

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 547 539**

51 Int. Cl.:

F03D 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.05.2009 E 09753562 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.08.2015 EP 2300710**

54 Título: **Un rotor de turbina eólica, una turbina eólica y uso de los mismos**

30 Prioridad:

30.05.2008 DK 200800747
30.05.2008 US 57577

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.10.2015

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

OLESEN, IB SVEND y
ABDALLAH, IMAD

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 547 539 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

Un rotor de turbina eólica, una turbina eólica y uso de los mismos

Antecedentes de la invención

5 La invención se refiere a una técnica para detectar la forma de una pala de turbina eólica en un rotor de turbina eólica, una turbina eólica que comprende tal rotor y al uso de los mismos.

Descripción del estado de la técnica relacionado

10 Una turbina eólica conocida en la técnica comprende típicamente una torre de turbina eólica y una góndola de turbina eólica situada en la parte superior de la torre. Un rotor de turbina eólica, que comprende tres palas de turbina eólica, se conecta a la góndola mediante un árbol de baja velocidad, que se extiende hacia fuera de la parte frontal de la góndola, como se ilustra en la fig. 1.

Recientemente el desarrollo de turbinas eólicas producidas en masa se ha desplazado hacia fabricarlas más y más grandes, tanto en potencia entregada como en tamaño. Concretamente, en el campo de las palas de turbina eólica producidas en masa este desarrollo ha sido profundo, ya que en promedio la pala de turbina eólica producida en masa ha más que duplicado su longitud.

15 Es casi imposible fabricar tales palas largas tan rígidas que mantengan sustancialmente su forma inicial bajo cualquier condición de carga y por lo tanto las palas se diseñan para flexionarse hasta cierto punto.

20 Durante el funcionamiento de una turbina eólica, las palas se curvarán y retorcerán debido al acoplamiento estructural y a las cargas aerodinámicas. Tanto el curvado como la torsión tienen un efecto en la resistencia a la fatiga y las cargas extremas de la pala. La torsión, sin embargo, afecta igualmente a la potencia entregada por la turbina. Tanto el curvado como la torsión dependen fuertemente del viento entrante y las turbulencias. Para tener una mejor comprensión de las condiciones de funcionamiento de un rotor de turbina eólica y con el fin de optimizar su funcionamiento, es ventajoso conocer la forma de la pala.

25 De la patente alemana nº DE 10 2006 002 708 B4 se conoce dotar al buje de una turbina eólica con un emisor de luz y una unidad de registro de luz, donde el emisor de luz se dispone para emitir un haz de luz en la dirección de un reflector conectado a la pala de la turbina eólica a una distancia del buje. El haz se refleja a continuación por el reflector para ser registrado por la unidad de registro de luz. De la posición del haz reflejado se puede deducir la flexión de la pala pero el reflector tiene que ajustarse de modo muy preciso para garantizar que la luz reflejada golpea a la unidad de registro de luz en el buje de la pala. Además, el sistema es muy sensible incluso a la más ligera deformación de la pala, lo que lo hace inadecuado para su uso en una pala grande de una turbina eólica moderna y todavía más tal sistema es muy sensible frente a vibraciones y oscilaciones.

30 El documento FR 2882404 A da a conocer un rotor de turbina eólica de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

Por lo tanto, un objeto de la invención es proporcionar una técnica ventajosa para detectar la forma de una pala de turbina eólica.

La invención

35 La invención proporciona un rotor de turbina eólica. El rotor comprende por lo menos una pala de turbina eólica, por lo menos un dispositivo de captura de imágenes, y dos o más marcadores dispuestos sobre la pala de modo que el por lo menos un dispositivo de captura de imágenes pueda detectar la posición de los marcadores.

40 Si se registró una posición de referencia de un marcador cuando la pala estaba relajada, por ejemplo en un día en calma cuando la punta de la pala estaba orientada hacia abajo, y en un momento posterior se registró una nueva posición del marcador durante el funcionamiento de la turbina eólica, la deformación de la pala se podría deducir hasta cierto punto de este cambio en posición midiendo cuánto se ha movido el marcador y en qué dirección.

Disponer los marcadores sobre la pala garantiza por lo tanto que se puede deducir una información relativamente precisa acerca de la forma de la pala por medio del dispositivo de captura de imágenes.

45 En un aspecto de la invención dichos dos o más marcadores son dos o más entidades separadas conectadas a una superficie de dicha pala.

Proporcionar los marcadores como entidades que no se forman integralmente con la pala es ventajoso ya que estos marcadores se pueden reajustar en palas de turbina eólica excitadas, marcadores excitados se puede mover, por ejemplo,

a una posición más ventajosa y se pueden intercambiar o sustituir si están desgastados o dañados.

En un aspecto de la invención, dichos dos o más marcadores están conectados a una superficie de dicha pala por medio de un adhesivo.

5 Conectar los marcadores a la pala por medio de un adhesivo es ventajoso ya que el adhesivo es fiable y barato para unir elementos a una pala de turbina eólica.

En un aspecto de la invención, uno o más de dichos dos o más marcadores tienen un aspecto que es distinguible por dicho por lo menos un dispositivo de captura de imágenes frente a la pala circundante sobre la cual están dispuestos dichos dos o más de dichos dos o más marcadores.

10 Es ventajoso permitir que los marcadores tengan un aspecto por el cual dicho por lo menos un dispositivo de captura de imágenes pueda distinguirlos de la pala circundante sobre la cual dichos dos o más de dichos dos o más marcadores están dispuestos, ya que esto hará que los marcadores resalten más claramente, haciendo más fácil de este modo identificar la posición del marcador y aumentando así la precisión del sistema.

En un aspecto de la invención, dichos dos o más marcadores comprenden una zona visible provista de un color que es distinto al color de dicha pala.

15 Es ventajoso hacer los marcadores o las áreas de los marcadores de un color que sea diferente del de la pala a la cual se unen, ya que esto hará que los marcadores resalten más claramente, haciendo así más fácil identificar la posición del marcador y aumentando de este modo la precisión del sistema.

En un aspecto de la invención dichos dos o más marcadores comprenden una zona de reflexión de luz visible.

20 Dotar a los marcadores de una zona de reflexión de la luz es ventajoso ya que si los marcadores se sitúan en el interior de la pala, que bajo circunstancias normales estará a oscuras o por lo menos en penumbra, o si los marcadores se sitúan en el exterior de la pala durante la noche, los marcadores tendrán que ser iluminados con toda probabilidad de algún modo para permitir que la cámara puede identificar las posiciones de los marcadores, y una zona de reflexión de la luz hará así que los marcadores “resplandezcan” al ser iluminados en un entorno oscuro, haciendo la identificación más fácil y precisa.

En un aspecto de la invención, dos o más de dichos dos o más marcadores definen cada uno un marcador puntual.

25 Tal modo de realización tiene la ventaja de que será posible que el dispositivo de captura de imágenes identifique la posición del marcador con un grado de precisión muy elevado.

En un aspecto de la invención, dichos dos o más marcadores sobresalen de una superficie de dicha pala.

30 Marcadores que sobresalen de la superficie de la pala se pueden identificar incluso aunque la línea de visión del dispositivo de captura de imágenes sea sustancialmente paralela con la superficie de la pala sobre la cual se coloca el marcador. Las palas largas y relativamente esbeltas de una turbina eólica moderna presentarán una multitud de tales superficies (en relación con un dispositivo de captura de imágenes colocado en o en la raíz de la pala) y para permitir que estas superficies puedan estar provistas asimismo de marcadores es ventajoso hacer que los marcadores sobresalgan de la superficie.

35 Además, un marcador sobresaliente se puede unir a la superficie de la pala por ejemplo de un modo no destructivo, lo que permite que el marcador pueda ser reajustado, se pueda mover o sustituir fácilmente y de modo barato.

En un aspecto de la invención, dichos dos o más marcadores se forman integralmente con dicha pala.

40 Las palas de una turbina eólica moderna comprenden una geometría de superficie muy compleja y puede ser difícil por lo tanto colocar los marcadores exactamente una vez que la pala ha sido fabricada. Sin embargo, integrando los marcadores en la pala durante la fabricación de la pala los marcadores se pueden colocar con mucha mayor precisión, lo que podría permitir lecturas mucho más precisas del dispositivo de captura de imágenes.

Además, si los marcadores se forman como depresiones o muescas en la superficie de la pala estos marcadores serían menos sensibles a la suciedad, formación de escarcha y otros, y por lo tanto hace que los marcadores sean más duraderos y fiables.

45 En un aspecto de la invención, por lo menos dos de dichos dos o más marcadores se disponen sobre una superficie interior de dicha pala.

El interior de la pala presenta un entorno mucho más controlado en comparación con el exterior de la pala, haciendo que

la salida del sistema sea más fiable.

Además, marcadores situados dentro de la pala están menos expuestos al desgaste provocado por el viento, la lluvia, granizo y otros, e igualmente se reduce el riesgo de que los marcadores queden cubiertos por el hielo, suciedad u otros.

5 En un aspecto de la invención, por lo menos dos de dichos dos o más marcadores se disponen en una superficie exterior de dicha pala.

Incluso aunque la pala de una turbina eólica moderna sea muy grande, puede aun así ser difícil o incluso imposible el acceso del personal al interior de la pala. Para marcadores dispuestos en la pala tras la fabricación de la pala o para garantizar la reparación o sustitución de los marcadores es ventajoso por lo tanto que los marcadores estén dispuestos en la superficie exterior accesible de la pala.

10 Además, las palas de una turbina eólica moderna son tan flexibles que sería imposible o por lo menos muy difícil que una cámara colocada en o en la raíz de la pala registre la posición de los marcadores situados en el extremo interior de la pala mientras que un marcador situado cerca o en la punta en la superficie exterior de la pala sería más visible para una cámara colocada cerca de o en la raíz de la pala cuanto más se curva la pala.

De acuerdo con la invención, dicha por lo menos una pala comprende dos o más marcadores.

15 Un dispositivo de captura de imágenes que detecta la posición de tan solo un marcador puede proporcionar la información de que la pala se deforma y hasta cierto punto cuánto. Sin embargo, no es posible deducir si un cambio dado en la posición de único marcador se origina por un curvado de la pala, una torsión o ambos. Pero al proporcionar más de un marcador en la pala es posible deducir (a partir de la comparación del cambio en posición de un primer marcador con el cambio en posición de un segundo marcador) si el cambio en posición se originó por curvado o por torsión y cuánto se está curvando la pala y cuánto se está retorciendo.

20 Por ejemplo, si un marcador situado cerca del borde de ataque de una pala se hubiera movido una cierta distancia en la dirección del lado de presión de la pala, se podría deducir que la pala se había curvado en una dirección del lado de presión. Sin embargo, si se registrara de modo sustancialmente simultáneo que un segundo marcador situado cerca del borde de salida de la pala se había movido una cierta distancia en la dirección del lado de succión de la pala, se puede deducir conclusivamente que la pala se está retorciendo. E igualmente, si ambos marcadores se estuvieran moviendo la misma dirección se puede deducir conclusivamente que la pala se está curvando.

25 Además, al disponer el dispositivo de captura de imágenes de modo que registre la posición de más de uno de los marcadores, es posible obtener no solo información local sino igualmente información más detallada de la forma de áreas más grandes de la pala, por ejemplo por medio de tan solo una cámara, lo que haría a este sistema a la vez sencillo y eficiente en costes.

30 En un aspecto de la invención, dichos dos o más marcadores están mutuamente desplazados en una dirección longitudinal de dicha pala.

35 Desplazar los marcadores en la dirección longitudinal de la pala es ventajoso ya que es posible obtener así una información más precisa de la forma de toda la pala, haciendo posible así, por ejemplo, deducir la posición de la punta de la pala con una precisión relativamente elevada.

En un aspecto de la invención, dichos dos o más marcadores están mutuamente desplazados en una dirección de cuerda de dicha pala y/o en una dirección perpendicular a dicha dirección de cuerda de dicha pala.

40 Desplazar los marcadores en la dirección de cuerda y/o en una dirección perpendicular a dicha dirección de cuerda de la pala es ventajoso, en primer lugar ya que se garantiza así que los marcadores pueden ser vistos mejor por el dispositivo de captura de imágenes y porque al desplazar los marcadores a lo largo de una mayor área de la sección transversal de la pala, es posible obtener y deducir una información mucho más precisa acerca de la forma de la pala, particularmente en lo relativo a la torsión de la pala.

45 En un aspecto de la invención, un primer marcador de dichos dos o más marcadores comprende un primer color y un segundo marcador de dichos dos o más marcadores comprende un segundo color, y en el que dicho primer color es distinto de dicho segundo color.

Si la pala está provista con más de un marcador es ventajoso hacer por lo menos alguno de los marcadores de diferente color, garantizando así que un marcador específico se puede identificar de modo único por el dispositivo de captura de imágenes basándose en su color. Así pues, el sistema se vuelve más fiable.

En un aspecto de la invención, un primer marcador de dichos dos o más marcadores se forma con una primera forma y

un segundo marcador de dichos dos o más marcadores se forma con una segunda forma, y en el que dicha primera forma es distinta de dicha segunda forma.

5 Si la pala está provista de más de un marcador es ventajoso formar por lo menos alguno de los marcadores de distinta forma, garantizando así que un marcador específico se puede identificar de modo único por el dispositivo de captura de imágenes basándose en su forma, o si los marcadores estuvieran en línea, por ejemplo, aumentar el tamaño del marcador a lo largo de la pala garantizaría que por lo menos un parte de todos los marcadores sería visible por un dispositivo de captura de imágenes situado en o cerca de la raíz de la pala. Así pues, el sistema se vuelve más fiable.

En un aspecto de la invención, dicho por lo menos un dispositivo de captura de imágenes comprende medios de enfoque ópticos.

10 La calidad de la información generada por el dispositivo de captura de imágenes depende de con qué precisión pueda registrar el dispositivo de captura de imágenes la posición de los marcadores, y por lo tanto es ventajoso dotar al dispositivo de captura de imágenes de medios de enfoque ópticos.

En un aspecto de la invención, dicho por lo menos un dispositivo de captura de imágenes comprende un dispositivo de acoplamiento de carga (CCD).

15 Los dispositivos de acoplamiento de carga son medios relativamente baratos y muy precisos para registrar posiciones de marcadores.

En un aspecto de la invención, dicho rotor comprende además medios de reflexión de la luz dispuestos entre dicho dispositivo de captura de imágenes y por lo menos uno de dichos marcadores.

20 Disponer medios de reflexión de la luz entre el dispositivo de captura de imágenes y los marcadores es ventajoso ya que es posible así guiar la luz desde los marcadores hacia el dispositivo de captura de imágenes, incluso aunque no haya una clara trayectoria directa entre ellos.

En un aspecto de la invención, dicho dispositivo de captura de imágenes está conectado a dicha pala.

25 Si la turbina eólica comprende un mecanismo de cabeceo para ajustar el ángulo de cabeceo de las palas, la precisión del sistema aumentaría si el dispositivo de captura de imágenes estuviera conectado a la pala, haciéndolo girar junto con los marcadores cuando se ajusta el ángulo de cabeceo de la pala.

En un aspecto de la invención, dicho rotor de turbina eólica comprende además un dispositivo de iluminación para iluminar por lo menos uno de dichos marcadores.

30 En un entorno oscuro podría ser difícil que el dispositivo de captura de imágenes estableciera la posición exacta de los marcadores y para aumentar la usabilidad y fiabilidad del sistema es ventajoso hacer que el rotor comprenda un dispositivo de iluminación.

En un aspecto de la invención, una parte principal de la luz emitida desde dicho dispositivo de iluminación no es visible, tal como luz en el infrarrojo cercano o ultravioleta.

35 Particularmente, si los marcadores están situados en una superficie exterior de la pala aunque igualmente si están situados internamente, la iluminación de la pala por medio de luz visible puede ser molesta para el entorno, indeseable estéticamente o desventajoso de otro modo, y por lo tanto es ventajoso iluminar los marcadores por medio de luz invisible.

En un aspecto de la invención, dicho rotor de turbina eólica comprende además una unidad de cálculo para establecer valores de deformación de la pala basándose en una salida de dicho dispositivo de captura de imágenes.

40 Hacer que el rotor comprenda una unidad de cálculo para establecer valores de deformación de la pala basándose en la salida del dispositivo de captura de imágenes es ventajoso ya que la turbina eólica, sin ningún procesamiento adicional, puede utilizar la información para controlar el funcionamiento de la turbina eólica.

En un aspecto de la invención, dicho dispositivo de captura de imágenes y por lo menos uno de dichos uno o más marcadores están separados por al menos un 10% de una longitud total longitudinal de dicha pala.

45 Incluso aunque una pala de turbina eólica moderna grande en su conjunto sea relativamente flexible, localmente la pala puede ser relativamente rígida y para hacer un buen uso de los marcadores es ventajoso que estén separados entre sí por al menos un 10% de la longitud total longitudinal de la pala para garantizar una información útil y fiable acerca de la forma de la pala.

En un aspecto de la invención, dicho dispositivo de captura de imágenes registra una posición de dichos marcadores con una frecuencia que permite poder detectar oscilaciones de borde y de aleta de dicha pala.

5 Un tipo dado de pala de turbina eólica tiene una o más frecuencias propias sustancialmente bien definidas hacia las oscilaciones de borde y de aleta. Si estas frecuencias son conocidas es posible detectar estos tipos de oscilaciones haciendo que el dispositivo de captura de imágenes registre la posición de los marcadores con más frecuencia que estas frecuencias propias. Esto es ventajoso ya que las oscilaciones de borde y de aleta pueden ser difíciles y/o costosas de detectar de otro modo, y porque estos tipos de oscilaciones en el peor caso pueden dañar la pala.

10 Se debe hacer hincapié en que por el término "oscilaciones de borde" se entenderán oscilaciones sustancialmente a lo largo de la cuerda entre el borde de salida y el borde de ataque de la pala, mientras que mediante el término "oscilaciones de aleta" se entenderán oscilaciones sustancialmente entre el lado de presión y el lado de succión de la pala.

Además, la invención proporciona una turbina eólica que comprende un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de lo anterior.

Así pues se consigue un modo de realización ventajoso de la invención.

15 En un aspecto de la invención, dicha turbina eólica comprende medios de control para controlar un ángulo de cabeceo de dicha por lo menos una pala de turbina eólica en relación a dichos valores de deformación.

Controlar el ángulo de cabeceo de la pala en relación a los valores de deformación es ventajoso ya que cambiar el ángulo de cabeceo es un modo muy rápido y eficiente de cambiar la situación de carga de la pala.

En un aspecto de la invención, dicha turbina eólica comprende medios de control para controlar una velocidad de giro de dicho rotor de turbina eólica en relación a dichos valores de deformación.

20 Controlar la velocidad de giro del rotor en relación a los valores de deformación es ventajoso ya que, por ejemplo, una velocidad reducida podría reducir la carga sobre las palas, y por tanto su deformación.

Todavía más, la invención prevé el uso de una turbina eólica de acuerdo con lo anterior, en la que dicha turbina eólica es una turbina eólica controlada por cabeceo.

25 Las turbinas eólicas controladas por cabeceo se caracterizan por palas particularmente largas y esbeltas, y estas palas tienden por lo tanto a flexionarse más que palas de, por ejemplo, una turbina eólica controlada por pérdida. Así pues, es particularmente ventajoso utilizar un rotor de acuerdo con la presente invención en relación con una turbina eólica controlada por cabeceo.

Figuras

La invención se describirá en lo que sigue con referencia a las figuras, en las cuales:

30 la fig. 1 ilustra una turbina eólica moderna grande como se conoce en el estado de la técnica,

la fig. 2 ilustra una sección transversal simplificada de una góndola, vista desde el lado,

la fig. 3 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica con marcadores colocados internamente, vista desde el frente,

35 la fig. 4 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica que comprende un número de marcadores, vista desde la raíz de la pala,

la fig. 5 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica que comprende dos dispositivos de captura de imágenes, vista desde el borde de salida de la pala,

la fig. 6 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica que comprende unos medios de reflexión de la luz, vista desde el borde de salida de la pala,

40 la fig. 7 ilustra una pala de turbina eólica que comprende una cámara externa, vista desde el lado de succión de la pala, y

la fig. 8 ilustra una turbina eólica que comprende una cámara externa, vista desde el lado.

Descripción detallada del estado de la técnica relacionado

La fig. 1 ilustra una turbina eólica grande moderna 1 como es conocido en la técnica, que comprende una torre 2 y una góndola de turbina eólica 3 situada en la parte superior de la torre 2. El rotor de la turbina eólica 4 comprende tres palas

de turbina eólica 5 montadas en un buje 6 común que está conectado a la góndola 3 mediante el árbol de baja velocidad que se extiende hacia fuera de parte frontal de la góndola 3. En otro modo de realización, el rotor de la turbina eólica podría comprender otro número de palas 5 tal como una, dos, cuatro, cinco o más.

5 La fig. 2 ilustra una sección transversal simplificada de una góndola 3 de una turbina eólica 1 del estado de la técnica anterior, vista desde el lado. Existen góndolas 3 en una multitud de variaciones y configuraciones, aunque en la mayoría de los casos el tren de accionamiento de la góndola 3 comprende casi siempre uno o más de los siguientes componentes: una caja de engranajes 15, un acoplamiento (no mostrado), algún tipo de sistema de frenado 16 y un generador 17. Una góndola 3 de una turbina eólica moderna 1 puede incluir asimismo un convertidor 18 (denominado asimismo inversor) y equipo periférico adicional, tal como el equipo de gestión de potencia adicional, armarios de control, sistemas hidráulicos, sistemas de refrigeración y más.

10 El peso de toda la góndola 3 incluyendo los componentes 15, 16, 17, 18 de la góndola es portado por la estructura 19 de la góndola. Los componentes 15, 16, 17, 18 se sitúan habitualmente sobre y/o conectados a esta estructura 19 de la góndola de transporte de carga común. En este ejemplo simplificado, la estructura 19 de la góndola de transporte de carga solo se extiende a lo largo de la parte inferior de la góndola 3, por ejemplo en forma de un almacén de soporte al cual se conectan algunos o todos los componentes 15, 16, 17, 18. En otro modo de realización, la estructura de transporte de carga 19 podría comprender una campana de engranajes a través de la que el cojinete principal 14 podría transferir la carga del rotor 4 a la torre 2, o la estructura de transporte de carga 19 podría comprender varias partes interconectadas a modo de enrejado.

15 En este modo de realización, las palas del rotor 5 de la turbina eólica 4 están conectadas al buje 6 mediante cojinetes de cabeceo 25, que permiten que las palas 5 puedan girar alrededor de sus ejes longitudinales.

20 El ángulo de cabeceo de las palas 5 podría estar controlado entonces, por ejemplo, mediante actuadores lineales, motores de pasos u otros medios para girar las palas 5 (no mostrados) conectados al buje 6 y a la pala 5 respectiva.

Descripción detallada de la invención

25 La fig. 3 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica 5 con marcadores 11 colocados internamente, vista desde el lado frontal/de presión 14 de la pala 5.

La pala de turbina eólica 5 comprende un borde de ataque 7, un borde de salida 8, una punta 9 y una raíz 10. Una pala de turbina eólica 5 conocida en la técnica está fabricada típicamente de un compuesto de fibra de vidrio y resina reforzado con fibra de carbono, madera reforzada con fibra de carbono o una combinación de los mismos.

30 En este modo de realización de la invención, el interior de la pala 5 está provisto de cuatro marcadores 11 conectados rígidamente a la estructura de la pala 20 a lo largo de la superficie interior de la pala 5. En otro modo de realización, la pala 5 podría estar provista de otro número de marcadores 11 tales como dos, tres, cinco, seis o más y los marcadores 11 podrían estar conectados a la pala 5 en diferentes posiciones.

35 Debido a que el interior de la pala 5 puede ser de difícil acceso, el número de marcadores 11 se podría duplicar, por ejemplo, durante la fabricación de la pala 5. Si por alguna razón se hiciera difícil o imposible detectar la posición de un marcador 11 específico durante la vida de la pala 5, el marcador 11 o marcadores 11 adicionales se podrían detectar en su lugar, proporcionando así redundancia al sistema.

En este modo de realización de la invención, los cuatro marcadores 11 están desplazados mutuamente en la dirección longitudinal L de la pala 5, lo que hace posible detectar la flexión y deformación de la pala 5 en diferentes lugares y proporcionar así información relativamente precisa acerca de la forma de toda la pala 5.

40 En este modo de realización de la invención, los marcadores 11 se forman como pegatinas conectadas a la superficie de la pala 5 por medio de un adhesivo, aunque en otro modo de realización los marcadores 11 se podrían conectar a la pala 5 por medio de soldadura, remaches, tornillos, pernos u otros medios de fijación.

Los marcadores 11 se forman así como entidades separadas de la pala 5 y en otro modo de realización los marcadores podrían simplemente pintarse directamente sobre la superficie de la pala, por ejemplo como puntos pintados.

45 En este modo de realización, los marcadores se colorean de colores distintivos tales como amarillo brillante, rojo, azul u otros lo que hace que los marcadores 11 resalten en relación a la superficie generalmente gris de la pala 5. Sin embargo, si los marcadores 11 se situaran en la superficie exterior de la pala 5 podría ser ventajoso por razones estéticas fabricar los marcadores 11 de colores más discretos.

50 En un modo de realización de la invención, uno o más de dichos uno o marcadores tienen un aspecto por medio del cual dicho por lo menos un dispositivo de captura de imágenes puede distinguirlos de la pala circundante sobre la cual se

disponen dicho uno o más de dichos uno o marcadores.

Esto hace que los marcadores resalten más claramente, haciendo así más fácil identificar la posición del marcador y aumentando así la precisión del sistema.

5 Si la superficie de la pala, sobre la cual se sitúan los marcadores 11, tuviera que iluminarse para que el dispositivo de captura de imágenes 12 detectara la posición de los marcadores 11, podría ser ventajoso igualmente hacer que los marcadores comprendan una zona de reflexión de luz visible que haga que los marcadores 11 resalten claramente si se iluminan.

10 En este modo de realización, las pegatinas sustancialmente planas están casi alineadas con la superficie de la pala 5, pero en otro modo de realización los marcadores 11 podrían sobresalir de la superficie de la pala 5, por ejemplo disponiendo los marcadores 11 con diferentes alturas.

En un modo de realización de la invención, uno o más de dichos uno o más marcadores define cada uno un marcado puntual.

15 En la presente descripción y en las reivindicaciones adjuntas, el término "marcado puntual" se debe interpretar como un marcado que define un punto. Tal punto no se debe interpretar como un punto en el sentido matemático sin extensión física.

20 Antes bien, en el punto debe interpretarse como un punto físico que tiene una extensión física que es lo más pequeña posible. En el caso general, cuanto menor sea la extensión física del punto, el por lo menos un dispositivo de captura de imágenes podrá detectar de modo más preciso la posición del punto. Por consiguiente, se prefiere que el punto tenga una extensión física en cualquier dirección de 0,1 mm-2,0 cm, tal como 0,2 mm-1,9 cm, por ejemplo 0,3 mm-1,8 cm, tal como 0,4 mm-1,7 cm, por ejemplo 0,5 mm-1,6 cm, tal como 0,6 mm-1,5 cm, tal como 0,7 mm-1,4 cm, por ejemplo 0,8 mm-1,3 cm, tal como 0,9 mm-1,2 cm, por ejemplo 1,0 cm-1,1 cm. Sin embargo, en ciertos casos un límite superior de la extensión física, en cualquier dirección, del punto puede ser 3 cm-10 cm, tal como 4 cm-9 cm, por ejemplo 5 cm-8 cm, tal como 6 cm-7 cm.

25 Tal modo de realización presenta la ventaja de que será posible que el dispositivo de captura de imágenes identifique la posición del marcador con un grado muy elevado de precisión. El marcado puntual se puede proporcionar mediante un abanico de diferentes diseños. Un diseño preferido de un marcado puntual se forma mediante dos elementos de forma triangular que se oponen entre sí de tal modo que los dos elementos apuntan al mismo punto específico. Preferiblemente, tal modo de realización se diseña proporcionando dos conjuntos de elementos de forma triangular opuestos entre sí en parejas de tal modo que los cuatro elementos de los dos conjuntos de elementos en forma triangular apunten al mismo punto específico. Los elementos en forma triangular pueden ser triángulos o pueden ser sectores de círculo. En tales modos de realización, el punto se define mediante las puntas de los elementos de forma triangular. Tal diseño de marcado puntual se muestra como elemento 11 en las figs. 3, 4, 5, 6 y 7. Otros diseños pueden comprender una mira o un patrón adecuado que define un punto específico que puede ser reconocido por el dispositivo de captura de imágenes. Se pueden contemplar igualmente otros diseños.

30 En otro modo de realización, los marcadores 11 se podrían formar integralmente con la pala 5, por ejemplo como marcadores 11 coloreados incorporados en la superficie de la pala durante la fabricación de la pala 5 o como protuberancias o depresiones en la superficie de la pala.

40 Un dispositivo de captura de imágenes 12 necesita ser alimentado y la información registrada y/o recogida necesita ser transmitida a una unidad de cálculo 22 o al sistema de control que controla el funcionamiento de la turbina eólica 1. Sin embargo, como norma los conductores eléctricos son indeseables en las palas 5 debido a que pueden atraer relámpagos y en este modo de realización de la invención el dispositivo de captura de imágenes 12 se conecta al buje 6 del rotor 4.

45 Además, un dispositivo de captura de imágenes 12 situado en o en el buje 6 es mucho más fácilmente accesible que un dispositivo de captura de imágenes 12 situado en o sobre la pala 5, y todavía más el buje 6 es más rígido e inflexible que la pala 5, lo que hace que la información registrada por un dispositivo de captura de imágenes 12 conectado al buje 6 sea más precisa y fiable.

Sin embargo, en este modo de realización de la invención, la pala 5 comprende un mecanismo de cabeceo para ajustar el ángulo de cabeceo de la pala 5 y por tanto es ventajoso que el dispositivo de captura de imágenes 12 se conecte rígidamente a la pala 5, preferiblemente a la raíz 10 de la pala 5, para hacer que el dispositivo de captura de imágenes 12 gire con la pala 5 y los marcadores 11 cuando se ajusta el ángulo de cabeceo de la pala 5.

50 Colocar el dispositivo de captura de imágenes 12 en la raíz 10 de la pala 5 es ventajoso porque así es posible monitorizar sustancialmente toda la pala 5 con tan solo un dispositivo de captura de imágenes 12 y porque debido a los relámpagos

es desventajoso colocar dispositivos conductores de relámpagos por fuera de la pala 5.

5 En este modo de realización de la invención, el dispositivo de captura de imágenes 12 es una cámara digital con un dispositivo de acoplamiento de carga (conocido generalmente como CCD) que comprende matrices de sensores luminosos fotoeléctricos, pero en otro modo de realización del dispositivo de captura de imágenes 12 podría ser otro tipo de sensor luminoso bidimensional, podría ser un sensor luminoso unidimensional, un sensor de pixel activo (APS), un sensor de Bayer u otro tipo de sensores ópticos adecuados para registrar marcadores 11 en o sobre una pala de turbina eólica 5.

10 En este modo de realización, el dispositivo de captura de imágenes 12 está provisto de medios de enfoque ópticos 26 en forma de una lente que enfoca la luz antes de que golpee el CCD y el dispositivo de captura de imágenes 12 comprende un filtro óptico que garantiza que, por ejemplo, la luz natural que entra en la pala u otros no reduce la capacidad de las cámaras 12 de detectar la posición de los marcadores 11.

En este modo de realización, la pala 5 está provista además de un dispositivo emisor de luz 21 para iluminar el interior de la pala 5 o por lo menos las áreas de la pala 5 provistas de los marcadores 11, permitiendo así que los marcadores 11 pasivos puedan ser identificados por la cámara 12.

15 En este caso, el dispositivo emisor de luz 21 es un proyector aunque en otro modo de realización el dispositivo emisor de luz 21 podría ser algún tipo de lámpara comprendiendo una lámpara incandescente, un láser, un diodo emisor de luz (LED) o cualquier otra fuente de generación de luz capaz de generar luz de una intensidad y longitud de onda que se pueda utilizar para iluminar los marcadores 11 de modo que su posición pueda ser detectada por el dispositivo de captura de imágenes 12.

20 En este modo de realización, la luz emitida por el dispositivo emisor de luz 21 es luz visible, aunque en otro modo de realización la luz podría ser invisible tal como luz infrarroja o luz ultravioleta.

25 En este modo de realización de la invención, el buje 6 está provisto de una unidad de cálculo 22 capaz de establecer valores de deformación de la pala basándose en la salida de dicho dispositivo de captura de imágenes 12. En otro modo de realización, la unidad de cálculo 22 podría estar integrada en la cámara o la unidad de cálculo 22 se podría situar en otro sitio en el buje 6, en la pala 5, en la góndola 3 o en otro sitio o en la turbina eólica 1 o la unidad de cálculo 22 se podría integrar en el sistema de control general de la turbina eólica.

La unidad de cálculo 22 se podría comunicar de modo inalámbrico con el sistema de control general de la turbina eólica.

30 La unidad de cálculo 22 podría comprender medios para analizar imágenes, por ejemplo mediante la comparación de la posición registrada de los marcadores 11 con posiciones de referencia, mediante la definición de las posiciones registradas de los marcadores 11 por medio de coordenadas y comparando estas coordenadas con valores en una tabla de referencia u otros y estableciendo así valores de deformación de la pala basándose en los cuales se podría llevar a cabo el funcionamiento de la turbina eólica 1, por ejemplo ajustando el ángulo de cabeceo de la pala 5 individual o de todas las palas simultáneamente, ajustando la velocidad de giro del rotor 4, ajustando parámetros de control de la turbina y ajustes para optimizar la captura de energía por el rotor y al mismo tiempo minimizar cargas en los componentes la turbina, por ejemplo por medio de algún tipo de mecanismo de alivio activo de la carga que se podría implementar sobre o en las palas 5, los generadores 17, los convertidores 18, la torre 2 u otros, y/o simplemente enviando una alarma si el valor de deformación 64 se encuentra fuera de un intervalo predeterminado o si hay un riesgo inminente de que las palas 5 se deformen demasiado, de que las palas golpeen la torre 2 u otros.

40 En este modo de realización de la invención, el dispositivo emisor de luz 21 está activo sustancialmente todo el tiempo, es decir, cuando la turbina eólica 1 está funcionando pero asimismo cuando la turbina eólica está inactiva, aunque en otro modo de realización del dispositivo emisor de luz 21 podría estar activo tan solo durante periodos de tiempo muy cortos cuando el dispositivo de captura de imágenes 12 está registrando la posición de los marcadores 11, ahorrando así energía y aumentando la vida del dispositivo emisor de luz 2.

45 En este modo de realización de la invención, el dispositivo de captura de imágenes 12 registra la posición de los marcadores 11 una vez al minuto, sin embargo la frecuencia de muestreo podría ser tanto mayor como menor, o podría depender de resultados anteriores, o de la entrada de otros sensores o de otros. Por ejemplo, si una primera y una segunda muestra indicaran un curvado en direcciones opuestas se podría implicar que la pala 5 estaba oscilando y la frecuencia de muestreo podría aumentarse para confirmar esto.

50 En otro modo de realización de la invención, se podrían recoger muestras en serie, por ejemplo haciendo que el dispositivo de captura de imágenes 12 registre la posición de los marcadores 11 a una frecuencia tal como entre 5 y 50 Hz a lo largo de un periodo de, por ejemplo, dos segundos cada cinco minutos, por lo que es posible deducir

conclusivamente si, y cuánto, se curva, retuerce y oscila la pala 5.

5 En otro modo de realización de la invención, se podrían recoger igualmente muestras en intervalos preestablecidos y a continuación, si se dieran condiciones específicas, la velocidad de muestreo se podría variar consecuentemente. Este podría ser el caso, por ejemplo, si se encontraran presentes temperaturas ambientales específicas, velocidades del viento, ángulos de cabeceo de las palas u otros, o la velocidad de muestreo se podría variar si otros sensores sobre o en el rotor 4 o la turbina eólica 1 registraran condiciones que podrían dar lugar a una alarma, tales como acelerómetros en la góndola 3 o la torre 2 que detectan vibraciones que podrían originarse de oscilaciones de las palas 5, sensores de proximidad u otros que detectan que las palas 5 se encuentran peligrosamente cerca de la torre 2, u otros.

10 Se debe apreciar asimismo que por lo menos para algunos tipos de pala 5, el curvado y la torsión de la pala están habitualmente acoplados hasta cierto punto, esto es, al curvarse, la pala 5 siempre se retorcerá hasta cierto punto, lo que se amplifica adicionalmente por la carga aerodinámica.

La fig. 4 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica 5 que comprende un número de marcadores 11, vista desde la raíz 10 de la pala 5.

15 En este modo de realización de la invención, algunos de los marcadores 11 solo se desplazan en la dirección de cuerda C, y algunos marcadores 11 se desplazan tanto en la dirección de cuerda C como en la dirección perpendicular a la dirección de cuerda C.

20 En este modo de realización, la estructura de la pala comprende la vaina 24 de la pala y elementos de refuerzo internos 23, que en este caso es una banda transversal pero que podrían ser igualmente un larguero u otros tipos de medios de rigidez conectados a, o integrados en, la pala 5. En este modo de realización, algunos de los marcadores 11 están conectados a las vainas 24 de las palas y algunos están conectados a los elementos de refuerzo 23 en la pala 5, pero en otro modo de realización todos los marcadores 11 podrían estar conectados a la vaina 24 de la pala, a los elementos de refuerzo 23, a otras partes de la estructura de la pala 20 o a cualquier combinación de los mismos.

25 En este modo de realización, la forma de los marcadores 11 difiere de acuerdo con su posición en la pala 5. El tamaño de los marcadores 11 aumenta con la distancia desde la raíz 10 de la pala 5, por ejemplo para garantizar la adecuada detección de todos los marcadores 11. Además, los marcadores 11 situados en el elemento de refuerzo 23 se extienden más allá desde la superficie sobre la cual están colocados que los marcadores 11 colocados en la vaina 24 de la pala, ya que el elemento de refuerzo 23 es de forma más recta en la dirección longitudinal de la pala 5 en comparación con las vainas 24 de la pala más ahusadas.

30 La fig. 5 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica 5 que comprende dos dispositivos de captura de imágenes 12, vista desde el borde de salida 8 de la pala 5.

Las palas 5 de turbinas eólicas modernas grandes pueden, en ciertos casos, flexionarse tanto que un dispositivo de captura de imágenes 12 colocado en el buje 6 del rotor 4 no será capaz de ver un marcador 11 situado en el extremo de punta de la pala 5.

35 En este modo de realización de la invención, el sistema comprende por lo tanto dos dispositivos de captura de imágenes 12 en forma de una cámara situada aproximadamente a medio camino hacia fuera de la pala 5 y una cámara situada en el buje 6. El dispositivo de captura de imágenes 12 situado en la pala 5 está provisto además de un marcador 11 de modo que el dispositivo de captura de imágenes 12 situado en el buje 6 pueda registrar la posición del dispositivo de captura de imágenes 12 situado en la pala. La posición de los marcadores 11 situados en el extremo de punta de la pala 5 en relación al buje 6 se puede deducir entonces de la información procedente de ambos dispositivos de captura de imágenes 12.

40 En otro modo de realización de la invención, la pala 5 y/o el buje 6 podrían estar provistos con otro número de dispositivos de captura de imágenes 12 tales como tres, cuatro, cinco o más.

45 En este modo de realización de la invención, los marcadores están mutuamente desplazados tanto en la dirección de cuerda C como en la dirección longitudinal L de la pala 5. Realmente, los marcadores 11 se sitúan en parejas a lo largo de la longitud L longitudinal de la pala 5 y cada pareja de marcadores 11 se sitúa lo más periféricamente posible, es decir, tan cerca del borde de ataque 7 y del borde de salida 8, respectivamente, como sea posible. Este posicionamiento periférico de las parejas de marcadores 11 garantiza que la torsión de la pala 5 se puede detectar de modo relativamente preciso.

50 En otro modo de realización los marcadores 11 se podrían desplazar de modo diferente, por ejemplo en la dirección perpendicular a la dirección de cuerda C, algunos marcadores se podrían desplazar en la dirección de cuerda C y algunos marcadores se podrían desplazar en la dirección perpendicular a la dirección de cuerda C, y la pala podría comprender

marcadores 11 situados tanto individualmente como en parejas.

En este modo de realización de la invención, la pala 5 tiene 44 m de longitud y un dispositivo de captura de imágenes 12 y por lo menos uno de los marcadores 11 están separados por al menos 5 m, es decir, el dispositivo de captura de imágenes 12 y el marcador 11 están separados por un 10% de la longitud total longitudinal L de la pala 5.

5 La fig. 6 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica 5 que comprende medios de reflexión de luz 28, vista desde el borde de salida 8 de la pala 5.

Si la pala 5 está provista de marcadores 11 que no pueden ser vistos en todo momento por un dispositivo de captura de imágenes 12 situado en o en el buje 6, la pala 5 podría estar provista además de medios de reflexión de luz 28 entre el dispositivo de captura de imágenes 12 y los marcadores 11. Los medios de reflexión de luz 28 permiten que los marcadores 11 situados en los extremos se puedan reflejar hacia el dispositivo de captura de imágenes 12 situado en o en el buje 6 mediante su reflexión en los medios de reflexión de luz 28, y basándose en la información acerca de la posición de otros marcadores 11 situados cerca de los medios de reflexión de luz 28, se puede deducir el ángulo de los medios de reflexión de luz 28 y por lo tanto se puede deducir la posición de los marcadores 11 situados en los extremos.

15 La fig. 7 ilustra una pala de turbina eólica 5 que comprende una cámara externa 12, vista desde el lado de succión 13 de la pala 5.

En este modo de realización de la invención, el dispositivo de captura de imágenes 12 se sitúa en la superficie exterior de la parte de raíz 10 de la pala 5. El dispositivo de captura de imágenes 12 y los marcadores 11 están todos situados en el mismo lado de la pala 5, que en este modo de realización es el lado de succión 13 de la pala 5.

20 En este modo de realización de la invención, los marcadores 11 se sitúan solo sobre la pala 5 a los efectos de ser detectados por el dispositivo de captura de imágenes 12 para establecer la forma de la pala 5, aunque en otro modo de realización los marcadores 11 podrían ser dispositivos funcionales, por ejemplo para alterar las propiedades aerodinámicas de la pala tales como generadores de vórtice, bandas de pérdida o una aleta, o podría ser cualquier otro dispositivo integrado en o fijado a la pala 5 para propósitos distintos a ser detectado por el dispositivo de captura de imágenes 12.

25 La ventaja principal de montar el dispositivo de captura de imágenes 12 y los marcadores 11 en el exterior de la pala 5 es que especialmente los marcadores 11 están más accesibles y fáciles de mantener en caso de daños o mal funcionamiento. Además, un sistema dispuesto externamente sobre la pala 5 puede ser reajustado en turbinas eólicas 1 excitadas y especialmente en la posición de la punta de la pala 5 se puede monitorizar fácilmente en comparación con sistema dispuesto internamente en la pala 5.

30 La fig. 8 ilustra una turbina eólica 1 que comprende una cámara externa 12, vista desde el lado.

Igualmente en este modo de realización de la invención, el dispositivo de captura de imágenes 12 y los marcadores 11 están todos situados en el lado de succión 13 de la pala 5. Cuando el viento de entrada (ilustrado por las flechas delante del rotor 4) golpea la pala 5, la pala se puede curvar hacia atrás y una cámara 12 situada en el lado de succión 13 de la pala 5 verá por lo tanto que la distancia entre los marcadores 11 aumenta. Igualmente, la torsión de la pala 5 se puede detectar a partir del cambio relativo de posición de los marcadores 11.

35 Situar el dispositivo de captura de imágenes 12 en la pala 5 cerca de la raíz 10 es ventajoso porque, por ejemplo, si la pala 5 comprende un mecanismo de cabeceo (tal como una turbina eólica 1 controlada por cabeceo o una turbina eólica 1 controlada por pérdida activa) que permite que la pala 5 se pueda girar alrededor de su eje longitudinal para optimizar el ángulo de ataque de las palas frente al viento de entrada u otros, el dispositivo de captura de imágenes 12 mantendrá sustancialmente su posición en relación a los marcadores 11, aumentando así la precisión del sistema.

40 Sin embargo, en otro modo de realización de la invención, el dispositivo de captura de imágenes 12 se podría situar en el exterior del buje 6, por ejemplo donde la turbina eólica 1 fuera una turbina eólica 1 controlada por pérdida que no comprende medios para cabecear las palas 5.

45 En un modo de realización adicional de la invención, el dispositivo de captura de imágenes 12 se podría colocar igualmente en otro sitio sobre o cerca de la turbina eólica 1, tal como sobre la góndola 3, sobre la torre 2, o sobre el suelo o sobre un soporte o un poste delante, al lado o detrás de la turbina eólica o sobre una turbina eólica 1 vecina. El dispositivo de captura de imágenes 12 podría registrar entonces la posición de los marcadores 11 cuando la pala 5 esté en una posición angular específica y comparar la información con registros anteriores o con posiciones de referencia, por ejemplo teniendo en consideración cualquier cambio en el ángulo de cabeceo de la pala, cualquier cambio en el ángulo de guiñada u otros.

50

5 Un sistema en el que el dispositivo de captura de imágenes 12 no esté montado en el rotor 4 y por lo tanto no gire junto con los marcadores 11 no sería capaz de detectar adecuadamente el curvado y torsión de la pala 5 de modo tan preciso como sistemas en los que el dispositivo de captura de imágenes 12 está montado en o sobre la pala 5 o en o sobre el buje 6, pero si fuera aceptable una precisión reducida, el dispositivo de captura de imágenes 12 podría estar accesible mucho más fácilmente y podría ser más fácil de reajustar el sistema en turbinas eólicas 1 existentes.

10 En este modo de realización, la turbina eólica 1 está provista además de un dispositivo emisor de luz 21 en forma de una luz puntual situada en la parte superior de la góndola 3. El dispositivo emisor de luz 21 iluminaría entonces la pala 5 cuando la punta 9 de la pala 5 esté apuntando hacia arriba. La turbina eólica 1 podría estar provista además con otro dispositivo emisor de luz 21, situado por ejemplo sobre la cara inferior de la góndola, sobre la torre o sobre el terreno circundante a la turbina eólica para iluminar la pala 5 en diferentes posiciones angulares.

15 La invención se ha ejemplificado anteriormente con referencia a ejemplos específicos de palas de turbina eólica 5, marcadores 11, dispositivos de captura de imágenes 12 y otros. Sin embargo, se debe entender que la invención no se limita a los ejemplos particulares descritos anteriormente sino que se puede diseñar y alterar de múltiples formas dentro del ámbito de la invención como se especifica las reivindicaciones.

15 **Listado**

1. Turbina eólica
2. Torre
3. Góndola
4. Rotor
- 20 5. Pala
6. Buje
7. Borde de ataque
8. Borde de salida
9. Punta
- 25 10. Raíz
11. Marcador
12. Dispositivo de captura de imágenes
13. Lado de succión
14. Lado de presión
- 30 15. Caja de engranajes
16. Sistema de frenado
17. Generador
18. Convertidor
19. Estructura de góndola
- 35 20. Estructura de pala
21. Dispositivo emisor de luz
22. Unidad de cálculo
23. Elemento de refuerzo
24. Vaina de pala

- 25. Cojinete de cabeceo
 - 26. Medios de enfoque ópticos
 - 27. Filtro óptico
 - 28. Medios de reflexión de luz
- 5 L Longitud longitudinal de la pala
- C Cuerda

REIVINDICACIONES

1. Un rotor de turbina eólica (4), que comprende un buje (6),
5 por lo menos una pala de turbina eólica (5), en la que dicha al menos una pala de turbina eólica (5) está montada en dicho buje (6), y
al menos un dispositivo de captura de imágenes (12),
caracterizado por que dos o más marcadores (11) se disponen en dicha pala (5) de modo que dicho al menos un dispositivo de captura de imágenes (12) puede detectar la posición de dichos marcadores (11), y
10 dicho al menos un dispositivo de captura de imágenes (12) se conecta al buje (6) o se conecta rígidamente a dicha pala (5).
2. Un rotor de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que uno o más de dichos uno o más marcadores define cada uno un marcado puntual.
3. Un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos uno de dichos dos o más marcadores se disponen sobre una superficie interior de dicha pala y/o en el que al menos uno de dichos uno o más marcadores se disponen sobre una superficie exterior de dicha pala.
15
4. Un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dos o más marcadores están mutuamente desplazados en una dirección longitudinal de dicha pala y/o en el que dos o más marcadores están mutuamente desplazados en una dirección de cuerda de dicha pala y/o en una dirección perpendicular a dicha dirección de cuerda de dicha pala.
- 20 5. Un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que un primer marcador de dichos dos o más marcadores comprende un primer color y un segundo marcador de dichos dos o más marcadores comprende un segundo color en el que dicho primer color es diferente de dicho segundo color.
- 25 6. Un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que un primer marcador de dichos dos o más marcadores se forman en una primera forma y un segundo marcador de dichos dos o más marcadores se forman en una segunda forma y en el que dicha primera forma es diferente de dicha segunda forma.
7. Un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho al menos un dispositivo de captura de imágenes comprende un dispositivo de acoplamiento de carga (CCD).
- 30 8. Un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho rotor comprende además medios de reflexión de luz dispuestos entre dicho dispositivo de captura de imágenes y al menos uno de dichos marcadores.
9. Un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho rotor de turbina eólica comprende además un dispositivo de iluminación para iluminar al menos uno de dichos marcadores, y opcionalmente en el que una parte principal de la luz emitida desde dicho dispositivo de iluminación no es visible, tal como luz cercana al infrarrojo o ultravioleta.
35
10. Un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho rotor de la turbina eólica comprende además una unidad de cálculo para establecer valores de deformación de la pala basándose en una salida de dicho dispositivo de captura de imágenes.
- 40 11. Un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho dispositivo de captura de imágenes y al menos uno de dichos dos o más marcadores están separados por al menos un 10% de una longitud total longitudinal de dicha pala.
12. Un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho dispositivo de captura de imágenes registra una posición de dichos marcadores con una frecuencia que permite poder detectar oscilaciones de borde y/u oscilaciones de ala de dicha pala.
- 45 13. Una turbina eólica que comprende un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

14. Una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 13, en la que dicha turbina eólica comprende medios de control para controlar un ángulo de cabeceo de dicha al menos una pala de turbina eólica en relación a dichos valores de deformación y/o en la que dicha turbina eólica comprende medios de control para controlar una velocidad de giro de dicho rotor de la turbina eólica en relación a dichos valores de deformación.

- 5 15. Uso de una turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13 o 14 en el que dicha turbina eólica es una turbina eólica controlada por cabeceo.

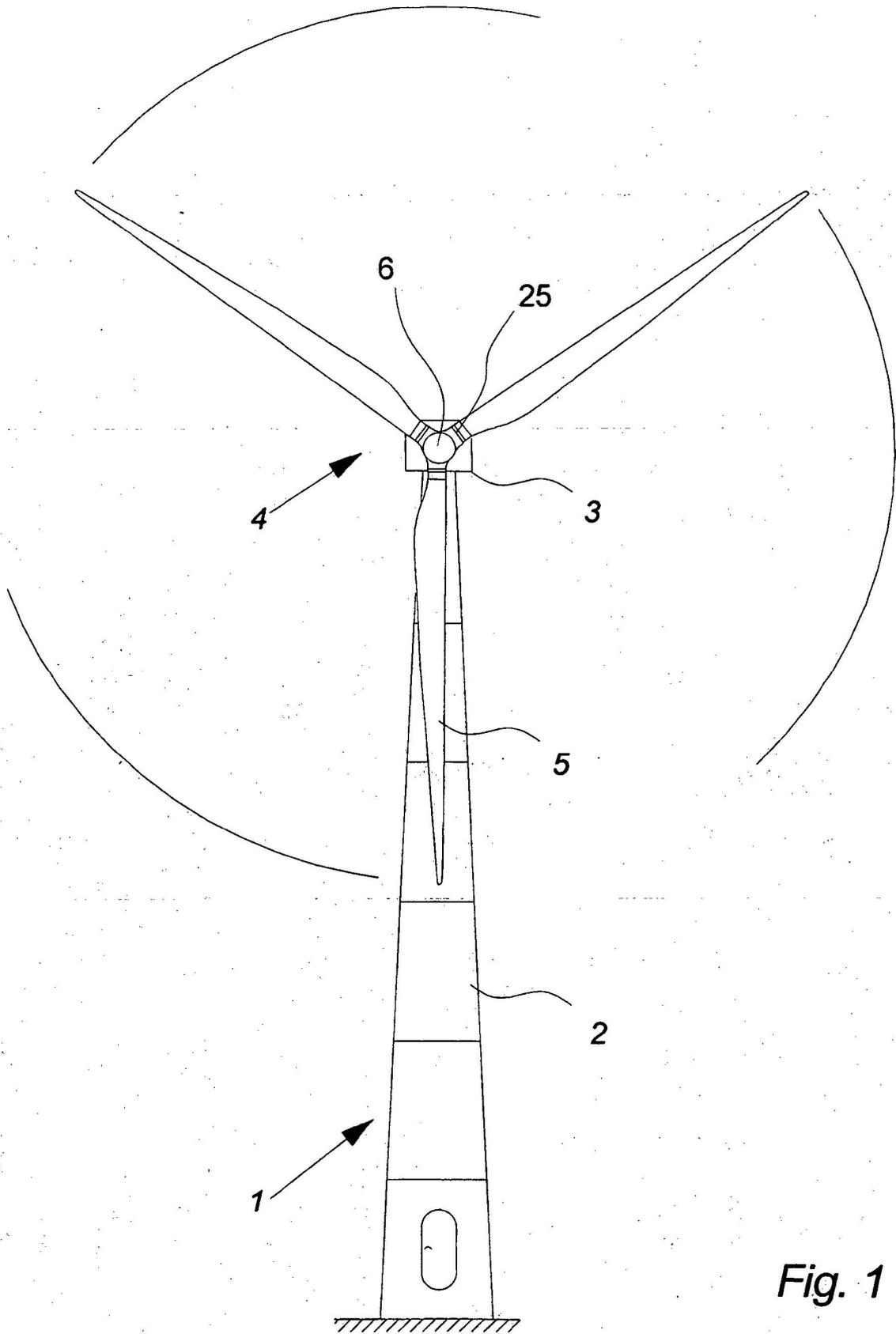


Fig. 1

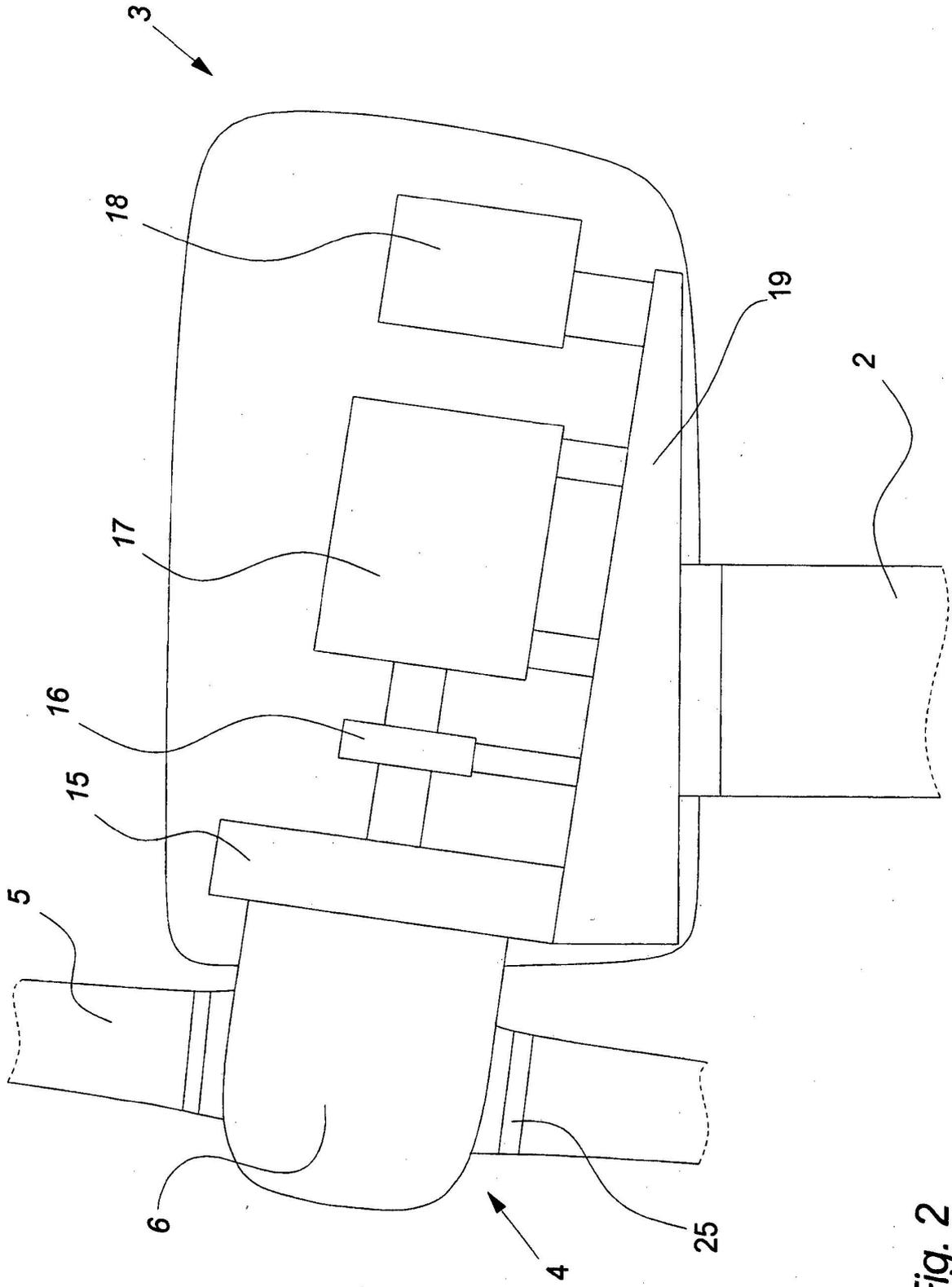


Fig. 2

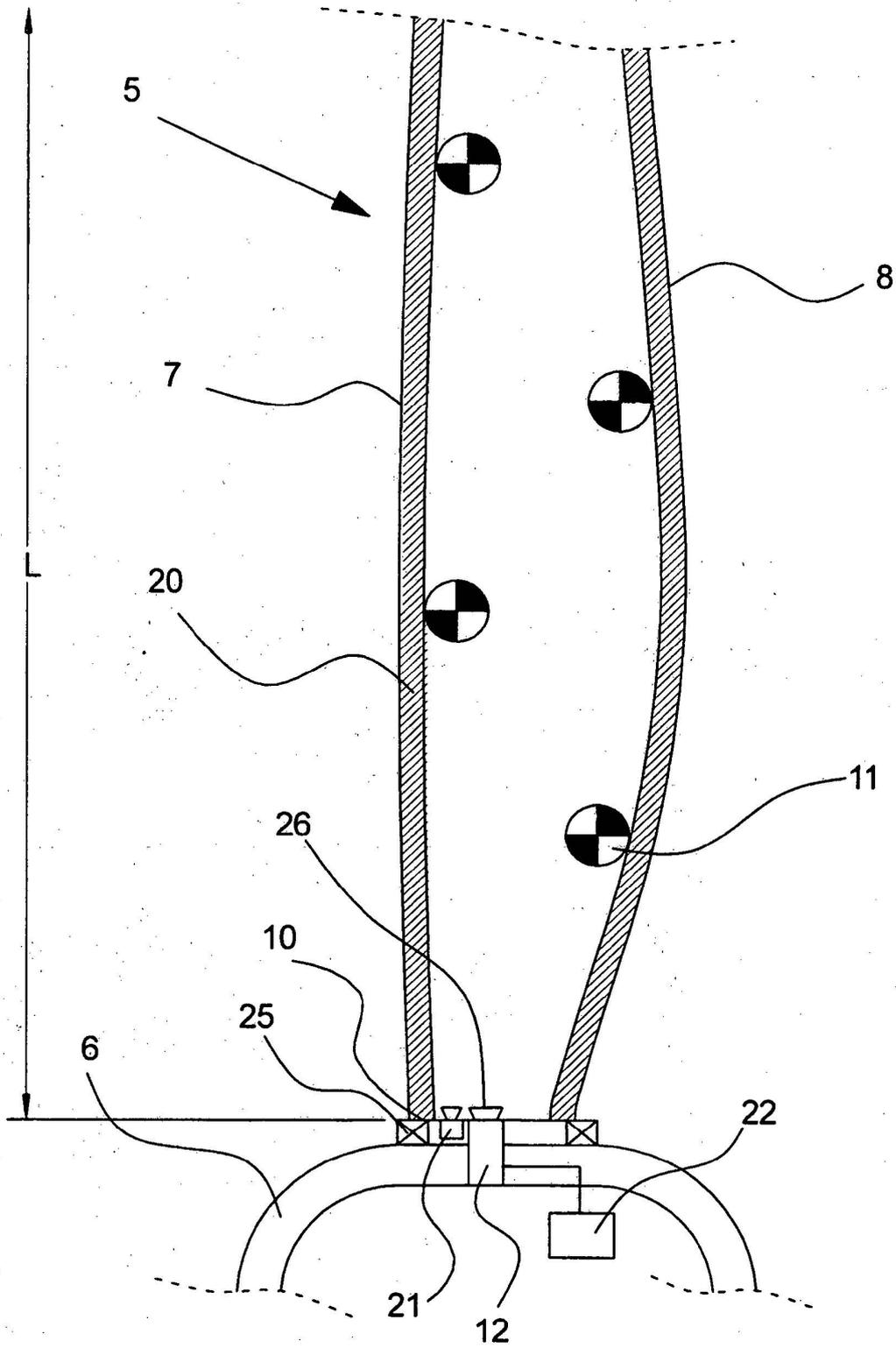


Fig. 3

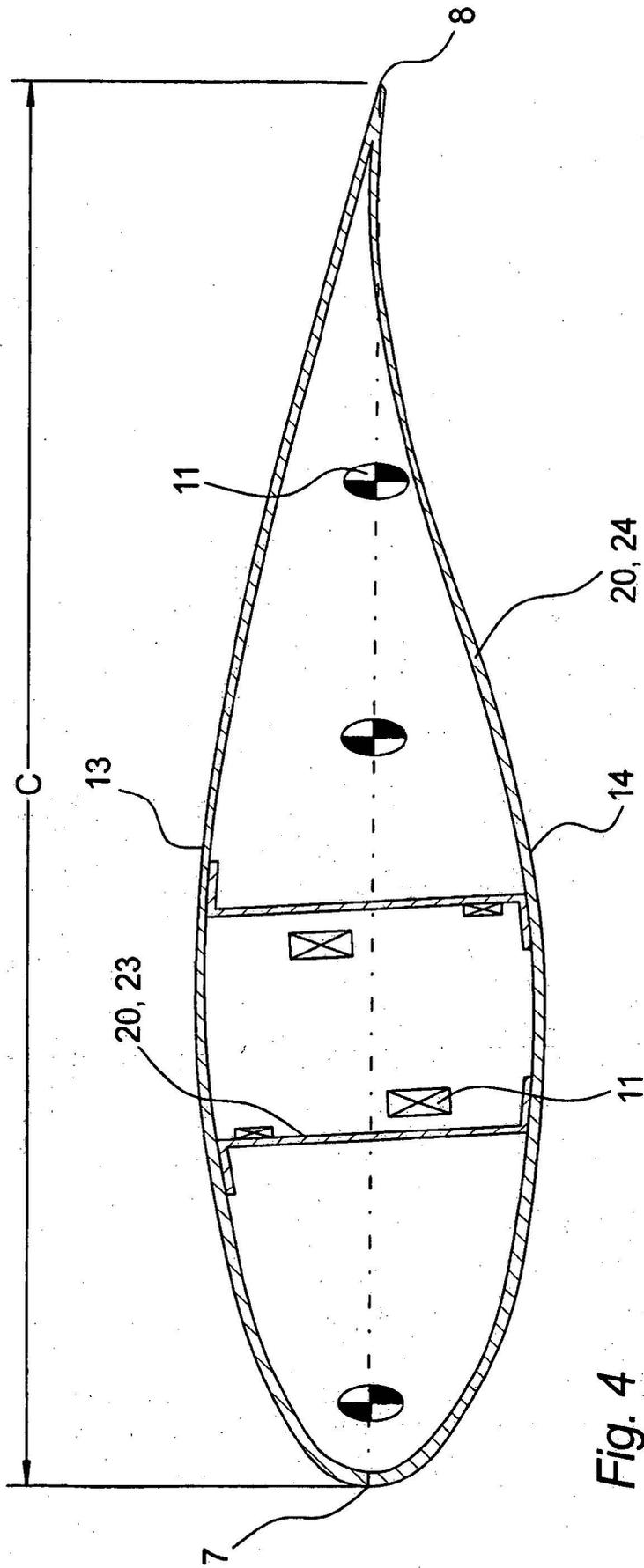


Fig. 4

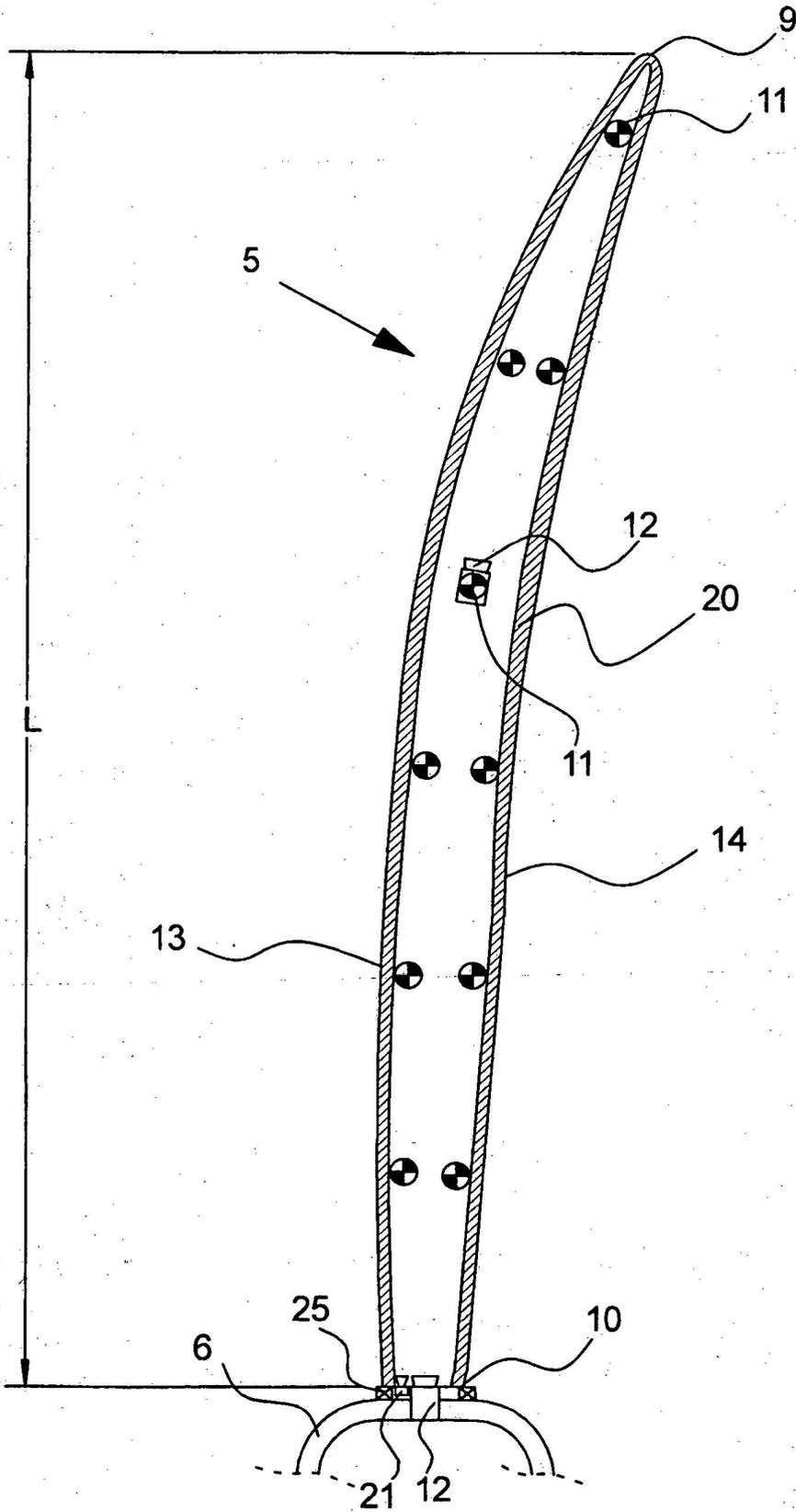


Fig. 5

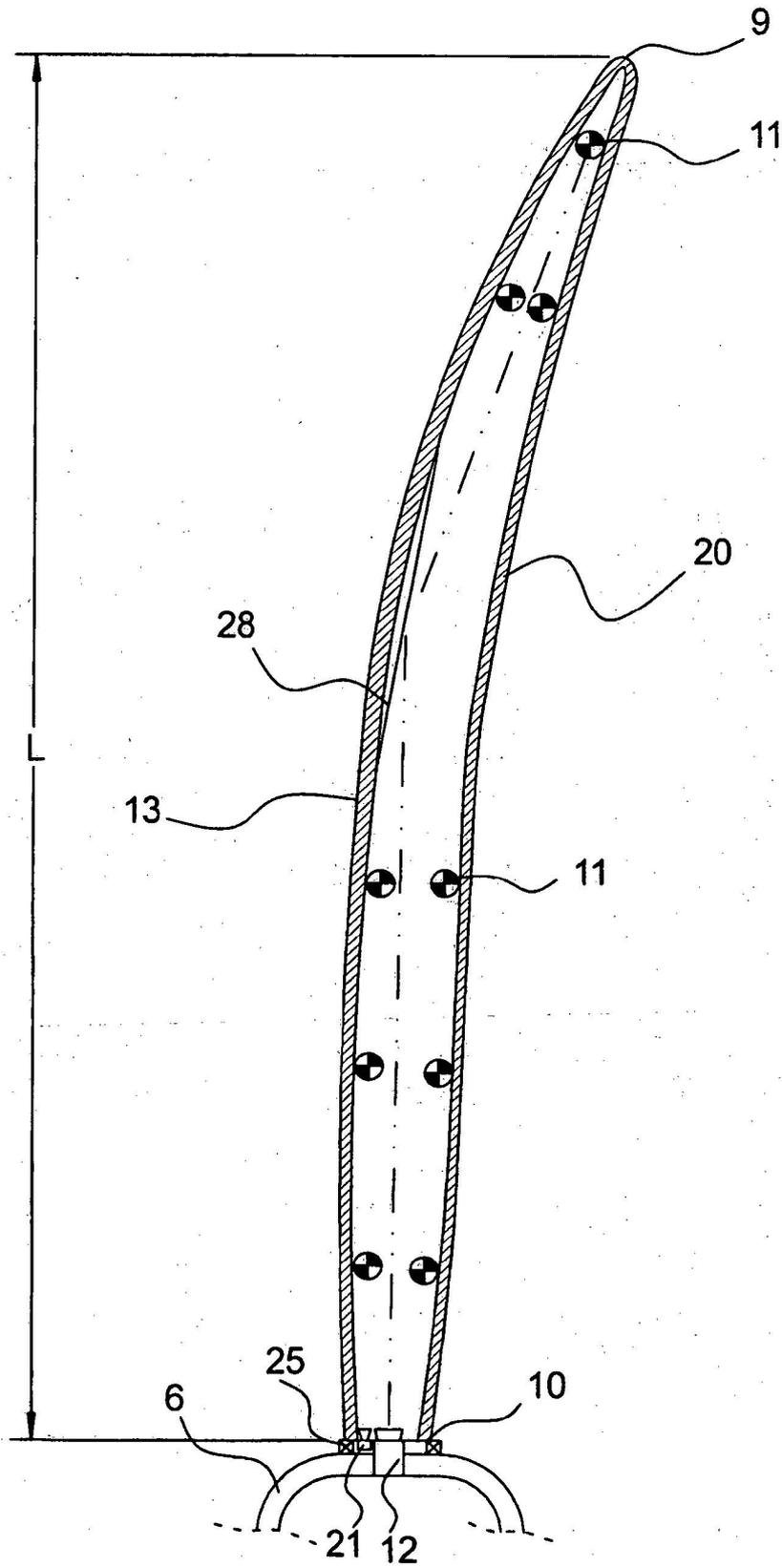


Fig. 6

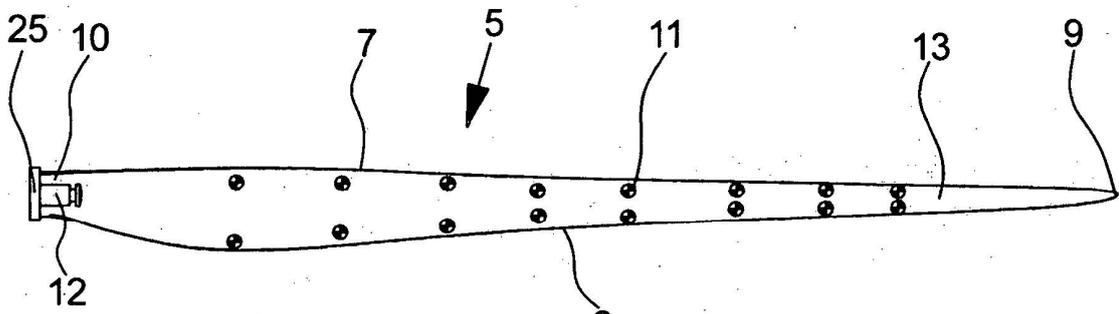


Fig. 7

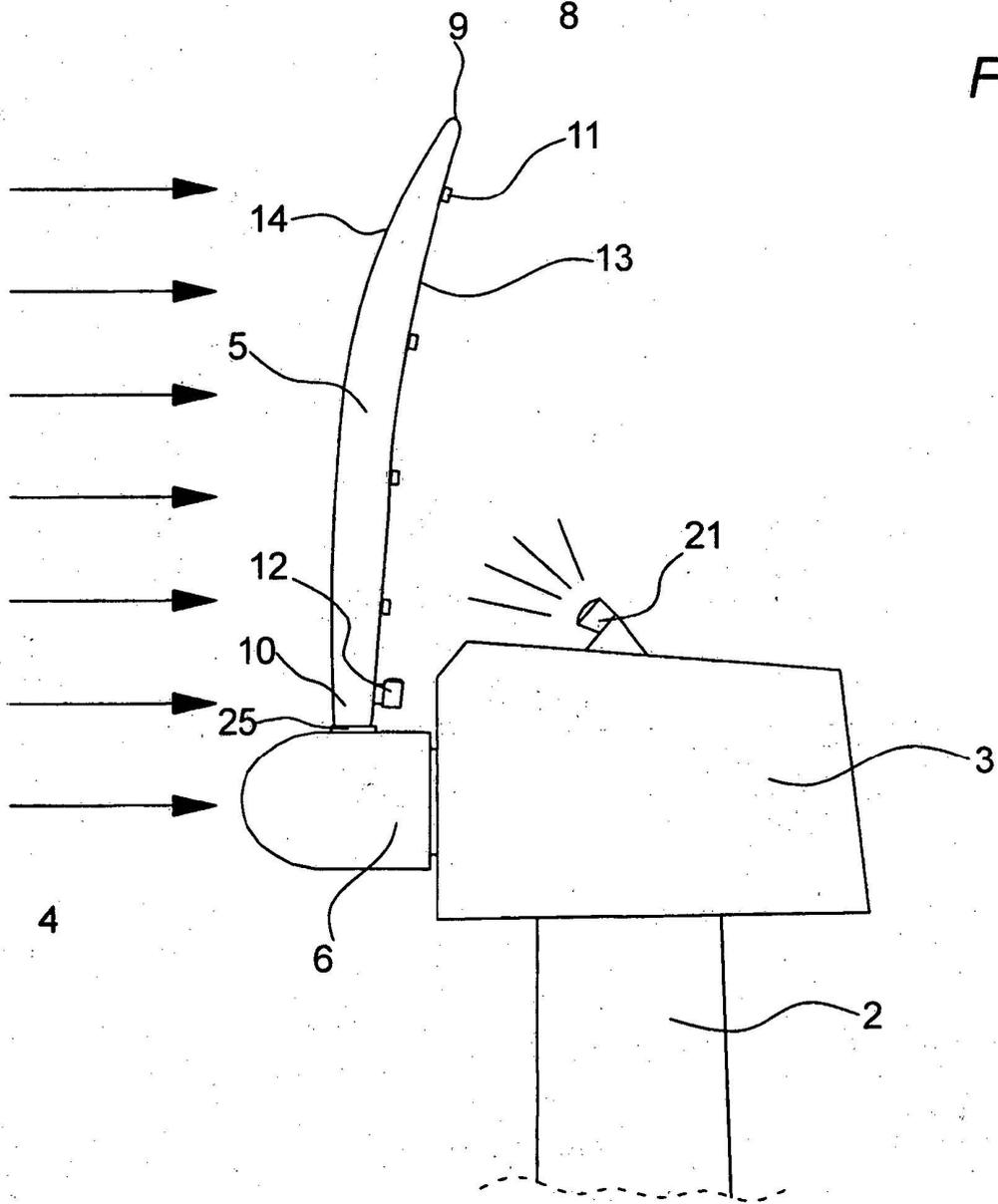


Fig. 8