la luz linealmente dependientes del período de la deformación. Teniendo en cuenta dichos efectos, si se somete a la zona de transducción a una deformación mecánica en el eje longitudinal de la fibra óptica, el período de la alteración del núcleo es modificado, cambiando las propiedades de la luz correspondientemente tanto en transmisión como en reflexión.

20 En el caso particular de las redes de difracción de periodo corto o de Bragg (del inglés, *Fiber Bragg Gratings*, *FBG*) la longitud de onda central de la luz reflejada por la zona de transducción es proporcional al período de la alteración del núcleo. De ese modo, al medir la longitud de onda central devuelta por la red de difracción se puede obtener el nivel de deformación al que está sometida la zona de transducción, bien sea por deformación mecánica o por expansión térmica.

30 Dada la alta sensibilidad de las redes de difracción, en general se requiere que la

deformación sea homogénea en la zona de transducción para obtener una medida fiable de dicho parámetro. Conseguir una distribución homogénea de la deformación directamente realizando el proceso de instalación puede resultar muy complejo en algunos escenarios.

5

Además, teniendo en cuenta que debido al proceso de fabricación de la red de difracción, puede ser necesario retirar el recubrimiento, dejando la fibra de sílice en sus 125  $\mu\text{m}$  de diámetro, es necesario volver a proteger la zona de transducción antes de incorporarla a la estructura.

10

Para intentar solventar dichos problemas de integración de las tecnologías de fibra óptica con la fidelidad de las medidas estructurales, se han encontrado diferentes propuestas en el estado de la técnica:

15

En la solicitud de patente estadounidense US2003/0066356-A1 se describe un dispositivo basado en fibra óptica para medir cargas, en el que se recubre la zona de transducción con un bloque de material compuesto para proteger la fibra óptica y homogeneizar la transferencia de deformación ajustando el módulo elástico del bloque al de la estructura a sensar. Dicho dispositivo está orientado a ser incorporado en una estructura de hormigón, por lo que en el diseño se incorporan medios adicionales para fijar el transductor a dicha estructura que se desea medir, por ejemplo pegado superficialmente o insertado en hormigón.

20

En la solicitud de patente internacional WO2010001255-A2 se presenta una idea similar a la anterior dentro del ámbito de los materiales compuestos, y más concretamente dentro del sector de energías renovables. Se describe un sensor basado en fibra óptica para la medida de deformación mediante redes de difracción de Bragg. Consta de un bloque de resina en la que se inserta la fibra óptica. El diseño de este dispositivo está orientado a ser *pegado* en la superficie de la estructura a monitorizar.

25

Para ello se incorpora una zona de montaje que separa el bloque de sensado de la superficie y con la que se consigue una mejor homogeneidad de la deformación al

30

separar más los puntos de anclaje.

5 Por otra parte, en la solicitud de patente europea EP1148324-A2 se describe un transductor basado en FBG en el que se protege la fibra óptica incorporándola a un “parche”. Este proceso puede realizarse de varias formas, siendo un recubrimiento de resina una de ellas. Con dicho “parche” se consigue homogeneizar la deformación en la zona de transducción y se previene a la fibra óptica de las *microrroturas*. Dicho dispositivo está orientado a ser *adherido a la superficie a monitorizar* y se especifica la salida cableada de la fibra óptica para una mejor protección mecánica.

10 A su vez, en la solicitud de patente internacional WO2009144341-A1 se presenta otra implementación de un sensor de materiales compuestos basado en redes de difracción de Bragg (FBG) para la medida de deformaciones. Este diseño está orientado a ser *pegado* a la superficie de la estructura. Se basa en un elemento portador de materiales compuestos en el que se incorpora un FBG en disposición asimétrica con el fin de acercar más la zona de transducción óptica a la superficie a caracterizar.

20 Enfocando más la aplicación de técnicas de fibra óptica al ámbito de los materiales compuestos, se pueden encontrar varios ejemplos de sistemas de monitorización estructural. Por ejemplo, en la solicitud de patente europea EP1677091-A1 se describe un método basado en tecnología FBG para detectar fallos en estructuras de materiales compuestos. Se intenta detectar inhomogeneidades en la respuesta de la estructura caracterizando la evolución de los espectros de los FBG. Si bien es cierto que se contempla situar la fibra óptica en el interior de los laminados, está más orientado a monitorizar la evolución de puntos críticos como las uniones entre componentes. De cualquier modo sólo se describe el método, sin entrar a detalles en la implementación física de la zona de transducción.

30 Particularizando más dentro de los materiales compuestos, destaca el sector de las energías renovables, en donde se pueden encontrar varios ejemplos de aplicaciones

de técnicas de fibra óptica. Así, en la solicitud de patente europea EP1780523-A1 se describe un sistema de monitorización para palas de aerogenerador basado en tecnologías de fibra óptica. Se caracterizan las *pérdidas* introducidas en la fibra óptica al deformarse con la estructura. Incorporando fibras ópticas de diferentes diámetros se pueden conseguir diferentes tensiones de ruptura para registrar cuándo se superan ciertas deformaciones en algún punto. Desde el punto de vista de implementación, se citan las opciones de pegar o embeber la fibra a/en los laminados, pero no se especifica la forma de hacerlo ni se proporcionan ejemplos de implementación.

En la solicitud de patente internacional WO2008101496-A2 se describe una pala de aerogenerador con medios de sensado óptico. Desde el punto de vista óptico no se particulariza que la tecnología empleada sean redes de difracción. En cuanto a su implementación, se basa en un dispositivo diseñado para ser *pegado* en la superficie interna de la pala de aerogenerador. Para ello se parte de un soporte al que se fija la fibra óptica para facilitar la instalación y alineamiento y protegerla mecánicamente.

En la solicitud de patente internacional WO2008020242-A2 se describe una pala de aerogenerador con sensores de deformación ópticos basados en FBGs. Se detalla un sistema de monitorización con al menos un punto de medida por cada parte de la pala de aerogenerador. Para su instalación se contempla que sea incorporado a una parte de la pala de aerogenerador. Si bien esta instalación puede ser realizada antes de la infusión, se concibe sólo como un método de protección mecánica, ya que se sitúa en la *superficie* del componente. Se especifica además que el componente está montado en un sustrato. Para insertar el componente en la pala, se utilizan marcas o agujeros.

En la solicitud de patente internacional WO2009095025-A1 se describe un método de sensado y sistema ópticos orientado a componentes de aerogenerador. Se parte de la tecnología de redes de difracción de Bragg (FBG) y se describe un método de multiplexación en longitud de onda basada en láser sintonizable.

En vista de los trabajos realizados previamente se observa que el monitorizado óptico de estructuras de materiales compuestos no es una disciplina nueva. No obstante, en ningún trabajo de los encontrados se resuelven los problemas característicos de la integración de redes de difracción en fibra óptica con los materiales compuestos.

5

En los documentos anteriores se exponen diferentes soluciones a problemáticas características de la fibra óptica, como puede ser su protección mecánica para evitar las microrroturas en vista a su manipulación o facilitar el alineamiento de la zona de transducción durante el proceso de instalación de los transductores.

10

No obstante, al tratar de introducir las redes de difracción en fibra óptica en bloques de materiales compuestos surgen otra serie de problemas durante el proceso de fabricación, además de los expuestos en los documentos anteriores.

15

Debido a las condiciones de fabricación de las piezas de materiales compuestos, la fibra óptica es sometida a unas fuerzas transversales y que pueden ser de distribución espacial no homogénea significativas, puesto que mediante presión, bien sea mecánica o por procesos al vacío, se controla la compacidad del laminado. Desde el punto de vista mecánico, la fibra sin su protección se rompería bajo estas circunstancias en un entorno industrial, por lo que es necesario volver a proteger las zonas débiles, como puede ser la zona de transducción.

20

La sensibilidad que presentan las redes de difracción en fibra óptica es elevada a deformaciones mecánicas, por lo que las rugosidades introducidas por los tejidos empleados en los procesos de fabricación de laminados aplican una deformación heterogénea sobre la red de difracción, por lo que las propiedades ópticas de la misma se ven degradadas. Este efecto se ve acrecentado al tener que aplicar presión para compactar el laminado por lo que, aparte de proteger la fibra óptica mecánicamente, se requieren medios para aislar la red de difracción de las posibles inhomogeneidades presentes en los materiales compuestos que pueden modificar su respuesta óptica.

25

30

Es asimismo, condición necesaria que el transductor embebido en la estructura sea lo menos invasivo posible para que no modifique las características mecánicas de la estructura. Lo citado es particularmente vital cuando ha de ser instalado en puntos críticos de las estructuras a las que no debe de perturbar; lo que conduce a que el transductor ha de ser efectuado de tal forma que sea “naturalizable” en el seno de las citadas estructuras. Teniendo esto en cuenta, existen limitaciones tanto en forma como en tamaño (sobre todo en espesor) y en los materiales válidos para proteger la/s rede/s de difracción base de los transductores.

## RESUMEN DE LA INVENCIÓN

La presente invención trata de resolver los inconvenientes mencionados anteriormente mediante una innovadora forma de protección de la red de difracción, que aísla a la red de las agresiones del sistema de fabricación. Se superan así las mayores limitaciones de los sistemas de transducción convencionales, que vienen impuestas por los espesores y materiales, que pueden degradar el comportamiento de la estructura de material compuesto.

Partiendo de estas limitaciones se decide optar por un bloque de resina con refuerzos longitudinales en el que se embebe la red de difracción y que aísla a la red de las agresiones del sistema de fabricación. Con este diseño se cumplen las restricciones de espesor, planteando una geometría simple para una mejor adaptación a los tejidos del laminado que además permite una mejor instalación del sistema de fibra óptica.

Concretamente, en un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de transducción que comprende: una fibra óptica que lleva grabada al menos una red de difracción; un bloque de resina en el que, al menos, una red de difracción está totalmente embebida. El bloque de resina comprende una pluralidad de filamentos de refuerzo dispuestos de forma longitudinal a la fibra óptica y a la red de difracción

grabada en la misma, estando los filamentos de refuerzo situados a ambos lados de la fibra óptica y configurados para aislar a la red de difracción de fuerzas transversales que puedan perturbar la fidelidad de la respuesta del transductor.

5 Preferentemente, el bloque de resina es un bloque de resina plástica y más preferentemente la resina plástica es epoxi o poliéster.

Los filamentos de refuerzo, sin despreciar otras posibilidades, preferentemente pueden ser: grupos de fibras de vidrio, grupos de fibras de carbono, grupos de fibras de aramida  
10 o grupos de fibras ópticas.

Preferentemente los filamentos de refuerzo están situados de forma simétrica a ambos lados de la fibra óptica.

15 También preferentemente el diámetro de los refuerzos es al menos 1,5 veces mayor que el diámetro de la fibra óptica.

El bloque de resina tiene preferentemente un espesor constante desde al menos el filamento de refuerzo situado a un lado de la red de difracción y más cercano a la  
20 misma y hasta al menos el filamento de refuerzo situado al otro lado de la red de difracción y más cercano a la misma.

En una posible realización, el sistema de transducción comprende una pluralidad de redes de difracción grabadas en la fibra óptica.

25 El sistema está configurado para ser integrado en una estructura de un material compuesto durante el proceso de fabricación de la estructura.

La invención también proporciona una estructura de un material compuesto que  
30 comprende al menos un sistema de transducción embebido en su interior, siendo ese sistema de transducción cualquiera de los descritos anteriormente.

Preferentemente el material compuesto que forma esa estructura es compatible con el bloque de resina del al menos un sistema de transducción embebido en la estructura.

5 En una posible realización, la estructura lleva embebidos una pluralidad de de sistemas de transducción, formando un transductor quasidistribuido.

En otro aspecto de la invención, se proporciona una pala para un aerogenerador eólico formada por láminas de la estructura descrita anteriormente.

10

Las ventajas de la invención se harán evidentes en la descripción siguiente.

#### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

15 Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, y para complementar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma, un juego de dibujos, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo. En estos dibujos:

20 Las figuras 1a y 1b muestran esquemas de un bloque o sistema de transducción de acuerdo con una posible realización de la invención.

25 La figura 2 muestra una posible realización de la invención, en la que se enlazan N bloques de transducción en el mismo canal de fibra óptica, de forma que se obtiene un transductor quasidistribuido como unidad básica de sensado de la estructura.

La figura 3 ilustra un proceso de embebido del bloque de transducción en una estructura de material compuesto, de acuerdo con la invención.

30 La figura 4 esquematiza cómo cada bloque o sistema de transducción queda

completamente embebido en el material en la posición deseada, de acuerdo con la invención.

5 **DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

En este texto, el término “comprende” y sus variantes no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos.

10 Además, los términos “aproximadamente”, “sustancialmente”, “alrededor de”, “unos”, etc. deben entenderse como indicando valores próximos a los que dichos términos acompañen, ya que por errores de cálculo o de medida, resulte imposible conseguir esos valores con total exactitud.

15 Las siguientes realizaciones preferidas se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la  
20 invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención.

25 El ámbito de la invención está centrado en torno a la industria de los materiales compuestos o “composites”, entendiendo por materiales compuestos todos aquellos materiales formados por una resina plástica, tal como epoxi o poliéster, con materiales de refuerzo como fibra de vidrio, fibra de carbono, aramida, etc.

30 Partiendo de las citadas limitaciones de los sistemas de transducción convencionales, es decir, los espesores y materiales, el dispositivo de la invención comprende un bloque de resina plástica con refuerzos longitudinales en el que se embebe la red de difracción. Tal y como se describe a continuación, este bloque aísla a la red de las agresiones del sistema de fabricación. Con este diseño se cumplen las restricciones

de espesor características de los sistemas de fabricación de materiales compuestos, típicamente inferiores a unos milímetros, planteando una geometría simple para una mejor adaptación a los tejidos del laminado, que además permite una mejor instalación del sistema de fibra óptica.

5

La figura 1a muestra un esquema de un bloque o sistema de transducción 10 de acuerdo con una posible realización de la invención. En concreto, la figura 1a esquematiza una fibra óptica 1 en la que se ha grabado una red de difracción 2. La red de difracción 2 (y parte de la fibra 1) se recubre con un bloque de resina plástica 3 (por ejemplo, pero no limitativamente, resina epoxi). Paralelos a la red de difracción 2 a lo largo de la fibra óptica 1 se incorporan filamentos de refuerzo 4, que pueden ser de diversos materiales, tales como fibra de vidrio, carbono, aramida, etc. Dichos refuerzos 4 se posicionan a ambos lados de la red de difracción 2 con una distribución sustancialmente simétrica, con el fin de homogeneizar la deformación en la red de difracción 2. Es decir, se pretende que la deformación en la zona de medida se distribuya uniformemente al medir. Debe situarse al menos un refuerzo 4 a cada lado de la fibra 1 que lleva inscrita la red de difracción 2. Dichos refuerzos 4 tienen que presentar una altura mayor que el diámetro de la fibra óptica 1 y tienen que ser posicionados dejando la red de difracción 2 en el punto central del eje vertical con el fin de aislar la red de difracción 2 de fuerzas transversales. Una configuración recomendada es emplear refuerzos 4 cuyo diámetro sea al menos 1,5 veces mayor al diámetro de la fibra 1, y más preferentemente al menos del doble del diámetro de la fibra 1. Para garantizar la homogeneidad de la medida, el bloque de resina 3 ha de presentar un espesor constante entre los refuerzos 4 (al menos en los más cercanos) y la red de difracción 2.

10

15

20

25

Desde el punto de vista óptico, la red de difracción 2 del sistema de transducción 10 ha de ser de la mínima longitud posible que la técnica permita, típicamente unos milímetros, para minimizar los posibles efectos de inhomogeneidades en la deformación durante la medida. Se ha observado que con redes de difracción 2 de unos milímetros la deformación en la zona de medida se mantiene constante.

Para facilitar la integración del sistema de transducción en materiales compuestos, la geometría general del bloque ha de ser simple, no presentando formas abruptas que favorezcan la aparición de inhomogeneidades en el material al que se incorpora el sistema de transducción. En la figura 1b se muestra una posible realización de un sistema de transducción 10 análogo al de la figura 1a. En la figura 1b se incluye una transición en chaflán 6 en los laterales del sistema de transducción (a continuación de los refuerzos 4 más exteriores) para mejorar su integración en plásticos reforzados. El espesor del sistema de transducción es constante 7 en la zona entre los refuerzos 4 y la fibra 1, de este modo se consigue una respuesta homogénea a la deformación.

A la vista de los inconvenientes observados al tratar de reproducir la integración de redes de difracción del estado de la técnica en estructuras compuestas, los inventores han impuesto al sistema de transducción de la invención los siguientes requisitos:

- Reproteger, si procede, las zonas de fibra óptica que no tengan cubierta (por ejemplo de acrilato) para ofrecer una mejor consistencia mecánica.
- Aislar a la red de difracción de las irregularidades introducidas al presionar posteriormente, durante la fase de embebimiento en el laminado, para lo que el bloque es diseñado.
- Homogeneizar la deformación ofrecida a la red de difracción para obtener una medida con la mayor relación señal-ruido y mayor fidelidad y fiabilidad.
- Facilitar el manejo y posicionamiento del punto de transducción.

Por otro lado, desde el punto de vista de la estructura en la que se va a incluir el bloque de transducción, se derivan más restricciones:

- La integración del bloque de transducción 10 no debe degradar la respuesta mecánica de la estructura o al menos no degradarla significativamente. Esto implica pequeños espesores (inferiores a unos milímetros) y formas simples poco invasivas.

- Los materiales empleados tienen que ser materiales compuestos, para no degradar el comportamiento de la estructura.
- El proceso de instalación tiene que ser compatible con la fabricación de laminados, como por ejemplo la infusión al vacío.

5 Observando estos requerimientos, se ha desarrollado un sistema de transducción basado en redes de difracción en fibra óptica y plástico reforzado. El sistema obtenido presenta la suficiente resistencia mecánica para su manipulación en entornos de producción.

10 Debido al espesor constante en la zona de la red de difracción 2 y a la disposición simétrica de los refuerzos 4, se consigue una distribución homogénea de la deformación. Asimismo, con el correcto dimensionamiento de los refuerzos 4 se protege la red de difracción 2 de las fuerzas o presiones transversales características del proceso de fabricación de la estructura.

15 Con el fin de minimizar problemas de degradación de las propiedades ópticas de la red de difracción, se trata de emplear redes de la menor longitud posible, dentro de los límites de la técnica empleada. Preferentemente se elige y diseña una red de difracción 2 de una longitud menor de unos milímetros. Con esta elección se penaliza un poco la resolución de la medida, a cambio de una mayor robustez a inhomogeneidades en la deformación.

20 El sistema de transducción 10 debe presentar una forma que facilite su integración entre los tejidos del material compuesto de la estructura en la que se va a integrar. Geometrías simples sin transiciones abruptas y extremos en chaflán 6 (figura 1-b) permiten una mejor integración en los materiales compuestos de la estructura destino, evitando posibles inhomogeneidades creadas durante el proceso de embebido.

25 El sistema de transducción 10 debe presentar una forma que facilite su integración entre los tejidos del material compuesto de la estructura en la que se va a integrar. Geometrías simples sin transiciones abruptas y extremos en chaflán 6 (figura 1-b) permiten una mejor integración en los materiales compuestos de la estructura destino, evitando posibles inhomogeneidades creadas durante el proceso de embebido.

30 En una posible realización de la invención, tal y como se esquematiza en la figura 2, se enlazan N sistemas de transducción 10 (en el esquema de la figura 2, N=3) en el

5 mismo canal de fibra óptica 1, de forma que se obtiene un “transductor quasidistribuido” como unidad básica de sensado de la estructura. El transductor quasidistribuido como el descrito en la figura 2 (o un transductor formado por un único bloque de transducción 10 como los descritos en las figuras 1a y 1b) ha de ser posicionado entre las telas del laminado 8 de la estructura destino antes de finalizar la estructura.

10 En la estructura de materiales compuestos se embeben varios transductores quasidistribuidos en función de los puntos de interés a monitorizar. Cada transductor quasidistribuido es cableado por ambos extremos para realizar la salida de la estructura de material compuesto dotando a la fibra óptica de mayor robustez mecánica.

15 Si bien es cierto que los transductores basados en redes de difracción en fibra óptica suelen ser interrogados por un solo extremo, preferentemente se extraen ambos extremos para poder aplicar otras técnicas de interrogación, cuyo alcance queda fuera de la presente invención y/o para añadir redundancia al sistema y, por tanto, mejorar su fiabilidad.

20 A continuación se describe un proceso de fabricación del sistema de transducción 10 de la invención: Se parte de una fibra óptica de telecomunicaciones 1. En ella se graba una red de difracción 2 mediante cualquier método convencional de grabado. Posteriormente se recubre con el bloque de resina 3 mediante el proceso descrito:

- 25
1. Se posiciona la red de difracción 2 en un molde plástico antiadherente con la forma del bloque de transducción 10. Al posicionar, se centra la red de difracción 2 con distribución simétrica dentro del molde.
  2. Se incorporan los refuerzos 4 en disposición longitudinal, alineados con la fibra óptica 1.
  - 30 3. Se vierte resina plástica 3 de baja viscosidad cubriendo todos los huecos del molde.

4. Se cierra el molde y se deja curar siguiendo los requisitos de la resina.
5. Se abre el molde y se retira el bloque de transducción finalizado 10.

Para fabricar un transductor quasidistribuido sólo hay que escalar el sistema de fabricación al número de puntos de medida del transductor.

5

A continuación se describe el proceso de embebido del bloque de transducción 10 en una estructura 40 de material compuesto, tal y como se ilustra en la figura 3: La incorporación del sistema de transducción -quasidistribuido o no- en una estructura de material compuesto tiene que realizarse durante el proceso de fabricación.

10

El material compuesto que forma la estructura 40 (que tras el proceso de embebido incorporará el bloque de transducción 10) puede ser, sin carácter limitativo, uno de los siguientes: laminado de fibra de vidrio o laminado de fibra de carbono, más la correspondiente resina. Uno de los métodos para fabricar el material compuesto de la estructura 40 en la que se va a embeber el sistema o bloque 10, conocido en el estado de la técnica como “laminación en seco”, consiste en apilar los tejidos de refuerzo (o telas de laminado), posteriormente se realiza una presión que compacta el laminado y se añade la resina plástica, para formar así el auténtico material compuesto que formará la estructura 40. Si el proceso de fabricación es por infusión al vacío, la presión para compactar se realiza mediante una bolsa de vacío antes de incorporar la resina plástica. Otra opción es emplear tejidos ya impregnados de resina. Un experto en la materia entenderá que como proceso de fabricación del material compuesto puede utilizarse cualquier otro método conocido en el estado de la técnica.

15

20

25

30

Como se representa en la figura 3, el sistema de transducción 10 (que puede ser quasidistribuido) tiene que ser introducido entre los tejidos de refuerzo o telas de laminado 8 antes de compactar el laminado. Para ello, durante la colocación de los tejidos de refuerzo 8, se sitúa el sistema de transducción 10 en la posición de la estructura a caracterizar. Debido a los refuerzos (resina plástica 3 y refuerzos 4) incorporados al sistema de transducción 10, se protege la fibra óptica 1 con la red de

difracción 2 de las presiones ejercidas durante la compactación de los tejidos que conforman el laminado 8.

5 Para fijar cada sistema de transducción 10 en su posición, se fija a uno de los tejidos 8 con resina plástica, preferiblemente similar a la empleada en la fabricación de la estructura que se quiere monitorizar con el sistema de traducción, como por ejemplo resinas epoxi o poliéster. Una vez compactado, los bloques de transducción 10 quedan completamente embebidos en el material en la posición deseada, tal y como se ilustra en la figura 4.

10 En la figura 4 se representa una corte transversal de una estructura 40 de material compuesto con sistema de transducción 10 embebido. Se observa cómo los tejidos de refuerzo o telas de laminado 8 se amoldan al sistema de transducción 10. La figura 4 muestra cuatro telas de laminado 8, pero este número refleja solamente una  
15 posibilidad de implementación, pudiendo incluirse más o menos telas de laminado 8. Los refuerzos 4 incorporados al sistema de transducción 10 protegen a la fibra óptica 1 y a la red de difracción (no ilustrada en la figura 4) de las presiones ejercidas durante la fabricación de la estructura 40. Asimismo, debido a la posición sustancialmente simétrica de la red de difracción con respecto a los refuerzos 4, la  
20 deformación de la estructura se transmite homogéneamente. Dado que el sistema de transducción 10 presenta una forma simple, la resina 3 se distribuye homogéneamente en las zonas de transición 5, favoreciendo una mejor integración del dispositivo. Este efecto se mejora drásticamente al introducir un pequeño chaflán en los laterales del sistema de transducción (referencia 6 en figura 1.b) que facilite el  
25 ajuste de los tejidos 8.

El sistema de transducción puede ser empleado para monitorizar cualquier estructura, preferiblemente fabricada con materiales compuestos posibilitando su embebido. Un posible ejemplo es su aplicación a las palas de aerogenerador. A continuación se  
30 detalla este ejemplo de realización:

En una pala de aerogenerador, típicamente la carga recae en la zona central. Caracterizar las deformaciones en dicha zona central puede resultar de interés de cara a diagnosticar el estado actual y la vida útil de la estructura. Debido a la topología de una pala, el espesor del material compuesto en que se embebe el sistema de transducción 10 es muy variable, por ejemplo entre unos 150 y 15 mm para un caso intermedio. En el caso más restrictivo, se embebe un sistema de transducción 10 en una lámina de material compuesto (como fibra de vidrio) de unos 15 mm de espesor sin degradar su comportamiento mecánico. Para ello se emplea un sistema de transducción 10 basado en una red de difracción de Bragg de 5 mm grabada en fibra óptica estándar de telecomunicaciones con cubierta de acrilato (250 um de diámetro).

Para implementar el sistema de transducción, se parte de la red de difracción y se encapsula en un bloque de resina epoxi de baja viscosidad, concretamente la misma empleada en la fabricación de la pala de aerogenerador. Se incorporan al bloque de resina dos refuerzos de fibra de vidrio de 800 um según ilustra la figura 1a. Dichos refuerzos fijan el espesor del bloque de resina resultante a 800 um.

Una vez finalizado el sistema de transducción, se incorpora a la estructura durante el proceso de fabricación posicionándolo sobre los tejidos como ilustra la figura 3. Al finalizar la estructura de material compuesto se analiza la calidad del proceso de embebido al no detectarse discontinuidades en la estructura resultante.

El transductor y bloque transductor descritos puede ser utilizado para monitorizar cualquier estructura fabricada con materiales compuestos. Un ejemplo claro en donde su utilidad es relevante es en la palas de los aerogeneradores eólicos. En las palas de los aerogeneradores es muy importante el diseño de la misma para conseguir, con la mínima cantidad de material y menor peso, fabricar una pala que cumpla los requisitos mínimos en sus prestaciones mecánicas. Cuando se trabaja en el límite del diseño, es de gran utilidad el poder disponer de información sobre el estado de la pala, bien durante su almacenaje o bien durante su periodo de vida útil. Si en el

proceso de fabricación de una pala se integran estratégicamente unos transductores como los descritos, es posible extraer esa información sobre el estado mecánico de la pala y poder predecir con mayor precisión cuál va a ser el tiempo de vida útil de la misma, prediciendo posibles reparaciones, o sustituciones de la misma en el aerogenerador o bien suspender una sustitución periódica si las medidas obtenidas reflejan el correcto funcionamiento de la misma. Por lo tanto, aunque la instalación de este tipo de transductores supone un coste adicional en la fabricación de las palas, esta inversión se acaba amortizando con las medidas obtenidas, ya que así no se va a actuar sobre las mismas de manera periódica sino solamente cuando realmente sea necesario. Además se van a obtener datos que pueden ayudar a optimizar y mejorar el diseño de las mismas.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de transducción (10) que comprende:

- 5            -una fibra óptica (1) que lleva grabada al menos una red de difracción (2);
- un bloque de resina (3) en el que dicha al menos una red de difracción (2) está totalmente embebida;

10            caracterizado por que dicho bloque de resina (3) comprende una pluralidad de filamentos de refuerzo (4) dispuestos de forma longitudinal a dicha fibra óptica (1) y a la red de difracción (2) grabada en la misma, estando dichos filamentos de refuerzo (4) situados a ambos lados de la fibra óptica (4) y configurados para aislar a la red de difracción (2) de presiones verticales.

15            2. El sistema de la reivindicación 1, donde dicho bloque de resina (3) es un bloque de resina plástica.

20            3. El sistema de la reivindicación 2, donde dicha resina plástica es epoxi o poliéster.

              4. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dichos filamentos de refuerzo (4) se eligen del grupo siguiente: grupos de fibras de vidrio, grupos de fibras de carbono, grupos de fibras de aramida o grupos de fibras ópticas.

25            5. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dichos filamentos de refuerzo (4) están situados de forma simétrica a ambos lados de la fibra óptica (4).

30            6. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el diámetro de dichos filamentos de refuerzo (4) es al menos 1,5 veces mayor que el diámetro de dicha fibra óptica (1).

5 7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho bloque de resina (3) tiene un espesor constante desde al menos el filamento de refuerzo (4) situado a un lado de la red de difracción más cercano a la misma y hasta al menos el filamento de refuerzo (4) situado al otro lado de la red de difracción (2) más cercano a la misma.

10 8. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una pluralidad de redes de difracción (2) grabadas en dicha fibra óptica (1).

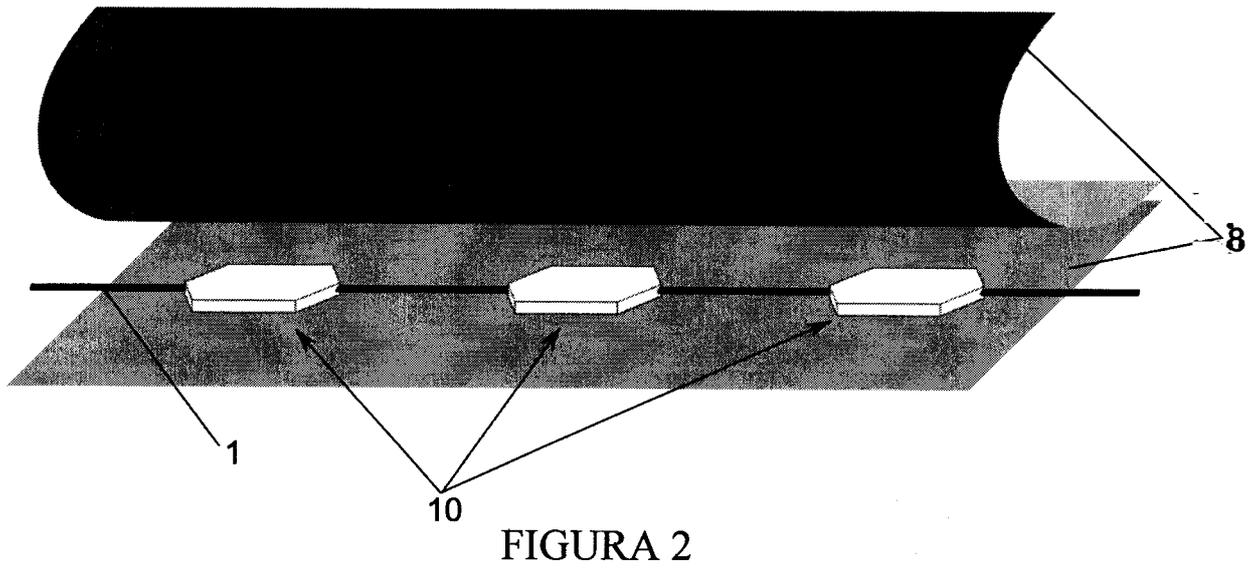
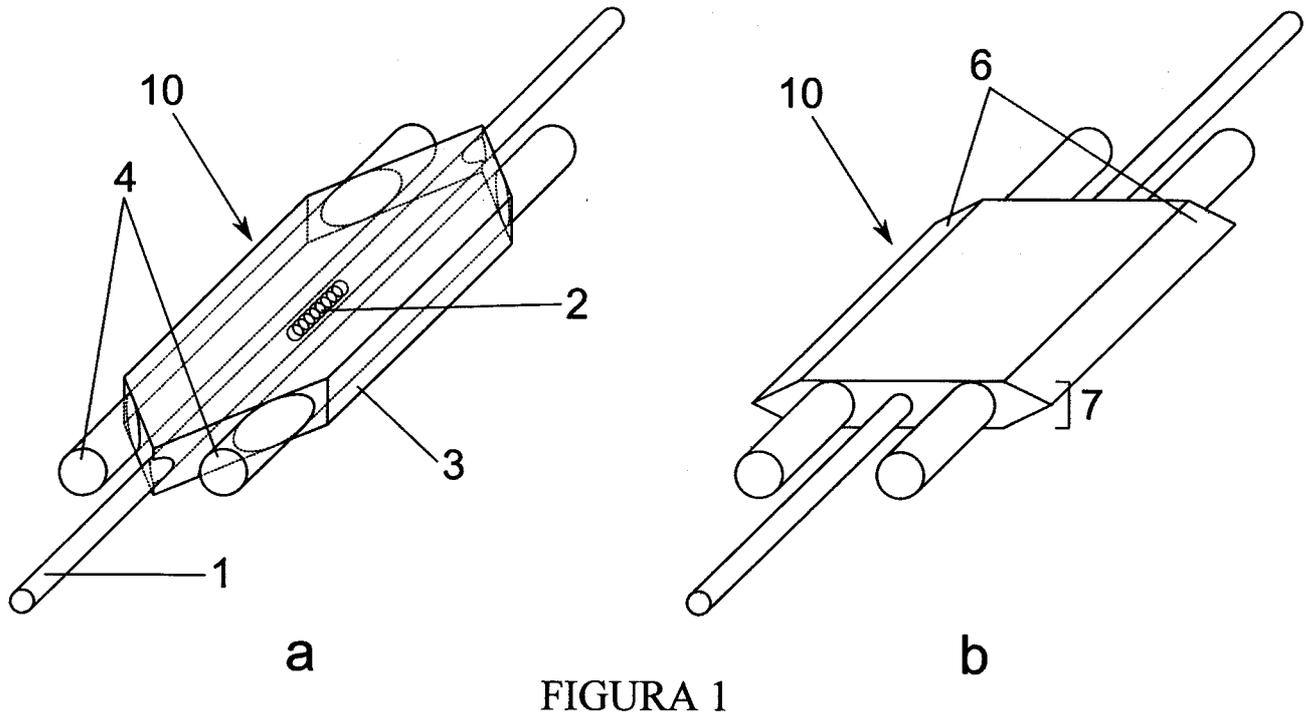
9. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que está configurado para ser integrado en una estructura (40) de un material compuesto durante el proceso de fabricación de dicha estructura (40).

15 10. Una estructura (40) de un material compuesto que comprende al menos un sistema de transducción (10) embebido en su interior, siendo dicho sistema de transducción (10) cualquiera de los de las reivindicaciones 1 a 9.

20 11. La estructura de la reivindicación 10, donde el material compuesto que la forma es compatible con el bloque de resina (3) de dicho al menos un sistema de transducción (10) embebido en dicha estructura (40).

25 12. La estructura de cualquiera de las reivindicaciones 10 u 11, que comprende una pluralidad de sistemas de transducción (10) formando un transductor quasidistribuido.

13. Una pala para un aerogenerador eólico formada por láminas (8) de la estructura (40) de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12.



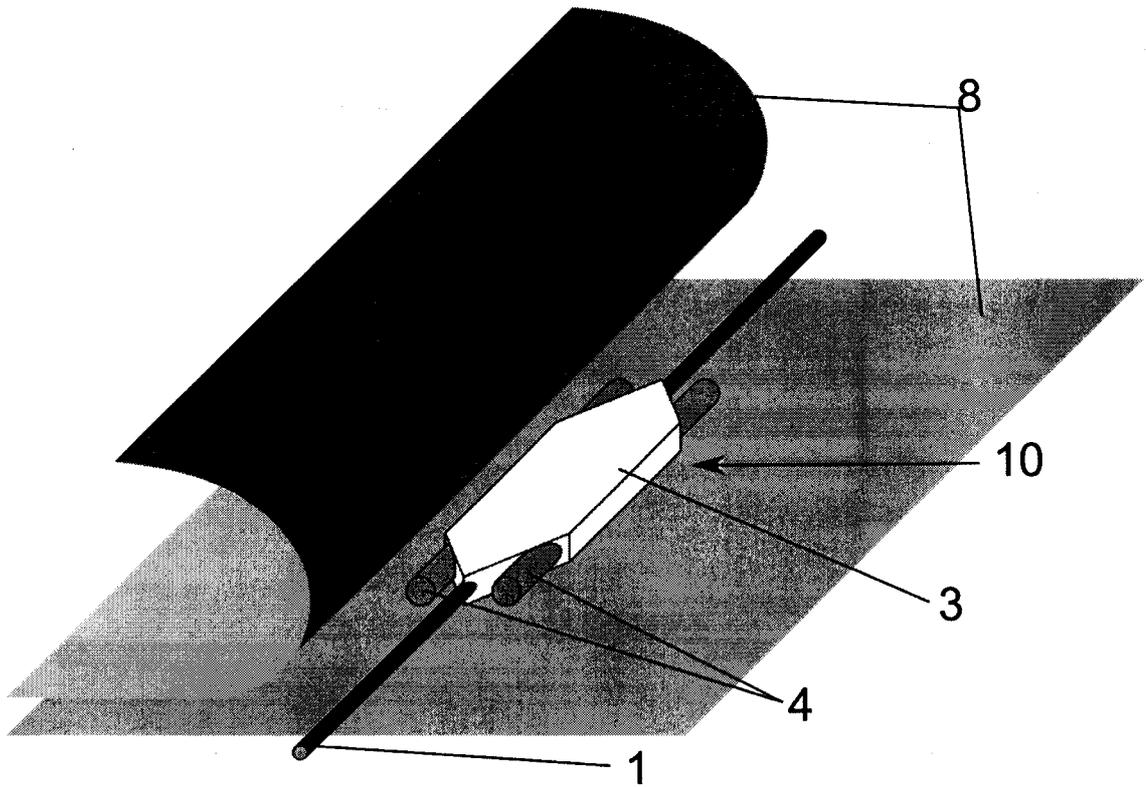


FIGURA 3

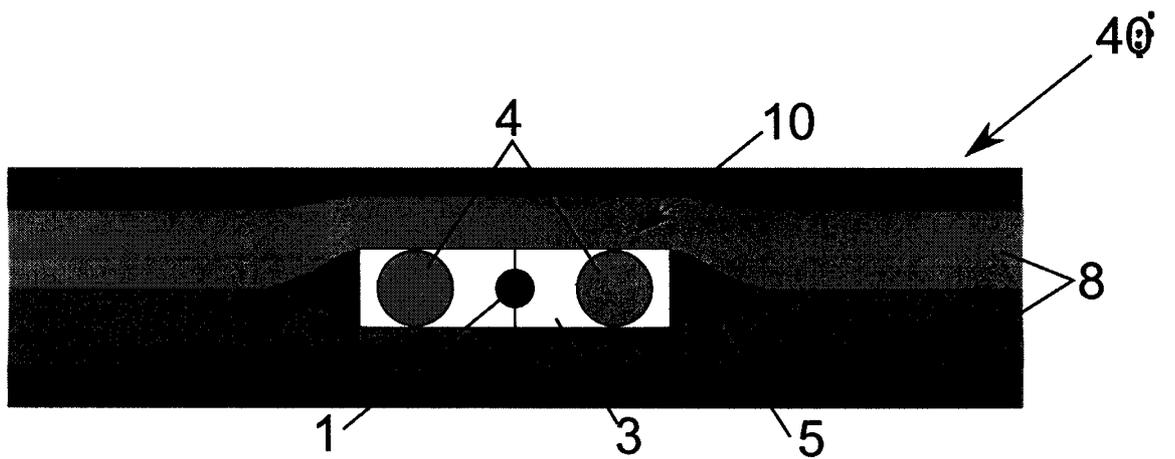


FIGURA 4



- ②① N.º solicitud: 201100866  
 ②② Fecha de presentación de la solicitud: 20.07.2011  
 ③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G02B6/44** (2006.01)  
**G01B11/16** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	WO 2009144341 A1 (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA) 03.12.2009, resumen; página 2, línea 6 – página 3, línea 5; página 4, línea 18 – página 5, línea 9; página 6, líneas 3-20; figuras 1a-c.	1-5,7-13
Y	WO 0246712 A1 (NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY) 13.06.2002, resumen; página 1, línea 19 – página 3, línea 7; página 6, líneas 8-37; página 7, líneas 18-26; página 9, líneas 4-22; página 10, líneas 23-35; figuras 2,5a.	1-5,7-13
A	GB 2440953 A (INSENSYS LIMITED) 20.02.2008, resumen; figuras 1,4.	1,8-13
A	US 5399854 A (DUNPHY, J. et al.) 21.03.1995, todo el documento.	1-13
A	WO 9719325 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION) 29.05.1997, todo el documento.	1-13
A	US 20040206187 A1 (WILLIAMS, J.) 21.10.2004, todo el documento.	1-13
A	JP 2007255894 A (TOKYO SOKKI KENKYUSHO CO, LTD.) 04.10.2007, todo el documento.	1-3

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia  
 Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
 A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita  
 P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
 E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

<b>Fecha de realización del informe</b> 30.09.2013	<b>Examinador</b> Ó. González Peñalba	<b>Página</b> 1/4
---	--	----------------------

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01B, G02B, G01L, G02B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 30.09.2013

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-13	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones 6	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1-5, 7-13	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	WO 2009144341 A1 (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA)	03.12.2009
D02	WO 0246712 A1 (NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY)	13.06.2002
D03	GB 2440953 A (INSENSYS LIMITED)	20.02.2008

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Se considera que la invención definida en las reivindicaciones 1-5 y 7-13 de la presente Solicitud carece de actividad inventiva por poder deducirse del estado de la técnica de un modo evidente por un experto en la materia.

En efecto, partiendo del documento D01, citado en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) con la categoría Y, en combinación con D02, y considerado el antecedente más próximo al objeto definido al menos en la primera reivindicación, se describe en él un sistema de transducción ("sensor óptico") que comprende:

- Una fibra óptica (referencia 13 -Figura 1c) que lleva grabada al menos una red de difracción (FBG);
- Un bloque que comprende un material plástico (resina de poliéster -pág. 6, línea 17), en el que dicha al menos una red de difracción está totalmente embebida;

de tal manera que dicho bloque comprende también una capa de refuerzo (capa de fibra de vidrio 21 -página 6, línea 15) dispuesta de forma longitudinal a dicha fibra óptica y a la red de difracción grabada en la misma, estando dicha capa de refuerzo situada a un lado de la fibra óptica y configurada de manera que es capaz de aislar la red de difracción de presiones verticales.

Puede apreciarse, por tanto, que la diferencia técnica entre D01 y dicha primera reivindicación es la disposición constructiva o estructural del bloque de esta última, que tiene, en lugar de un único elemento de refuerzo a modo de capa, situado asimétricamente a un lado de la fibra óptica en la zona de medición, dos elementos de refuerzo en forma de filamentos, simétricamente a ambos lados de esta. Ahora bien, esta disposición de refuerzo en filamentos, no contemplada en D01, se encuentra, sin embargo, anticipada en el documento D02, también citado en el IET con la categoría Y, en combinación con D01, el cual describe un sensor de fuerzas de fibra óptica con red de Bragg incorporada que tiene, a ambos lados, en disposición simétrica, fibras de refuerzo de vidrio y/o de carbono en el seno de capas de un material de resina de poliéster o de resina de vidrio (página 9, columnas 13-22).

Dicho documento D02 pertenece también al campo de la instrumentación de medida con redes de difracción en fibra óptica, por lo que el experto de la técnica podrá recurrir de forma evidente a él para resolver de idéntica manera los mismos problemas que soluciona dicha característica de disposición simétrica de filamentos de refuerzo, y que D01 no contempla ni resuelve. Cabe concluir, por tanto, que la primera reivindicación carece de actividad inventiva con respecto a la combinación de D01 y D02, según el Artículo 8 de la vigente Ley de Patentes, como también carecen de actividad inventiva las reivindicaciones 2-5 y 7, con características igualmente anticipadas en ambos documentos.

Por su parte, la alternativa de utilizar en una fibra óptica varias redes de difracción recogida en la reivindicación 8 es una práctica ya conocida en la instrumentación de fibra óptica, particularmente en sistemas de telemetría centralizados, y que está implícitamente anticipada, por ejemplo, en el documento D03, que describe sensores de FBG dispuestos en serie en fibra óptica que recorre las palas de un aerogenerador. Y otro tanto puede afirmarse de las características de las reivindicaciones 9-13, también expresamente incluidas, o implícitamente deducibles, de este documento. Así, por ejemplo, en el resumen de D03 se recoge la posibilidad de que los sensores estén embebidos en las palas (como en la reivindicación 10) formando una pluralidad de transductores cuasidistribuidos (Figura 1 de D03) en las palas (reivindicación 12), las cuales comúnmente son de un material compuesto, por lo que, necesariamente, tal disposición ha de realizarse durante el procedimiento de fabricación (reivindicación 9) y dicho material ha de ser compatible con el del bloque (reivindicación 11). Dichas reivindicaciones carecen también, por lo tanto, de actividad inventiva según el mencionado Art. 8 LP.