

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 571**

51 Int. Cl.:

**G01N 21/64** (2006.01)

**G01N 21/88** (2006.01)

**F03D 11/00** (2006.01)

**G01M 5/00** (2006.01)

**G01M 11/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.02.2012 E 12704502 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.11.2014 EP 2676113**

54 Título: **Sistema y método para detectar un daño en una pala de turbina eólica**

30 Prioridad:

**15.02.2011 GB 201102640**

**15.02.2011 US 201161442932 P**

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

**26.12.2014**

73 Titular/es:

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

**Hedeager 44**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**GLAVIND, LARS;**

**OLESEN, IB SVEND;**

**HANCOCK, MARK y**

**CRAVEN, RICHARD**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 525 571 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 y método para detectar un daño en una pala de turbina eólica

La presente invención se refiere a un sistema de fibra óptica y a un método para la detección de un daño en una pala de turbina eólica durante el uso. La invención encuentra aplicación particular en la detección de delaminación de un material compuesto que forma un componente de pala de turbina eólica, así como en la detección de erosión o corrosión de superficie de una pala de turbina eólica.

Las palas de turbina eólica de turbinas eólicas comerciales están formadas normalmente por material compuestos, que pueden resistir la tensión y la carga a las que estará sometida la pala durante el funcionamiento de la turbina. En raros casos pueden producirse defectos en los materiales compuestos que forman una pala de turbina eólica y esto puede tener un efecto negativo en la integridad mecánica de la pala. Pueden producirse defectos como resultado de discontinuidades en el material que se han introducido durante la fabricación de la pala, por ejemplo, durante la disposición de las fibras que forman el material compuesto. Alternativamente, en algunos casos pueden producirse defectos como resultado de un esfuerzo o carga excesivos sobre la pala durante el funcionamiento de la turbina.

Algunos de los tipos más comunes de defectos que se producen en los materiales compuestos que forman palas de turbinas eólicas incluyen la delaminación o separación de las capas que forman el material compuesto y/o la formación de grietas en el material. Debido a la elevada carga de las palas de turbina eólica durante el funcionamiento, tal delaminación o formación de grietas pueden extenderse rápidamente por el material compuesto, dando como resultado un daño estructural en la pala y, en casos graves, un fallo de la turbina eólica.

Se conoce la incorporación de sistemas para monitorizar palas de turbinas eólicas durante el funcionamiento con el fin de detectar un daño en el material compuesto de la pala. Por ejemplo, el documento EP-A-2 112 374 da a conocer un sistema de detección de grietas para una pala de turbina eólica que comprende una red de fibras ópticas incrustadas en la pala. Se detecta la presencia de una grieta que discurre sustancialmente en perpendicular a la superficie de la pala detectando cambios bruscos en la transmisión de la luz por las fibras ópticas, lo que se produce como resultado de la rotura de la fibra a medida que se propaga la grieta.

El documento US2009/0262331 da a conocer otro ejemplo de sistema de detección de grietas en una pala de turbina eólica, que comprende una o más fibras ópticas, en el que la una o más fibras ópticas están montadas de manera operativa en la pala de turbina eólica de manera que, en caso de daño en la pala de turbina eólica, al menos una parte de la fibra óptica se rompe provocando reflexiones ópticas y/o disminuyendo la transmisión en la fibra óptica, un detector de luz para recibir una señal luminosa desde uno o desde ambos extremos de la una o más fibras ópticas y emitir una señal basada en la señal luminosa; y un controlador acoplado al detector de luz para recibir la señal.

También puede producirse un daño en una pala de turbina eólica como resultado de la erosión de la superficie de la pala durante el funcionamiento, en particular en el borde de ataque de la pala. Esto puede estar provocado por la exposición a las duras condiciones ambientales, tales como lluvia, granizo o arena. La erosión química, o corrosión, también es problema para las turbinas eólicas de alta mar. El desgaste gradual de la superficie de la pala debido a la erosión puede afectar negativamente a las propiedades aerodinámicas de la pala, por ejemplo, como resultado de turbulencia en la superficie erosionada. Por tanto se reduce la eficacia global de la extracción de energía del viento.

Sería deseable proporcionar un sistema y método mejorados para monitorizar palas de turbina eólica durante el funcionamiento, que permitan detectar defectos o un daño en el material compuesto que forma la pala en una fase temprana de modo que la pala pueda repararse antes de que el daño empeore. También sería deseable si tal sistema y tal método pudieran adaptarse para detectar una diversidad de tipos de daño o defectos en el material compuesto. En particular, sería deseable proporcionar un sistema y un método que puedan adaptarse para detectar delaminación o erosión del material compuesto que forma la pala.

Según un primer aspecto de la invención se proporciona un sistema de detección de daño en una pala de turbina eólica que comprende: una o más fibras ópticas fluorescentes que comprenden un material fluorescente configurado para tener una longitud de onda de excitación tal que el material se ilumina por fluorescencia en caso de exposición a la radiación ambiental en la pala de turbina eólica; un detector de luz para recibir una señal luminosa desde uno o desde ambos extremos de la una o más fibras ópticas en caso de excitación del material fluorescente y emitir una señal basada en la señal luminosa; y un controlador acoplado al detector de luz para recibir la señal. La una o más fibras ópticas fluorescentes están configuradas para estar montadas de manera operativa en la pala de turbina eólica de manera que, en caso de daño en la pala de turbina eólica, al menos una parte de la fibra óptica queda expuesta en la superficie de la pala provocando que la fibra óptica se ilumine por fluorescencia.

Según un segundo aspecto de la invención se proporciona un método de detección de daño en una pala de turbina eólica, comprendiendo el método las etapas de: proporcionar una o más fibras ópticas en el material compuesto que forma la pala de turbina eólica, en el que la una o más fibras ópticas comprenden un material fluorescente que se selecciona de manera que el material se ilumina por fluorescencia en caso de exposición a la radiación ambiental en la pala de turbina eólica; conectar al menos un extremo de la una o más fibras ópticas a un detector de luz montado

en la turbina eólica que comprende la pala de turbina eólica; hacer funcionar el detector de luz para detectar la luz emitida desde el material fluorescente en caso de exposición de la una o más fibras ópticas en la superficie de la pala como resultado de un daño en la pala y para emitir una señal cuando se detecta luz; y recibir la señal en un controlador.

- 5 Según un tercer aspecto de la invención se proporciona un uso de una o más fibras ópticas fluorescentes para detectar un daño en una pala de turbina eólica, en el que la una o más fibras ópticas fluorescentes comprenden un material fluorescente que se selecciona de manera que el material se ilumina por fluorescencia en caso de exposición a la radiación ambiental en la pala de turbina eólica.

10 El término 'material fluorescente' se usa para referirse a un material que tiene la propiedad de absorber radiación de una o más longitudes de onda específicas y, posteriormente, volver a emitir la energía de la radiación absorbida como luz de longitudes de ondas diferentes, habitualmente mayores. En el contexto de la presente invención, el término 'material fluorescente' abarca cualquier tipo de material que emite luz en caso de excitación por una forma de radiación ambiental, incluyendo por ejemplo materiales fluorescentes que se excitan por ondas electromagnéticas tales como la luz visible y UV, y materiales centelleadores que se excitan por radiación ionizante tal como rayos  
15 gamma, fotones o partículas cargadas.

El término 'radiación ambiental' se usa para referirse a cualquier tipo de radiación que está presente de forma natural en la atmósfera o el entorno que rodea la pala de turbina eólica. El sistema y método de la presente invención se basa en la excitación del material fluorescente por la radiación presente en la atmósfera y no necesita incorporar una fuente de radiación separada en la turbina eólica para que funcione eficazmente. El aparato requerido  
20 para la monitorización de la pala de turbina eólica para detectar un daño es por tanto más sencillo y más rentable de producir y hacer funcionar que otros tipos de sistemas de fibra óptica que requieren una fuente de luz para dirigir luz a las fibras ópticas.

La radiación ambiental en la pala de turbina eólica en condiciones normales incluye normalmente, aunque no se limita a, luz visible, radiación infrarroja, radiación ultravioleta, rayos gamma, fotones u otros tipos de partículas ionizantes que aparecen de forma natural. En el sistema y método de la presente invención, el material fluorescente en las fibras ópticas puede seleccionarse para que se ilumine por fluorescencia en caso de excitación por cualquier tipo de radiación que estará presente en la atmósfera en la turbina eólica y que incidirá sobre la fibra óptica en caso de daño en la pala de turbina eólica. Los materiales fluorescentes con frecuencia son particularmente sensibles a la luz en la región UV del espectro electromagnético y las fibras ópticas fluorescentes usadas en el sistema y método  
30 de la presente invención por tanto se iluminan por fluorescencia preferiblemente en caso de excitación por luz UV. Otros materiales fluorescentes adecuados pueden excitarse por la radiación electromagnética en forma de luz visible o radiación infrarroja.

El sistema y el método de la presente invención proporcionan un modo eficaz de monitorizar una pala de turbina eólica durante el funcionamiento con el fin de detectar rápidamente defectos o un daño en la pala y proporcionar un aviso temprano de que se ha producido el daño. Esto permite reparar o sustituir la parte dañada de la pala en una fase temprana antes de que el estado de la pala se deteriore hasta un punto en el que el daño dé como resultado un fallo de la turbina eólica o un daño estructural irreversible. El sistema y el método de la presente invención también permiten realizar un mantenimiento adecuado de las palas de turbina eólica de modo que ningún daño en la pala afecte negativamente a las propiedades aerodinámicas de la pala.  
35

Un daño en una pala de turbina eólica puede ser resultado de defectos internos en el material compuesto que forma la pala introducidos por descuido en el material durante la fabricación, tal como bolsas de aire o resina dentro de la estructura en capas. Tales defectos introducen un punto de debilidad en el material compuesto que puede desencadenar la formación de una grieta en el material, o delaminación de las capas de fibra cuando la pala se somete a fuertes cargas durante el funcionamiento. Alternativamente puede producirse un daño en la pala de turbina eólica como resultado de condiciones externas tales como fuerzas o carga excesivas sobre la pala de turbina eólica, o erosión o corrosión de la superficie de la pala debido a condiciones atmosféricas o meteorológicas adversas. El sistema y el método de la presente invención pueden adaptarse fácilmente para detectar cualquiera de estos tipos de daño, según se describe en más detalle más adelante.  
45

El sistema y el método de la presente invención se basan en una o más fibras ópticas fluorescentes que se sitúan en la pala de turbina eólica de modo que, ante un tipo particular de daño en la pala, al menos una parte de la una o más fibras ópticas queda al descubierto y expuesta en la superficie de la pala. Esta exposición puede estar provocada, por ejemplo, por la formación de grietas o hendiduras del material compuesto para exponer una parte de una fibra óptica incrustada, o por la eliminación o regresión del material compuesto superpuesto a la fibra óptica. La radiación ambiente incide entonces sobre la parte expuesta de la fibra óptica y hace que el material fluorescente incorporado en la fibra óptica se ilumine por fluorescencia y emita una señal luminosa, que se refleja por la fibra hasta el detector de luz. La detección de fluorescencia desde el material es por tanto indicativa de un daño en la pala.  
50  
55

El sistema de la presente invención produce una señal de salida tan pronto como al menos una parte de la fibra óptica fluorescente queda expuesta a la radiación ambiental. Normalmente esto será antes de que el daño se propague hasta el punto de que la fibra óptica esté rota o erosionada. De este modo, el sistema y el método de la

presente invención pueden detectar ventajosamente un daño en la pala en una fase relativamente temprana y en muchos casos sin daño o destrucción de las fibras ópticas.

5 El sistema y el método de la presente invención pueden adaptarse ventajosamente para monitorizar diferentes partes de la pala de turbina eólica para diferentes tipos de daño, en particular, mediante la colocación específica de la una o más fibras ópticas fluorescentes en la pala. Según se describe en más detalle más adelante, la una o más fibras ópticas fluorescentes se sitúan en la pala de manera que un tipo particular de daño en la pala provocará que la fibra óptica quede expuesta a la radiación ambiental en la pala.

10 En condiciones de trabajo normales, la una o más fibras ópticas fluorescentes están encerradas dentro del material compuesto que forma la pala de turbina eólica y por tanto no están expuestas a niveles significativos de radiación ambiental. Por tanto, en condiciones normales, el material fluorescente normalmente no se iluminará por fluorescencia y se detectará muy poca o nada de luz por el detector de luz. Según se comentó anteriormente, el sistema de la presente invención no requiere ninguna fuente de excitación interna (aunque en algunos casos puede incorporarse una fuente de luz interna, según se describirá más adelante) y el detector de luz sólo será necesario para emitir una señal de salida en caso de un daño en la pala que dé como resultado una fluorescencia de la fibra óptica. Esto significa que el sistema de la presente invención puede usarse para proporcionar un sistema 'pasivo' que requiere una entrada de potencia mínima o nula para monitorizar la pala en condiciones normales. El coste de funcionamiento del sistema también es por tanto mínimo y, además, el sistema tiene una vida útil muy larga y puede monitorizar continuamente durante largos periodos sin reemplazo de componentes.

20 El detector de luz del sistema de la presente invención está conectado a uno o ambos extremos de cada fibra óptica fluorescente con el fin de recibir la luz que se ha generado por el material fluorescente en caso de exposición de la fibra óptica a la radiación ambiental. El detector de luz puede adoptar cualquier forma adecuada, incluyendo, pero sin limitarse a, dispositivos conocidos tales como fotomultiplicadores, fotodetectores, fotodiodos o diodos de PIN, para detectar la luz asociada con la fluorescencia de la fibra óptica. El detector de luz recibe la luz desde las fibras ópticas fluorescentes y la convierte en una señal, tal como una señal eléctrica, que transmite al controlador para generar una señal de aviso de que se ha producido un daño.

30 El detector de luz puede estar montado de manera operativa en la pala de turbina eólica aunque, preferiblemente, el detector de luz está montado de manera operativa en una parte estacionaria de la turbina eólica en la que está montada la pala de turbina eólica. Por ejemplo, en realizaciones preferidas, el detector de luz está montado en el buje de la turbina eólica y la una o más fibras ópticas fluorescentes están conectadas al detector de luz o bien directamente, o bien indirectamente por medio de una o más fibras ópticas no fluorescentes.

El controlador puede estar integrado con el detector de luz, o puede ser un componente separado que se conecta al detector con hilos o cables adecuados, o usando una conexión inalámbrica. Cuando el controlador es un componente separado, puede proporcionarse en la turbina o en una ubicación remota. El experto en la técnica conocerá dispositivos adecuados para su uso como controlador.

35 Preferiblemente, el sistema de la presente invención comprende medios para medir los niveles de radiación ambiental en la turbina eólica y transmitir esta información al controlador. La señal luminosa procedente de la una o más fibras ópticas fluorescentes puede procesarse entonces teniendo en cuenta el nivel de radiación ambiental que incide sobre la pala. Esto permite adaptar el sistema a diferentes condiciones, por ejemplo, diferentes condiciones de luz durante diferentes partes del día.

40 En determinadas realizaciones preferidas, el sistema de la presente invención comprende una red de una pluralidad de fibras ópticas fluorescentes ubicadas operativamente en un área o región específica de la pala de turbina eólica para detectar un daño en esa área o región. Este tipo de disposición en red aumenta la cobertura del sistema de detección de modo que puede detectarse un daño en un área o región más grande. Además, el uso de una red de fibras ópticas fluorescentes permite identificar fácilmente la posición del daño basándose en las señales luminosas recibidas desde la red de fibras ópticas, y monitorizar cualquier propagación del daño.

45 En un ejemplo particular preferido de un sistema según la invención, están previstas una pluralidad de fibras ópticas fluorescentes sustancialmente paralelas. Una disposición de fibras ópticas paralelas es particularmente adecuada para la detección de grietas en el material compuesto y la monitorización de la propagación de la grieta, o para la monitorización de corrosión o erosión en la superficie de la pala. El término 'paralelas' pretende indicar que las fibras ópticas se extienden por la pala de modo que las orientaciones generales de las fibras ópticas fluorescentes son paralelas. Sin embargo, fibras ópticas adyacentes pueden no ser exactamente paralelas entre sí en cada punto a lo largo de su longitud, por ejemplo, cuando las fibras ópticas no están previstas en configuraciones lineales.

50 La una o más fibras ópticas fluorescentes de sistemas según la invención están incrustadas de manera operativa o integradas dentro del material compuesto que forma la pala de turbina eólica de modo que las fibras ópticas no están expuestas a la radiación ambiental en condiciones normales. Normalmente, tales fibras ópticas se integrarán o incrustarán en el material compuesto durante la fabricación de la pala de turbina eólica, por ejemplo, durante el proceso de moldeo. La incrustación de sensores de fibra óptica en un componente de turbina eólica de material compuesto es un proceso ampliamente conocido que se usa para la incorporación de sensores de fibra óptica

previstos para monitorizar el componente durante el funcionamiento de la turbina, tal como sensores de esfuerzo.

5 La una o más fibras ópticas fluorescentes pueden incrustarse en el interior del material compuesto, por ejemplo, entre las capas de material fibroso que forman la pala. Con esta disposición, el sistema y el método de la presente invención pueden emplearse para detectar grietas en el material compuesto que forma la pala. En algunos casos, las grietas pueden propagarse por el material en una dirección que es sustancialmente perpendicular a la longitud de la pala, o en un ángulo con respecto a las capas del material. En otros casos, las grietas pueden propagarse por el material a lo largo de la longitud de la pala, por ejemplo entre las capas. El sistema y el método de la presente invención son adecuados para la detección de grietas en ambos casos.

10 En una primera realización preferida, el sistema está adaptado para detectar delaminación en un material compuesto incrustando de manera operativa la una o más fibras ópticas fluorescentes entre capas del material compuesto. Preferiblemente, la una o más fibras ópticas fluorescentes están incrustadas bajo la superficie del material compuesto que forma la pala de modo que se detectarán grietas o hendiduras incluso relativamente pequeñas en la superficie. En caso de delaminación, durante la cual determinadas capas del material compuesto se separan o dividen, una o más de las fibras ópticas fluorescentes quedan expuestas a la radiación ambiental, provocando la  
15 excitación del material fluorescente y la emisión de luz. Al recibir la luz emitida desde el material fluorescente, el detector de luz emite una señal al controlador para indicar que se ha producido una delaminación.

Se ha encontrado que la delaminación suele producirse en el borde de ataque o en borde de salida de la pala y las fibras ópticas fluorescentes de los sistemas para detectar la delaminación del material compuesto que forma la pala pueden incorporarse por tanto con la mayor eficacia a lo largo de estos bordes.

20 El sistema y el método de la presente invención proporcionan por primera vez un modo eficaz de detectar una delaminación del material compuesto que forma la pala en la que se forma una grieta o hendidura y se propaga a lo largo de la pala, en la dirección de las capas. Cuando las fibras ópticas fluorescentes están previstas bajo la superficie de la pala, pueden detectarse incluso grietas de una longitud relativamente corta de modo que el daño puede detectarse en una fase muy temprana antes de que la grieta se propague más a lo largo de la pala. En los  
25 sistemas de la técnica anterior, las fibras ópticas están dispuestas para detectar grietas que se propagan en una dirección que es sustancialmente paralela a la superficie de la pala y las capas del material compuesto. Generalmente, únicamente las grietas que se propagan en esta dirección provocarán la rotura de las fibras ópticas con el fin de generar una señal de aviso de daño. Este tipo de disposición de la técnica anterior no es por tanto adecuado para detectar de manera fiable una delaminación del material compuesto que forma una pala.

30 Los sistemas para detectar delaminación, formación de grietas, u otros tipos de daño que es probable que se produzcan como resultado de una carga excesiva sobre las palas de turbina eólica pueden situarse ventajosamente en áreas de componentes de la pala en las que es probable que la carga o las fuerzas ejercidas sobre la pala sean las más altas, tal como por ejemplo en el larguero central o en el borde de ataque.

35 En una segunda realización preferida, el sistema está adaptado para detectar erosión o corrosión de una superficie de la pala de turbina eólica incrustando la una o más fibras ópticas fluorescentes a una pequeña distancia bajo la superficie externa de la pala. En caso de erosión del material compuesto superpuesto a la una o más fibras ópticas fluorescentes cerca de la superficie externa, la una o más fibras ópticas fluorescentes quedan expuestas a la radiación ambiental, provocando excitación del material fluorescente y la emisión de luz. Al recibir la luz emitida desde el material fluorescente, el detector de luz emite una señal al controlador para indicar que se ha alcanzado un  
40 determinado nivel de erosión.

El sistema y método de la presente invención proporcionan un modo eficaz de detectar erosión de la superficie de la pala en una fase relativamente temprana, de modo que pueden adoptarse medidas para reparar el daño por erosión antes de que empeore. Por lo demás, la erosión puede ser difícil de monitorizar, puesto que la reducción en la potencia de salida de la turbina como resultado de la erosión de superficie puede ser difícil de detectar hasta que la  
45 erosión haya alcanzado un nivel significativo. Como se describió anteriormente, los sistemas de la técnica anterior para detectar un daño de la pala normalmente se basan en la rotura de una o más fibras ópticas. Una vez más, no será posible por tanto detectar la erosión de la superficie de la pala hasta que la erosión haya alcanzado un nivel significativo.

50 Los sistemas según la segunda realización de la invención para detectar erosión o corrosión pueden ser particularmente beneficiosos para su uso en turbinas en alta mar, que suelen estar situadas en ubicaciones remotas y en entornos muy duros. El mantenimiento de las turbinas en alta mar es normalmente relativamente costoso y el sistema de la presente invención proporciona ventajosamente un aviso temprano de erosión de la pala, lo que puede reducir el coste y el tiempo asociados con la reparación o mantenimiento necesarios.

55 Las fibras ópticas fluorescentes de los sistemas según la presente invención pueden proporcionarse ventajosamente en las regiones de la pala de turbina eólica que sean las más susceptibles de dañarse por la erosión. Por ejemplo, la una o más fibras ópticas fluorescentes pueden proporcionarse a lo largo del borde de ataque de la pala donde la erosión puede ser más significativa. Cuando la una o más fibras ópticas fluorescentes se proporcionan en el borde de ataque, preferiblemente se proporcionan una pluralidad de fibras ópticas que cubren aproximadamente del 5 al

10% de la cuerda de la pala de turbina eólica en el borde de ataque. Alternativa o adicionalmente, la una o más fibras ópticas fluorescentes pueden situarse hacia el extremo de punta de la pala, el punto más alejado del buje, donde es probable que la erosión sea más significativa debido a la mayor velocidad de la punta de la pala. Cuando la una o más fibras ópticas fluorescentes se proporcionan hacia el extremo de punta, las fibras ópticas preferiblemente se extienden aproximadamente por del 20 al 30% de la longitud de la pala en el extremo de punta.

Los sistemas según la presente invención para detectar erosión pueden mejorarse adicionalmente incorporando un material con propiedades ópticas entre la una o más fibras ópticas fluorescentes y la superficie de la pala. Por ejemplo, la una o más fibras ópticas fluorescentes pueden cubrirse mediante el material óptico. El material óptico se selecciona de manera que en caso de erosión de la superficie de la pala que deje al descubierto el material óptico subyacente, la luz u otra radiación ambiental se transmitirá por el material desde la superficie de la pala donde se ha producido el daño hasta la una o más fibras ópticas fluorescentes, provocando de ese modo que el material fluorescente en las fibras ópticas se ilumine por fluorescencia y emita luz al detector de luz. Esto significa que puede hacerse que las fibras ópticas fluorescentes se iluminen por fluorescencia en caso de daño en la superficie de la pala incluso antes de que el daño haya alcanzado las fibras ópticas, como resultado de la transmisión de la radiación ambiental por el material óptico.

Un material óptico de este tipo también puede proporcionarse ventajosamente en sistemas para detectar otros tipos de daño en una pala de turbina eólica, con el fin de detectar un daño en una fase aún más temprana. Por ejemplo, una disposición de este tipo puede ser beneficiosa para detectar un daño que se produce durante el transporte de la pala, que normalmente estará provocado por un pequeño número de golpes duros sobre la pala. El experto en la técnica conocerá materiales, tales como lacas o barnices, que tienen propiedades ópticas adecuadas.

Según la presente invención se proporciona una pala de turbina eólica que incorpora un sistema según la invención para detectar un daño en la pala, según se describió anteriormente. Los sistemas según la invención se incorporan preferiblemente en cada pala de una turbina eólica y pueden usarse una pluralidad de sistemas separados según la invención en una única pala para detectar diferentes tipos o ubicaciones de daño, si se desea.

Según la invención se proporciona además una turbina eólica que comprende al menos una pala de turbina eólica que incorpora el sistema de la presente invención para detectar un daño en la pala, según se describió anteriormente.

La una o más fibras ópticas fluorescentes de los sistemas de la presente invención comprenderán normalmente un núcleo y un revestimiento exterior. El material fluorescente puede estar previsto principalmente en el núcleo, principalmente en el revestimiento, o tanto en el núcleo como en el revestimiento. Cuando el material fluorescente está previsto en el núcleo solo, el revestimiento debe ser tal que la radiación ambiental para excitar el material fluorescente pueda pasar a través del revestimiento hasta el núcleo. El material fluorescente puede incorporarse en la fibra óptica dopando o disolviendo el material en el material de fibra durante la producción. Alternativamente, el material fluorescente puede proporcionarse en una capa de recubrimiento sobre la fibra óptica.

Cuando las fibras ópticas fluorescentes quedan expuestas a la radiación ambiental en la superficie de la pala de turbina eólica, al menos parte de la radiación es absorbida por el material fluorescente en la fibra. La energía absorbida vuelve a emitirse entonces de manera isotrópica dentro de la fibra, normalmente como luz de una longitud de onda mayor. Parte de la luz que vuelve a emitirse está sujeta a la reflexión interna total en el interior de la fibra y por tanto viaja por la longitud de la fibra hasta que se recibe en el detector de luz.

El núcleo de la fibra óptica fluorescente puede estar compuesto de vidrio, cuarzo o plástico. Las fibras ópticas de plástico (POF) incluyen las de PMMA (poli(metacrilato de metilo)), poliestireno, policarbonato (PC), u otros polímeros adecuados, incluyendo plásticos fluorados tales como polímeros perfluorados. El revestimiento puede ser de un material similar al del núcleo, con un índice de refracción adecuado para que produzca la reflexión interna total por la longitud de onda probable de la luz que vuelve a emitirse, o más generalmente incluyen uno o más materiales de plástico, ya sea solos o en combinación, tal como PMMA, PVDF (poli(fluoruro de vinilideno)) o polímeros fluorados. Puede usarse cualquier anchura adecuada de fibra óptica. Por ejemplo, la anchura de la fibra óptica puede estar en el intervalo de 0,125 mm a 5 mm.

Materiales adecuados para el material fluorescente pueden ser uno o más materiales fluorescentes que aparecen de forma natural o sintéticos, tales como tinte de perileno, o BBOT (5-terc-butil-2-benzoxazolilo tiofeno), iones de samario ( $\text{Sm}^{3+}$ ), o cualquier metal de tierras raras adecuada. También pueden usarse cables de fibra óptica fluorescentes y centelleadores disponibles comercialmente.

Generalmente es importante que el material fluorescente sea insensible a las longitudes de onda de la luz que vuelve a emitir, de modo que no se produzca autoabsorción en la fibra y la luz pueda propagarse a lo largo de la fibra sin obstrucción, y que la longitud de onda de la luz que se emite sea tal que se produzca una reflexión interna total dentro de la fibra. La combinación de los materiales de fibra y el material fluorescente debe seleccionarse por tanto de manera correspondiente.

En algunos casos puede ser ventajoso usar una combinación de dos o más materiales fluorescentes para el dopado con el fin de garantizar una captura óptima de la radiación ambiental en caso de exposición de la fibra óptica. En

determinadas realizaciones, la fibra óptica fluorescente puede doparse con dos o más materiales fluorescentes de modo que se produzca una doble fluorescencia. El primer material fluorescente puede seleccionarse de modo que su espectro de absorción sea sensible al espectro de radiación ambiental probable. El segundo (o más materiales fluorescentes) puede seleccionarse para que sea sensible tanto a la radiación ambiental como a la radiación emitida por el primer material fluorescente. Cuando se proporcionan dos materiales fluorescentes diferentes en la fibra óptica, los materiales fluorescentes pueden proporcionarse en la misma ubicación o en una diferente entre sí. Por ejemplo, el primer material puede proporcionarse en el núcleo de las fibras ópticas mientras que el segundo material se proporciona en el revestimiento.

Preferiblemente, ambos extremos de una fibra óptica fluorescente se conectan al detector de luz de modo que, incluso aunque hubiera una rotura en la fibra, todavía será posible la detección de la luz recogida en la fibra en caso de daño en la pala desde al menos un extremo de la fibra.

En algunos casos, el sistema y el método de la presente invención pueden ser más eficaces en la detección de un daño en la pala durante el día cuando los niveles de determinados tipos de radiación ambiental, tal como luz visible, son superiores. Durante la noche, los niveles de radiación generada por el ser humano, tal como procedente de la iluminación artificial, pueden ser suficientes para que el sistema funcione eficazmente en caso de daño en la pala. La luz generada por luces externas ya montadas en la turbina eólica, tal como luces de advertencia para aeronaves, también puede ser suficiente para la excitación del material fluorescente de modo que el sistema pueda funcionar eficazmente durante la oscuridad.

Si se desea, pueden proporcionarse una o más fuentes de radiación externas en la turbina eólica o adyacentes a la turbina eólica de manera que la radiación emitida desde la fuente incida en el área de la pala que está monitorizándose en busca de un posible daño. La fuente de radiación puede ser una fuente de luz, que funciona para emitir luz en condiciones de poca luz, por ejemplo durante la noche. Alternativamente, la fuente de radiación puede emitir radiación ultravioleta o infrarroja. El uso de una fuente externa con radiación infrarroja puede ser ventajoso en algunas ubicaciones, con el fin de reducir la contaminación luminosa y cualquier interferencia de la fuente de radiación con luces de advertencia para aeronaves. La longitud de onda de radiación emitida desde la fuente externa deberá seleccionarse para que corresponda con la longitud de onda de excitación del material fluorescente en la una o más fibras ópticas fluorescentes del sistema de la presente invención.

Alternativamente a o además de proporcionar una fuente de radiación externa, el sistema de la presente invención puede comprender además una fuente de radiación interna prevista en la pala cerca de las fibras ópticas fluorescentes, en el que la fuente de radiación interna emite radiación a una longitud de onda correspondiente a la longitud de onda de excitación del material fluorescente.

Preferiblemente, la fuente de radiación interna comprende una o más fibras ópticas emisoras de luz conectadas a una fuente de luz, en el que la luz dirigida por las fibras se emite al exterior a través del revestimiento de las fibras. Por tanto, preferiblemente el revestimiento es sustancialmente transparente. Preferiblemente, la fuente de luz está montada en el buje de la turbina eólica y las fibras ópticas emisoras de luz están incrustadas en la pala y se extienden por la parte de la pala a lo largo de las fibras ópticas fluorescentes, separadas por un pequeño grosor de material compuesto.

En condiciones normales, las fibras ópticas fluorescentes estarán separadas de las fibras ópticas emisoras de luz por el material compuesto entre las mismas y por tanto el material fluorescente en las fibras fluorescentes no está expuesto a la luz procedente de las fibras ópticas emisoras de luz. En caso de daño en la pala, tal como delaminación o formación de grietas en la región entre las fibras ópticas fluorescentes y las fibras ópticas emisoras de luz, el material fluorescente queda entonces expuesto a la luz procedente de las fibras emisoras de luz.

Esta disposición que incorpora una fuente de radiación interna tal como una o más fibras ópticas emisoras de luz ventajosamente proporciona un sistema de reserva que garantiza que el sistema y el método de la presente invención funcionan eficazmente, incluso en condiciones de nivel lumínico bajo. Además, la incorporación de una fuente de luz interna puede permitir ventajosamente que el sistema y el método de la presente invención detecten un daño interno en la pala de turbina eólica que de lo contrario no puede detectarse o que sólo puede detectarse en una fase posterior cuando el daño provoca que las fibras ópticas fluorescentes queden expuestas a la radiación ambiental.

Métodos según la invención de detección de daño en una pala de turbina eólica pueden llevarse a cabo usando el aparato descrito anteriormente. La una o más fibras ópticas fluorescentes en la pala están conectadas al detector de luz y el detector de luz se hace funcionar para detectar luz emitida desde el material fluorescente en caso de exposición de la fibra óptica a la radiación ambiental. La detección de luz desde una o más fibras ópticas indica que se ha producido un daño en la pala que ha roto o eliminado el material compuesto de tal manera que al menos una parte de la fibra óptica ha quedado al descubierto y expuesta en la superficie interna de la pala. Esta será la primera indicación de que se ha producido un daño en la pala.

En métodos según la invención, el controlador preferiblemente procesa la señal de salida procedente del detector de luz para determinar la ubicación de la fibra óptica fluorescente expuesta. Esto puede facilitarse mediante el uso de

una red de fibras ópticas fluorescentes, según se describió anteriormente.

5 En determinadas realizaciones preferidas de la invención, el detector de luz puede hacerse funcionar adicionalmente para detectar la degradación en la luz recibida desde una o más de las fibras ópticas fluorescentes. Tal degradación o cese de la luz emitida desde el material fluorescente es indicativa de erosión o rotura de las fibras ópticas fluorescentes de manera que la luz ya no puede transmitirse a lo largo de la fibra. Esto puede indicar un nivel de daño más elevado en la pala que cuando se recibe la señal luminosa inicial desde el material fluorescente. Cuando se proporciona una red o fibras ópticas fluorescentes, el patrón de degradación de la luz recibida desde las fibras ópticas puede usarse para rastrear la ubicación y/o propagación del daño por un área de la pala.

10 Los métodos según la invención pueden comprender incrustar la una o más fibras ópticas entre las capas de un material compuesto que forma la pala de turbina eólica, según se describió anteriormente. Alternativa o adicionalmente, los métodos según la invención pueden comprender incrustar la una o más fibras ópticas cerca de la superficie externa de la pala de turbina eólica, según se describió anteriormente. Las fibras ópticas pueden incrustarse en posiciones de la pala en las que es más probable que se produzca un daño, tal como el borde de ataque, el borde de salida o el extremo de punta de la pala.

15 La presente invención proporciona métodos para detectar delaminación de un material compuesto que forma la pala de turbina eólica, según se describió anteriormente. La presente invención proporciona además métodos para detectar erosión o corrosión de la superficie externa de la pala, según se describió también anteriormente.

La invención se describirá ahora adicionalmente, a modo de ejemplo únicamente, y con referencia a las figuras adjuntas en las que:

20 la figura 1 es una vista frontal de una turbina eólica de eje horizontal;

la figura 2 es una vista esquemática de una pala de turbina eólica que incorpora un sistema según la primera realización preferida para detectar delaminación en la pala; y

la figura 3 es una vista esquemática de una pala de turbina eólica que incorpora un sistema según la segunda realización preferida para detectar erosión de la pala durante el transporte.

25 La figura 1 ilustra una turbina eólica 1, que comprende una torre de turbina eólica 2 sobre la que está montada una góndola de turbina eólica 3. Un rotor de turbina eólica 4, que comprende tres palas de turbina 5 unidas a un buje central 6, está montado en la turbina. La turbina eólica ilustrada en la figura 1 puede ser un modelo pequeño previsto para uso doméstico o de suministro de luz, o por ejemplo puede ser un modelo grande, tal como los adecuados para su uso en generación de electricidad a gran escala en plantas eólicas. En este último caso, el diámetro del rotor puede ser de hasta 100 metros o más.

30 Cada pala 5 incorpora una disposición de sensores 10 que comprende una pluralidad de fibras ópticas fluorescentes 12, de las que cada extremo está conectado a un detector de luz 14, tal como un fotodiodo, que está montado en el buje 6. Un controlador (no mostrado) está conectado al detector de luz mediante conexiones, tales como hilos o cables.

35 La disposición de sensores 10 está prevista para detectar delaminación en el material compuesto que forma la carcasa externa de las palas de turbina eólica. Tal como se muestra en la figura 2, la pluralidad de fibras ópticas fluorescentes 12 de la disposición de sensores discurren a lo largo de la longitud de la pala de turbina eólica 5 y las fibras están separadas entre sí a través de la carcasa, para formar una red de fibras ópticas sustancialmente paralelas. Cada fibra óptica fluorescente 12 está incrustada en el material compuesto que forma la carcasa externa de la pala 5, entre las capas fibrosas del material compuesto. Tres fibras ópticas paralelas se muestran esquemáticamente en la figura 2, aunque puede proporcionarse un número mayor o menor.

40 En condiciones de funcionamiento normal, las fibras ópticas fluorescentes 12 estarán encerradas dentro del material compuesto que forma la carcasa de la pala y la intensidad de la luz recibida en el detector de luz será baja o despreciable. La disposición de sensores 10 funciona detectando cualquier luz emitida desde el material fluorescente en una de las fibras ópticas, que se ha reflejado a lo largo de la fibra hasta el detector de luz 14. Al recibir la luz desde el material fluorescente, el detector de luz 14 genera una señal de salida eléctrica que se envía al controlador. El controlador procesa la señal de salida y puede alertar al operario de que se ha producido el daño.

45 En caso de delaminación del material compuesto de la carcasa externa, dos o más de las capas fibrosas del material compuesto se separan una de otra y normalmente se propaga una grieta a través del material, en la dirección de la longitud de la pala. Cuando la grieta alcanza la superficie externa de la pala de turbina eólica 5, cualquier parte de las fibras ópticas fluorescentes 12 en la región de la grieta quedará expuesta a la radiación ambiental. El material fluorescente en la parte expuesta de las fibras ópticas 12 absorberá la radiación ambiental y volverá a emitir la energía en forma de luz, según se describió anteriormente.

50 Si la grieta se propaga adicionalmente, la fibra óptica fluorescente 12 que transmite la luz hasta el detector de luz 14 puede romperse o partirse, de modo que la luz no puede transmitirse por ambos extremos de la fibra. El detector de



luz detectará una intensidad reducida de la luz procedente de la fibra y enviará una señal de salida eléctrica al controlador, que puede procesarse para indicar la ubicación de la rotura de la fibra óptica.

5 La figura 3 ilustra una pala con una disposición de sensores 30 alternativa para detectar erosión en la superficie externa. La disposición de sensores 30 puede usarse en combinación con la disposición de sensores 10, aunque alternativamente puede usarse por separado.

10 La disposición de sensores 30 comprende una pluralidad de fibras ópticas fluorescentes 32 incrustadas en la carcasa de la pala, a una pequeña distancia bajo la superficie. Cada una de las fibras ópticas 32 se extiende a lo largo de aproximadamente un cuarto de la longitud de la pala 5 desde el extremo de punta y las fibras están separadas entre sí alrededor del borde de ataque de la pala en el extremo de punta. Se muestran dos fibras ópticas paralelas esquemáticamente en la figura 3 aunque puede proporcionarse un número mayor o menor.

15 Como en la disposición de sensores 10 mostrada en la figura 2, la disposición 30 de la figura 3 comprende adicionalmente un detector de luz 34 que puede montarse en el buje de la turbina. El detector de luz se conecta a un extremo de cada fibra fluorescente 32 por medio de fibras ópticas no fluorescentes 36, con el fin de recibir cualquier luz transmitida a lo largo de las fibras. Un controlador (no mostrado) está conectado tanto al dispositivo emisor de luz como al dispositivo de medición de luz, mediante conexiones, tales como hilos o cables.

20 En caso de erosión de la superficie externa de la pala 5, las capas externas del material compuesto que forma la carcasa externa de la pala se desgastarán y, en última instancia, una o más de las fibras ópticas fluorescentes 32 incrustadas por debajo de la superficie quedarán expuestas en la superficie de la pala. El material fluorescente en la parte expuesta de la fibra óptica absorberá la radiación ambiental y emitirá luz que se reflejará por la fibra óptica hasta el detector de luz 34.

25 Al igual que con la disposición de sensores 10 descrita anteriormente, en condiciones de funcionamiento normal, las fibras ópticas fluorescentes 32 estarán encerradas dentro del material compuesto que forma la carcasa de la pala y la intensidad de la luz recibida en el detector de luz será baja o despreciable. La disposición de sensores 30 funciona detectando cualquier luz emitida desde el material fluorescente en la fibra óptica que se ha reflejado a lo largo de la fibra hasta el detector de luz 34. Al recibir la luz procedente del material fluorescente, el detector de luz 34 genera una señal de salida eléctrica que se envía al controlador. El controlador procesa la señal de salida y puede alertar al operario de que se ha producido la erosión.

30 Si la erosión continúa, las propias fibras ópticas fluorescentes 32 empezarán a erosionarse y la señal luminosa recibida desde la fibra óptica 32 puede disminuir. Al igual que con la disposición de sensores 10, cuando una fibra óptica 32 se erosiona por completo, puede que la fibra ya no pueda transmitir la luz hasta el detector de luz por los extremos de la fibra y el detector detectará el cambio en la intensidad de la señal luminosa recibida.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema (10, 30) de detección de un daño en una pala de turbina eólica (5) que comprende:
 

5 una o más fibras ópticas fluorescentes (12, 32) que comprenden un material fluorescente configurado para tener una longitud de onda de excitación tal que el material se ilumina por fluorescencia en caso de exposición a la radiación ambiental en la pala de turbina eólica, en el que la una o más fibras ópticas están configuradas para estar montadas de manera operativa en la pala de turbina eólica de manera que, en caso de daño en la pala de turbina eólica, al menos una parte de la fibra óptica queda expuesta en la superficie de la pala provocando que la fibra óptica se ilumine por fluorescencia;

10 un detector de luz (14, 34) para recibir una señal luminosa desde uno o desde ambos extremos de la una o más fibras ópticas en caso de excitación del material fluorescente y para emitir una señal basada en la señal luminosa; y

un controlador acoplado al detector de luz para recibir la señal.
2. Sistema según la reivindicación 1, en el que el material fluorescente es un material centelleador.
3. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el detector de luz está montado de manera operativa en una parte estacionaria de la turbina eólica que comprende la pala de turbina eólica.
4. Sistema según cualquiera de la reivindicación 1 a 3, que comprende una pluralidad de fibras ópticas fluorescentes sustancialmente paralelas.
5. Sistema según cualquier reivindicación anterior para detectar delaminación de un material compuesto que forma la pala de turbina eólica, en el que la una o más fibras ópticas fluorescentes están incrustadas de manera operativa entre capas del material compuesto de manera que, en caso de delaminación, la una o más fibras ópticas fluorescentes quedan expuestas a la radiación ambiental.
6. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 para detectar erosión de una superficie de la pala de turbina eólica, en el que la una o más fibras ópticas fluorescentes están incrustadas en el material compuesto que forma la pala de turbina eólica cerca de la superficie externa de la pala de manera que, en caso de erosión del material compuesto superpuesto, la una o más fibras ópticas fluorescentes quedan expuestas a la radiación ambiental.
7. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además una capa de un material óptico previsto operativamente entre la una o más fibras fluorescentes y la superficie de la pala, en el que en caso de exposición del material óptico a la radiación ambiental, el material transmite la radiación a la fibra óptica fluorescente subyacente, provocando que la fibra óptica se ilumine por fluorescencia.
8. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que la una o más fibras ópticas fluorescentes están incrustadas de manera operativa en el borde de ataque o borde de salida de la pala de turbina eólica.
9. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que la una o más fibras ópticas fluorescentes están incrustadas de manera operativa hacia el extremo de punta de la pala de turbina eólica.
10. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que el material fluorescente está adaptado para excitarse por una o más de luz visible, radiación infrarroja y ultravioleta.
11. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el material fluorescente está adaptado para excitarse por radiación ionizante.
12. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que cada una de la una o más fibras ópticas fluorescentes tiene un núcleo de fibra y un revestimiento exterior, y en el que el material fluorescente en la fibra óptica fluorescente está ubicado principalmente en el revestimiento.
13. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que cada una de la una o más fibras ópticas fluorescentes tiene un núcleo de fibra y un revestimiento exterior, y en el que el material fluorescente en la fibra óptica fluorescente está ubicado principalmente en el núcleo.
14. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que la fibra óptica fluorescente es una fibra óptica que tiene un recubrimiento fluorescente.
15. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que la una o más fibras ópticas fluorescentes están conectadas al detector de luz por medio de una o más fibras ópticas no fluorescentes.
16. Sistema según cualquier reivindicación anterior, que comprende además una fuente de radiación externa montada en o adyacente a la pala de turbina eólica configurada de manera que la radiación procedente de

la fuente de radiación incide sobre la pala de turbina eólica, en el que la longitud de onda de la radiación corresponde a la longitud de onda de excitación del material fluorescente en la una o más fibras fluorescentes.

- 5 17. Sistema según cualquier reivindicación anterior, que comprende además una fuente de radiación interna incrustada en la pala de turbina eólica adyacente a la una o más fibras ópticas fluorescentes, en el que la longitud de onda de la radiación corresponde a la longitud de onda de excitación del material fluorescente en la una o más fibras fluorescentes.
18. Sistema según la reivindicación 17, en el que la fuente de radiación interna comprende una fuente de luz y una o más fibras ópticas emisoras de luz conectadas a la fuente de luz.
- 10 19. Método de detección de un daño en una pala de turbina eólica (5), comprendiendo el método las etapas de:  
proporcionar una o más fibras ópticas fluorescentes (12, 32) en el material compuesto que forma la pala de turbina eólica, en el que la una o más fibras ópticas comprenden un material fluorescente que tiene una longitud de onda de excitación que se selecciona de manera que el material se ilumina por fluorescencia en caso de exposición a la radiación ambiental en la pala de turbina eólica;
- 15 conectar al menos un extremo de la una o más fibras ópticas a un detector de luz (14, 34) montado en la turbina eólica que comprende la pala de turbina eólica;  
hacer funcionar el detector de luz para detectar luz emitida desde el material fluorescente en caso de exposición de la una o más fibras ópticas en la superficie de la pala como resultado de un daño en la pala y para emitir una señal cuando se detecta luz; y
- 20 recibir la señal en un controlador.
20. Método según la reivindicación 19, que comprende además la etapa de hacer funcionar el detector de luz para detectar degradación en la luz recibida desde una o más de la fibras ópticas fluorescentes indicativa de erosión o rotura de las fibras ópticas fluorescentes.
- 25 21. Método según la reivindicación 19 ó 20, que comprende procesar la señal de salida en el controlador para determinar la ubicación de la fibra óptica fluorescente expuesta.
22. Método según cualquiera de las reivindicaciones 19 a 21, que comprende incrustar la una o más fibras ópticas entre las capas de un material compuesto que forma la pala de turbina eólica.
23. Método según cualquiera de las reivindicaciones 19 a 22, que comprende incrustar la una o más fibras ópticas cerca de la superficie externa de la pala de turbina eólica.
- 30 24. Método según la reivindicación 22 ó 23, que comprende incrustar la una o más fibras ópticas en el borde de ataque de la pala de turbina eólica.
25. Método según cualquiera de las reivindicaciones 19 a 24 para detectar delaminación de un material compuesto que forma la pala de turbina eólica.
- 35 26. Método según cualquiera de las reivindicaciones 19 a 24 para detectar erosión o corrosión de la superficie de la pala de turbina eólica.
27. Método según cualquiera de las reivindicaciones 19 a 26, que comprende además proporcionar un material óptico entre la una o más fibras ópticas fluorescentes y la superficie de la pala, en el que en caso de exposición del material óptico a la radiación ambiental, el material transmite la radiación a la fibra óptica subyacente, provocando que la fibra óptica se ilumine por fluorescencia.
- 40 28. Pala de turbina eólica que comprende el sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18.
29. Turbina eólica que comprende una o más palas de turbina eólica que incorporan el sistema según las reivindicaciones 1 a 18.

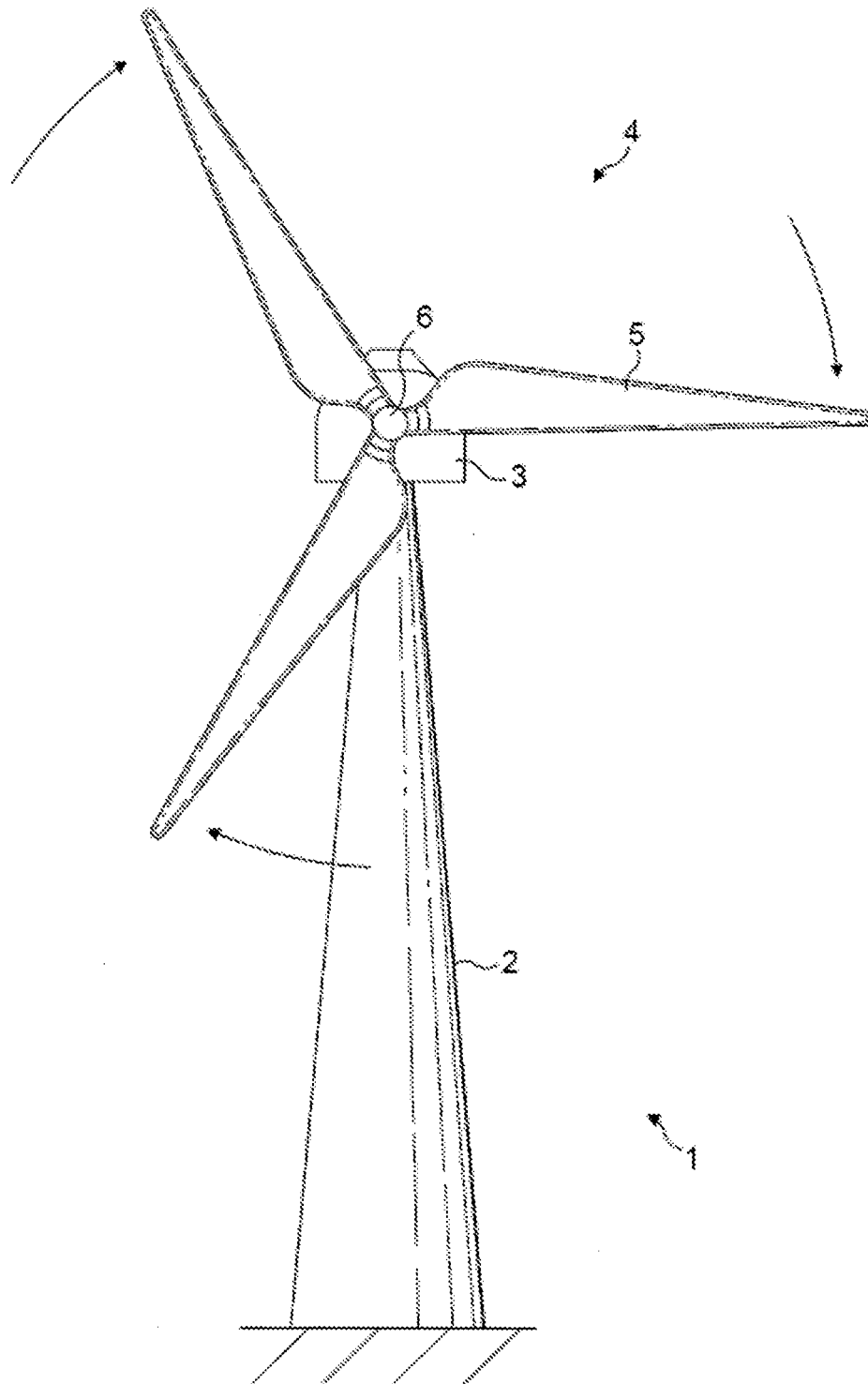


FIG. 1

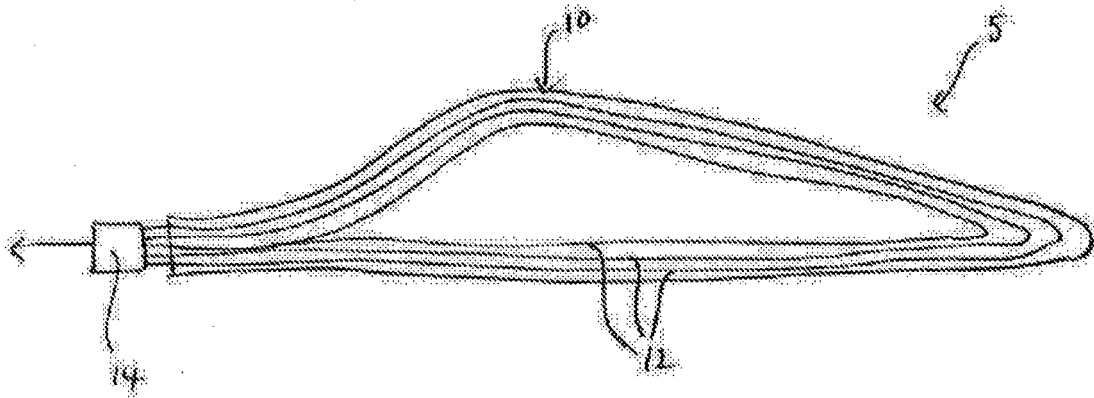


Figura 2

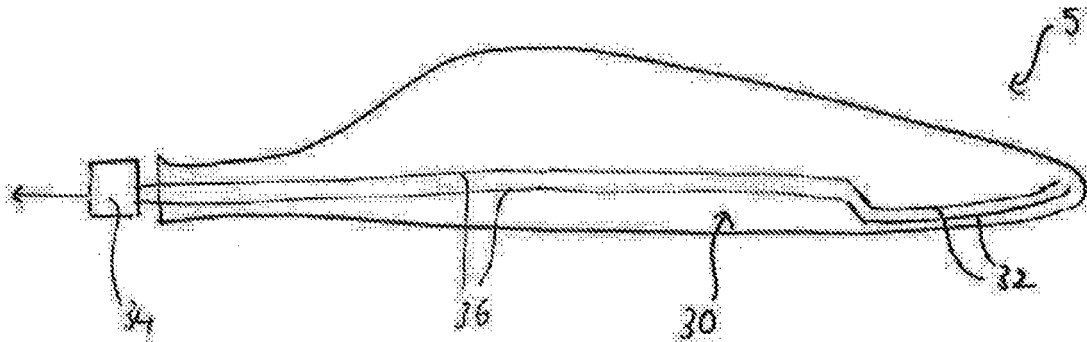


Figura 3