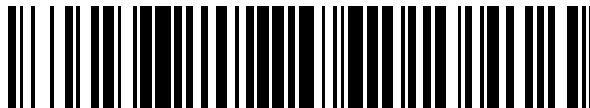


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 648 889**

51 Int. Cl.:

**G01B 11/16** (2006.01)

**F03D 17/00** (2006.01)

**G01M 5/00** (2006.01)

**G01S 17/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.11.2008 PCT/EP2008/065339**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2009 WO09068437**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2008 E 08853819 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.08.2017 EP 2215354**

54 Título: **Procedimiento y sistema para la medición de una desviación en un componente hueco de un aerogenerador respecto a una posición normal**

30 Prioridad:

**26.11.2007 DE 102007057178**  
**06.12.2007 DE 102007059165**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**08.01.2018**

73 Titular/es:

**WINDCOMP GMBH (100.0%)**  
**Rappstrasse 20**  
**20146 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**LUCKS, CHRISTOPH**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 2 648 889 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

Procedimiento y sistema para la medición de una desviación en un componente hueco de un aerogenerador respecto a una posición normal

5 **Ámbito técnico**  
La invención se refiere a un procedimiento así como a un sistema para la medición de una desviación de un componente hueco esencialmente alargado de un aerogenerador respecto a una posición normal.

10 Los componentes huecos, en el sentido de esta invención, son aquellos componentes de los aerogeneradores que son huecos en su interior y al mismo tiempo esencialmente alargados. Dichos componentes huecos son más concretamente los álabes del rotor y la torre o tramos de la torre, siempre que estos últimos, como es habitual actualmente, se diseñen huecos. Sin embargo, la carcasa de la maquinaria (la góndola) y las piezas portantes de la góndola también pueden considerarse componentes huecos en el sentido de esta invención. Su desviación también se puede medir con el procedimiento según la misma.

**Estado de la técnica**

20 La mayoría de los álabes del rotor de los aerogeneradores están fabricados en material plástico reforzado con fibras. Una característica del diseño de los componentes estructurales de plástico reforzado con fibras son las diferentes distribuciones y orientaciones de las fibras en cada zona del cuerpo de los álabes. También se pueden mezclar fibras distintas, como fibras de vidrio y de carbono, y compactarlas en una estructura maciza o en láminas. Así los álabes del rotor de los aerogeneradores presentan una estructura compleja y asimétrica.

25 El cometido de un rotor es transformar la energía cinética de la masa de aire en movimiento en un momento de giro útil. Esto debe suceder de forma segura durante el periodo previsto para el que se ha diseñado el aerogenerador, generalmente de 20 años, y todo, por ejemplo, sin contacto con la torre.

30 Durante su funcionamiento la estructura del álabe soporta la carga dinámica de su propio peso y del viento, el revestimiento exterior está expuesto a la intemperie y las láminas pueden absorber la humedad.

35 Generalmente, los álabes del rotor están diseñados de tal modo que pueden soportar con seguridad todas las cargas de trabajo y las cargas máximas de una ráfaga de viento fuerte durante un periodo previsto de 20 años. En el caso de que el laminado se altere a causa del efecto continuo de las cargas y que por ello todas las propiedades de los materiales estén supeditadas a determinado periodo de duración, esto se deberá contemplar en el diseño de los álabes por medio de factores de seguridad. En otras palabras, los álabes del rotor se deben dimensionar de manera que sean capaces de soportar todas las cargas incluso una vez transcurridos los 20 años.

40 El límite de fatiga de los álabes del rotor y su resistencia a las cargas máximas se ven afectados, por un lado, por las cargas de trabajo reales (corrientes transversales, vibraciones en los cantos, el efecto de entrada en pérdida y similares) y, por otro, también por las condiciones generales de fabricación y los daños provocados por factores externos, como los rayos.

45 El desgaste real del álabe es la degradación paulatina de las propiedades de los materiales debido a su funcionamiento. Se sabe que la degradación de las propiedades de los materiales en el caso de los plásticos reforzados con fibras de vidrio se puede determinar en base a la pérdida de rigidez y de resistencia. Estas alteraciones negativas en las propiedades de los materiales se han comprobado con probetas en ensayos de laboratorio. También se sabe que los cambios en la rigidez van acompañados de un cambio en la frecuencia natural y de un cambio en las propiedades de flexión. El nivel de conocimientos actual no permite determinar de manera concluyente si los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio con probetas de prueba sencillas (con fibras en orientación unidireccional y estructura homogénea) son extrapolables a estructuras complejas como los álabes del rotor de los aerogeneradores.

50 La experiencia adquirida hasta ahora acerca del funcionamiento de los aerogeneradores, según la cual también se producen colisiones inesperadas entre álabes y torre, ha demostrado que un funcionamiento controlado del rotor contribuye a aumentar considerablemente la estabilidad y permite detectar fallos con antelación. Una colisión entre el rotor y la torre en funcionamiento produce graves daños, incluida, la pérdida completa del generador en su conjunto.

60 El documento DE 10 2006 002 709 aborda el problema de la supervisión metrológica de la flexión de un álabe del rotor debido a la presión de viento (desviación en una dirección, principalmente en perpendicular al plano del rotor). Aquí se integran puntos de referencia en el álabe del rotor, cerca del buje y en dirección hacia el extremo del álabe, que van unidos entre sí por medio de un sistema mecánico de cables. Cuando la presión del viento desvía el álabe del rotor se produce un cambio en la longitud de los cables a partir del cual se calcula la desviación real con ayuda de una unidad de evaluación. Así se puede evitar una desviación demasiado grande del álabe del rotor o, en el peor

de los casos, una colisión de este con la torre ante, por ejemplo, rachas fuertes de viento o ante el desgaste de los materiales por su envejecimiento.

Si bien la integración del sistema descrito en esta publicación en un álabe del rotor es laboriosa, su reequipación *a posteriori* es especialmente difícil. Además, a la hora de vigilar la desviación del álabe del rotor, está limitado siempre a la misma dirección, principalmente en perpendicular al plano del rotor. La otra desviación del álabe del rotor dentro del plano del mismo, que el álabe sufre debido a su propio peso en los puntos no perpendiculares, no se puede medir con este sistema. Sin embargo, dichas desviaciones proporcionan una valiosa información sobre los efectos del envejecimiento y los posibles desgastes de los materiales. Finalmente, debido a la inercia de la propia mecánica, el sistema mecánico presentado en esta publicación es lento a la hora de medir, de modo que generalmente no es capaz de calcular y determinar datos como los efectos de las vibraciones y similares con una precisión suficiente.

El documento DE 10 2006 002 708 A1 publica otro procedimiento para determinar la desviación de un álabe de un rotor en un aerogenerador. En él se proyecta un haz de luz láser sobre un prisma reflector. El haz de luz devuelto por el prisma es analizado con un detector en la posición de impacto del rayo de retorno. Las desviaciones en el álabe del rotor producen un desplazamiento de la posición del prisma. Este, a su vez, conlleva la reubicación del punto de impacto del haz de luz reflejado sobre el detector, que se encarga de medir ese cambio de posición y de transferirlo a una unidad de evaluación. Pese a que este dispositivo es más fácil de reequipar *a posteriori* que el descrito en el documento DE 10 2006 002 709 A1, para ello se necesitan componentes caros y sensibles. Aparte de un prisma de buena calidad óptica como elemento reflector, también se requiere un emisor láser y un detector, del tipo de una cámara lineal o similar, capaz de detectar la posición de medición de un haz de luz. Este tipo de detectores son costosos. Además, hay que equiparlos con una fuente de alimentación y con cables de datos. Comparativamente también son más delicados, por lo que representan una posible fuente de fallos.

El documento EP-A-0146829 da a conocer un procedimiento y un sistema que mide el desplazamiento lateral de un componente, como el brazo de un robot, que lleva instalado un sensor, para lo cual se utiliza un componente escalonado como sistema de referencia. No obstante, no facilita ninguna instrucción sobre cómo usar dicho sistema o procedimiento para la medición de un componente. Tampoco explica cómo realizar cálculos a partir de la posición de una desviación, como una deformación.

El documento JP 08 327400 A muestra el uso de un sistema de medición de distancias con una referencia escalonada para la construcción de un codificador rotatorio. Pero no proporciona ninguna indicación sobre el uso de un sistema de medición de distancias con referencia escalonada para determinar una deformación.

El documento US-A-5383368 enseña a utilizar un sistema de medición de la deflexión de un rayo láser sobre un PSD para determinar la deformación del brazo de un robot.

La torre de un aerogenerador también está expuesta a fuerzas que cargan el material, generalmente acero u hormigón armado. Dada la considerable altura que alcanzan los aerogeneradores modernos, de más de 100 m, también se producen desviaciones mensurables en la zona de las torres provocadas por la presión del viento que incide sobre el aerogenerador. En este caso también se debe supervisar el desgaste de los materiales y emitir una advertencia en el momento adecuado. Además, la medición de cualquier desviación emergente es de gran valor de cara al desarrollo de materiales y/o del diseño de estos componentes.

### Descripción de la invención

A continuación se describe la invención. El principal cometido de la invención es presentar un procedimiento y un sistema para la supervisión sencilla y fiable de la desviación en diferentes direcciones de un componente hueco de un aerogenerador respecto a su posición normal.

La reivindicación 1 describe el procedimiento para resolver este cometido. Las reivindicaciones dependientes 2 y 3 amplían este procedimiento. La reivindicación 4 define las características del sistema que da solución a este cometido. Las reivindicaciones dependientes 5 a 13 presentan otras ventajas del sistema.

Se describen las ideas en las que se fundamenta la invención y sus realizaciones. En el interior del componente hueco se pueden instalar al menos un conjunto formado por un sensor de distancia sin contacto que permita efectuar una medición dirigida de la distancia y su receptor de medición correspondiente. El sensor de distancia se dispone en una primera posición y el receptor de medición en una segunda posición en la que el sensor de distancia pueda leerlo. El funcionamiento consiste, esencialmente, en que el receptor de medición presenta una superficie receptora dispuesta siempre en una dirección vista transversalmente respecto a un plano de referencia perpendicular a la dirección de medición del sensor de distancia. Al desviarse el componente hueco respecto a una posición normal con un componente de dirección en la dirección de esta disposición transversal de la superficie receptora, el receptor de medición se desplaza en relación al sensor de distancia de tal manera que este último mide diferentes distancias respecto al receptor de medición o a la superficie receptora en función de la desviación en esta dirección. Así se puede vincular inequívocamente una distancia medida con un componente de las desviaciones en

esta dirección, en la que la superficie receptora está dispuesta transversalmente al plano de referencia. La disposición de una superficie en trasversal respecto al plano de referencia no solo incluye una disposición adecuadamente inclinada, sino también una disposición escalonada de manera discontinua, así como una con secciones de superficie distribuidas a diferentes distancias pero paralelas al plano de referencia.

5 El sistema es sencillo y robusto, fácil de reequipar *a posteriori* (mediante la colocación del receptor de medición y la instalación del sensor) y requiere poco trabajo de mantenimiento.

10 Según la invención el sensor de distancia va conectado a una unidad de evaluación que analiza la desviación en base a las distancias medidas. A este respecto, es importante que el sensor de distancia proporcione una medición esencialmente precisa de la distancia, como la que pueden hacer, por ejemplo, con sensores de distancia láser (c.f. con reivindicación 10). En principio se pueden prever otros tipos de sensores de distancia sin contacto, siempre y cuando estos sean capaces de realizar mediciones dirigidas y esencialmente precisas de la misma. En este caso se podría optar, por ejemplo, por sensores ultrasónicos dirigidos. Si se mide con un rayo de medición (ultrasonido, radar, láser o similar), no es particularmente imprescindible que este se refleje de lleno. Siempre que el ángulo de ataque no sea demasiado plano se reflejará una parte suficiente del rayo de medición, incluso aunque la superficie de impacto esté inclinada sobre el receptor de medición, lo que basta para poder determinar la distancia.

20 A fin de medir una desviación del componente hueco de manera sencilla en dos direcciones distintas linealmente independientes, se puede recurrir a un procedimiento como el descrito en la reivindicación 2 o a un sistema según la reivindicación 5.

25 En tales circunstancias, se preverá al menos un sensor de distancia con su receptor de medición correspondiente para cada uno de los componentes de dirección de la desviación a calcular, de modo que las superficies receptoras queden orientadas de tal manera que cada medición de la distancia por medio del sensor de distancia asignado permita determinar cada uno de los componentes direccionales de la desviación. Esto se puede lograr fácilmente con dos receptores de medición con superficies planas, dispuestas y orientadas como se muestra en la reivindicación 6. Esta distribución permite obtener una medición fiable de la desviación en diferentes direcciones con una mayor precisión, especialmente cuando el punto de medición del sensor de distancia presenta un diámetro nada despreciable debido a una distancia comparativamente grande entre el sensor de distancia y el receptor de medición.

35 Según la invención, mientras el espacio del rayo de medición en el punto de destino sea lo suficiente limitado, se realiza una medición de la desviación del componente hueco en dos direcciones linealmente independientes con solo un conjunto de sensor de distancia sin contacto y receptor de medición. La reivindicación 1 presenta un posible procedimiento para llevarla a cabo, mientras que la reivindicación 4 menciona un sistema de medición adecuado para ello. El funcionamiento consiste, esencialmente, en que el receptor de medición presenta una superficie dispuesta en posición arqueada o inclinada respecto a un plano de referencia esencialmente perpendicular a la dirección de medición del sensor de distancia, de modo que existen distancias distintas entre los diferentes puntos de su superficie y el sensor de distancia.

45 Al desviarse el componente hueco respecto a una posición normal, el receptor de medición se desplaza en relación al sensor de distancia de tal manera que este último mide diferentes distancias respecto al receptor de medición o a la superficie receptora en función de la desviación. De este modo se pueden atribuir a una distancia medida tanto desviaciones en una primera dirección paralela al plano de referencia (dirección x), como en una segunda dirección, en este caso perpendicular e igualmente paralela al plano de referencia (dirección y), en particular desviaciones de tipo combinado.

50 De esta variante se desprende una posible configuración de la superficie receptora, si esta está escalonada en una primera dirección transversal a la dirección de medición en niveles colindantes que, vistos en su dirección de extensión transversalmente respecto a la dirección del escalonamiento y también transversalmente respecto a la dirección de medición, presentan una distancia distinta respecto al plano de referencia en cada punto de medición, donde las diferencias de distancia entre los niveles en dirección al plano de referencia son mayores que la diferencia de distancia dentro de cada nivel. Así cada nivel individual puede dotarse de una superficie continua inclinada o de nuevo, de escalones. Lo único que hay que tener en cuenta es que entre el punto de un primer nivel con la distancia más corta y el punto con la distancia más larga en relación al plano de referencia y el siguiente nivel haya un desnivel y viceversa.

60 El procedimiento o sistema según la invención es especialmente apto para su aplicación en uno o varios álabes del rotor o en la torre de un aerogenerador. En el caso de la instalación en un álabe del rotor, es preferible desde un punto de vista práctico ubicar el sensor de distancia cerca de la cabeza del álabe o del buje del rotor y el receptor de medición en dirección a la punta del álabe. Naturalmente también se pueden distribuir al revés, aunque la disposición arriba mencionada presenta la ventaja de que el sensor de distancia se puede abastecer de energía a través del buje y que, de ser necesario (para mantenimiento, recambio, etc.) en esta zona es más fácilmente accesible. En cuanto a la medición de la torre de un aerogenerador, la distribución es en principio irrelevante (con el sensor de distancia indistintamente arriba o abajo). El procedimiento o sistema también se puede utilizar para

realizar mediciones en el área de la carcasa de la maquinaria (góndola) de un aerogenerador. Con esta distribución se puede determinar, por ejemplo, el denominado "baile" (es decir, las vibraciones) de la estructura para la maquinaria, que también constituye un componente hueco en el sentido de esta invención.

5 A fin de obtener una medición lo más precisa posible de la desviación real, el receptor de medición se debe colocar lo más lejos que se pueda del sensor de distancia. Sin embargo, hay que asegurarse de que el rayo de medición del sensor de distancia sin contacto alcance la superficie receptora incluso con la máxima flexión o desviación esperables del componente hueco. Además, el diámetro del rayo de medición tampoco puede ser demasiado grande debido a la distancia entre el sensor y el receptor de medición, para garantizar que se obtienen unas mediciones interpretables. A este respecto, esta separación también está limitada por una distancia máxima. Así, cuando la instalación es en un álabe del rotor, en el que el sensor de distancia va localizado en la zona de la cabeza del mismo, generalmente el receptor de medición no se puede colocar en la parte más externa de la punta, sino más cerca de la cabeza. Aunque preferiblemente el receptor quedará ubicado en el tercio correspondiente a la punta del álabe.

10  
15 También se puede contemplar en un componente hueco la disposición de un tramo de medición con varios conjuntos de al menos un sensor de distancia y su receptor de medición correspondiente distribuidos en fila longitudinalmente para, por ejemplo, registrar y medir perfiles de flexión.

20 Los datos recabados con el procedimiento según la invención o con el sistema según la invención se pueden transferir a una unidad de control que intervenga en los procesos de funcionamiento del aerogenerador en base a unas acciones preconfiguradas. Así, por ejemplo, ante un desgaste definido de los materiales y la amenaza de colisión de un álabe del rotor contra la torre, el aerogenerador puede detenerse y girarse para apartarse de la trayectoria del viento. Aunque en funcionamiento normal también se pueden detectar situaciones operativas que contribuyen a aumentar las cargas y reducir el rendimiento, como fluctuaciones aerodinámicas provocadas por corrientes turbulentas en la superficie revestida del rotor, y enmendarlas por medio de una corrección de la unidad de control del generador.

25 Además guardar los datos de la medición del sistema según la invención, preferiblemente los de todos los componentes huecos medidos, y tenerlos disponibles para futuras consultas supone una ventaja. De esta manera la unidad de control puede, por ejemplo, detectar la necesidad de sustituir un componente hueco debido a su envejecimiento (como un álabe del rotor).

#### 30 **Breve descripción de las figuras de los dibujos**

35 Otras ventajas y características de la invención se deducen de la siguiente descripción de ejemplos de realización mediante las figuras adjuntas. A este respecto se muestra:

40 en la figura 1, una vista lateral esquemática de un aerogenerador con los tramos de medición esbozados para la realización del procedimiento según la invención o la instalación del sistema según la invención;

en la figura 2, una representación esquemática de un componente o componente hueco para explicar de modo general el principio del procedimiento o sistema según la invención en una primera variante;

45 en la figura 3, una representación esquemática de un componente o componente hueco para explicar de modo general el principio del procedimiento o sistema según la invención en una segunda variante;

en la figura 4, una vista esquemática tridimensional de un receptor de medición para su uso en el procedimiento o sistema según la invención;

50 en la figura 5, una vista frontal muy esquematizada de una sección del receptor de medición según la figura 4 para explicar el principio del mismo;

55 en la figura 6, una vista esquemática tridimensional similar a la de la figura 4 de otro receptor de medición para su uso en el procedimiento o sistema según la invención;

en la figura 7, una vista frontal muy esquematizada similar a la de la figura 5 de una sección del receptor de medición según la figura 6 para explicar el principio del mismo; y

60 en la figura 8, tres representaciones esquemáticas de la aplicación del procedimiento en sendos álabes del rotor ilustrados en forma de esquema.

#### **Modo(s) de realización de la invención**

65 Un aerogenerador 1 representado esquemáticamente en la figura 1 está compuesto esencialmente por una torre 2 con una góndola 3 superpuesta que rota sobre ella y un rotor fijado a la góndola formado por unos álabes del rotor 4

unidos a un buje 5.

Debido al efecto de diferentes cargas, los componentes individuales del aerogenerador 1 están expuestos a fuerzas dirigidas que pueden provocar una desviación o flexión de estos componentes. Por ejemplo, la torre 2, que actualmente se suele fabricar hueca de acero o de elementos de hormigón armado, puede desviarse respecto a una posición de reposo en la dirección de la corriente de aire a causa de la presión del viento que incide contra el rotor. Los álabes del rotor 4 también se desvían en la dirección de la corriente por culpa de la presión del viento respecto a un plano común del rotor; además están sometidos a la presión que la fuerza de la gravedad ejerce en vertical y hacia abajo en el plano del rotor, que se traduce en una mayor flexión y, con ella, desviación respecto a una posición normal. Así, sobre todo en el caso de los álabes del rotor, se sufren desviaciones simultáneas con componentes en dos direcciones distintas perpendiculares entre sí.

Estas desviaciones tanto de los álabes del rotor 4 como de la torre 2 se pueden registrar en todo caso en un componente de dirección por medio de un proceso o sistema según la invención que se detalla más en profundidad a continuación, lo que se aclara en la figura 1 con la ilustración de tramos de medición 6 (en la torre) y 7 (en los álabes del rotor). La figura 1 muestra otro tramo de medición 16 en la góndola 3. Este transcurre longitudinalmente a través de la góndola o, mejor dicho, longitudinalmente a lo largo del conjunto propulsor ahí ubicado. Con este tramo de medición 16 se ilustra cómo, especialmente en el caso de la estructura para la maquinaria que va alojada en la góndola 3, es posible supervisar las desviaciones que aparecen, por ejemplo, a raíz del denominado "baile" de la estructura para la maquinaria y que derivan principalmente de fluctuaciones inesperadas en el conjunto propulsor.

En la figura 2 se explica el principio básico del procedimiento o sistema según la invención en una dirección de medición y en una primera variante mediante un componente hueco B, que aquí adopta forma de figura rectangular a fin de simplificar su representación. La figura 2 muestra un sistema de coordenadas con las coordenadas x, y y z para facilitar la orientación. Un sensor de distancia 8.1, representado aquí de manera sencilla en forma de punto, para la medición sin contacto de las distancias está dispuesto con su rayo de medición 10 dentro del hueco del componente B para atravesarlo. El rayo de medición 10 apunta a un receptor de medición 9.1 alejado a cierta distancia a lo largo del componente B en el interior del hueco y que presenta una superficie receptora orientada al sensor de distancia 8.1. Con esta representación rectangular se ve claramente que el receptor de medición 9.1 está dotado de una superficie receptora inclinada respecto a un plano de referencia R dispuesto en perpendicular al rayo de medición 10, es decir, a la dirección de medición del sensor de distancia 8.1. A este respecto, la inclinación se produce en unas direcciones espaciales, más concretamente una inclinación en un ángulo  $\alpha$  en el eje y del plano de referencia.

Así se genera una situación en la que los puntos que quedan en dirección al eje x o en una línea paralela de la superficie receptora del receptor de medición 9.1 objetivo del sensor de distancia 8.1 presentan una distancia diferente respecto al plano de referencia R. Si se trata de una desviación del componente B, es decir, de una flexión, el punto se desplaza de manera que el rayo de medición 10 del sensor de distancia 8.1 alcanza la superficie receptora del receptor de medición 9.1. De este modo el sensor de distancia determina otra distancia distinta a aquella en la posición normal sin carga. Dado que cada distancia medida tiene asignada de forma inequívoca un componente de distancia en la dirección x de la superficie receptora del receptor de medición, también se puede asignar a dicha distancia medida un componente de desviación lateral del receptor de medición 9.1 en dicha dirección x, lo que se ilustra con la correspondiente flecha 12. La representación superior de la figura 8 muestra esquemáticamente esta situación en un álabe del rotor 4.

El receptor de medición 9.1 (al igual que el resto de receptores de medición que se describe más adelante) no se muestra, a este respecto, a modo de reflector para los rayos de medición proyectados. Para una medición de la distancia óptica, preferible en este caso (con un láser), puede ser p. ej. una placa lacada en un color claro de plástico o de un material derivado de la madera.

En la figura 3 se muestra una situación similar con un sensor de distancia 8.2 montado en un componente B representado de nuevo esquemáticamente a modo de rectángulo y un receptor de medición 9.2. Aquí el receptor de medición 9.2 vuelve a presentar una superficie receptora plana que, esta vez, está inclinada en el eje x del plano de referencia R en un ángulo  $\beta$ . Con esta distribución, la distancia entre el plano de referencia R (es decir, el sensor de distancia 8.2) y el receptor de medición 9.2 a lo largo de la dirección del eje y o de los puntos dispuestos para ello en líneas paralelas difiere de manera que, en caso de una desviación del componente hueco B, se pueda medir el componente de desviación en dicha dirección a través de una medición de la distancia, lo que se indica con la doble flecha 13. La figura 8, en la representación inferior, ilustra también esta situación referida a un álabe del rotor.

Es claramente evidente que la combinación de un conjunto de sensor de distancia 8.1 y receptor de medición 9.1 y un conjunto de sensor de distancia 8.2 y receptor de medición 9.2 permite realizar mediciones de los componentes de la desviación x e y, con ello, determinar la desviación total. Si se emplea un cuerpo de medición con diferentes superficies, se puede unificar ambos receptores de medición 9.1 y 9.2 en un único cuerpo de medición, que entonces representaría dos receptores de medición. Esta situación se muestra en la representación central de la figura 8, en la que los rayos de medición de ambos sensores de distancia 8.1 y 8.2 se identifican como 10.1 y 10.2.

Otra alternativa se puede realizar con un conjunto de sensor de distancia y receptor de medición 9 cuando el receptor de medición para cada punto (de medición) sobre la superficie receptora presenta una distancia única respecto al plano de referencia R. Las figuras 4 y 5 y 6 y 7 son posibles ejemplos de dichos receptores de medición 9.

5 En el primer ejemplo de uno de dichos receptores de medición aptos para la medición simultánea de la desviación en dos componentes de dirección linealmente independientes, como se ilustra en las figuras 4 y 5, la superficie de medición consta de secciones escalonadas 11 en dirección y, cuya superficie está inclinada respecto al plano de referencia R. Como se desprende especialmente de la figura 5, los puntos cercanos entre sí de cada sección individual 11 presentan una diferencia distancial (un desnivel)  $\Delta z$  unos respecto de otros. Así, con una medición de 10 la distancia se puede determinar fácilmente la posición de destino (el punto de medición) sobre la superficie receptora y, con sencillas operaciones trigonométricas calcular la desviación del componente hueco en la dirección x y también en la y (en las direcciones del plano de referencia).

15 Las figuras 6 y 7 presentan otro ejemplo de un posible receptor de medición 9 para la medición simultánea de la desviación del componente hueco tanto en la dirección x como en la y con un único sensor de distancia. En este caso también se prevén diversas secciones 14 escalonadas entre sí, que, a diferencia del receptor de medición 9 de las figuras 4 y 5, no son continuas ni están inclinadas respecto al plano de referencia R, sino que están, a su vez, 20 escalonadas en niveles individuales 15. Cada uno de estos niveles 15 representa un punto de medición, de manera que la resolución de los puntos de medición y, con ella, la precisión del sistema está determinada por el tamaño de cada nivel 15. En este caso también es importante, y claramente visible en la representación de la figura 7, el hecho de que, entre los niveles 15 cercanos, las secciones 14 vecinas presentan una diferencia distancial  $\Delta z$  para garantizar la precisión de la medición de la distancia ante una desviación determinada del componente hueco 25 equipado con un receptor de medición de este tipo.

Los receptores de medición 9 que aparecen en las figuras 4 y 5 y 6 y 7 fueron desarrollados por el inventor expresamente para esta aplicación. Sin embargo, también son aptos para otras aplicaciones distintas a la medición de la desviación de componentes huecos en aerogeneradores, como, por ejemplo, para medir la desviación de 30 componentes de puentes, barcos, alas de avión, cascos de avión, elementos para tejados de edificios, componentes de presas, diques y diques de contención o similares.

A este respecto, el sensor de distancia sin contacto 8.1, 8.2 será preferiblemente un sensor de distancia láser ya que es más sencillo de fabricar y más asequible y se puede integrar un aerogenerador 1.

35 No cabe duda de que con el método según la invención aquí descrito para la medición de una desviación de un componente hueco de un aerogenerador 1 se obtiene un procedimiento o un sistema que no solo supone una ejecución altamente sencilla desde un punto de vista técnico y que además es de bajo mantenimiento y fácil de instalar *a posteriori*, sino que, sobre todo, este procedimiento en configuraciones ventajosas permite registrar y 40 supervisar una desviación de los componentes huecos respecto a una posición normal en dos direcciones espaciales diferentes linealmente independientes entre sí.

Los datos recabados mediante el procedimiento según la invención o el sistema según la invención acerca de una desviación de los componentes huecos del aerogenerador 1 pueden resultar de utilidad de cara a elaborar un historial de cargas. Del mismo modo, estos datos también se pueden volcar a una unidad de control del 45 aerogenerador 1. Concretamente se pueden registrar las desviaciones respecto a un funcionamiento normal determinadas con el procedimiento según la invención en forma de movimientos pendulares adicionales o vibraciones de un álabe del rotor, del rotor completo o de la torre 4 y utilizar esta información para corregir, por ejemplo, el funcionamiento mediante la adaptación del denominado ángulo de elevación del álabe del rotor 4. Igualmente también se puede emitir una advertencia cuando los materiales alcancen determinado grado crítico de 50 desgaste. Estas ventajas son, de hecho, posibles, gracias a que el sistema según la invención permite realizar un registro y control sencillos, fiables y poco susceptibles a sufrir fallos de las desviaciones de los componentes huecos de un aerogenerador 1 respecto a la posición normal.

Lista de referencias

55

1	Aerogenerador
2	Torre
3	Góndola
4	Álabe del rotor
5	Buje
6	Tramo de medición
7	Tramo de medición

8.1, 8.2	Sensor de distancia
9, 9.1, 9.2	Receptor de medición
10, 10.1, 10.2	Rayo de medición
11	Sección
12	Flecha
13	Doble flecha
14	Sección
15	Nivel
16	Tramo de medición
B	Componente
R	Nivel de referencia
$\Delta z$	Diferencia de distancias



## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la medición de una desviación de un componente hueco (B, 2, 4) esencialmente alargado de un aerogenerador (1) respecto a una posición normal, donde el interior del componente hueco (B, 2, 4) lleva instalado en una primera posición al menos un sensor de distancia (8.1, 8.2) para la captura de distancias dirigida, precisa y sin contacto que realiza mediciones de la distancia respecto a un punto objetivo en la dirección de una segunda posición dentro del componente hueco (B, 2, 4), que, además, dispone en la segunda posición en el interior del componente hueco (B, 2, 4) de un receptor de medición (9, 9.1, 9.2) que presenta una superficie receptora dispuesta en un rango de medición en una dirección (x, y) respectivamente vista en transversal respecto a un plano de referencia (R) perpendicular a la dirección de medición (10, 10.1, 10.2) del sensor de distancia (8.1, 8.2), y que con el sensor de distancia (8.1, 8.2) mide de forma continua o a intervalos la distancia a la superficie receptora, donde los resultados de las mediciones de distancia se evalúan en una unidad de cálculo y, a partir de ellas, se determina la desviación correspondiente del componente hueco (B, 2, 4) respecto a la posición normal, siempre en relación al componente de dirección de la dirección (x, y) en la que la superficie reflectora queda dispuesta transversalmente al plano de referencia (R); caracterizado porque se dispone de un conjunto de sensor de distancia capaz de realizar una medición exacta de la misma y un receptor de medición (9) en el interior del componente hueco (B, 2, 4) para la medición de una desviación del componente hueco en dos direcciones linealmente independientes entre sí, donde el receptor de medición (9) muestra una superficie receptora que presenta una distancia distinta respecto a un plano de referencia (R) perpendicular a la dirección de medición del sensor de distancia en cada punto apto para medición con el sensor de distancia.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque dispone de al menos dos pares formados por un sensor de distancia (8.1, 8.2) sin contacto y un receptor de medición (8.1, 8.2) para una medición de la desviación del componente hueco en dos componentes de dirección linealmente independientes, donde un primer receptor de medición (9.1) presenta una superficie reflectora dispuesta en un rango de medición en una primera dirección (x) vista en transversal respecto a un primer plano de referencia (R) perpendicular a la dirección de medición (10.1) del sensor de distancia (8.1) correspondiente, y donde un segundo receptor de medición (9.2) presenta una superficie reflectora dispuesta en un rango de medición en una segunda dirección (y) distinta a la primera dirección (x) vista en transversal respecto a un segundo plano de referencia (R) perpendicular a la dirección de medición (10.2) del sensor de distancia (8.2) correspondiente, y donde se miden las distancias a la superficie receptora correspondiente con los sensores de distancia (8.1, 8.2) de forma continua o a intervalos, donde los resultados de las mediciones de distancia se evalúan en una unidad de cálculo y, a partir de ellas, se determina la desviación correspondiente del componente hueco (B, 2, 4) respecto a la posición normal en dos direcciones linealmente independientes (x, y).

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el componente hueco es una torre (2) o una sección de una torre del aerogenerador (1) o un álabe del rotor (4) que presenta una cabeza del álabe del rotor y una punta del álabe del rotor contrapuesta y la primera posición está orientada hacia la cabeza del álabe del rotor y la segunda posición está desplazada respecto a la primera posición en dirección hacia la punta del álabe del rotor.

4. Sistema para la medición de una desviación de un componente hueco (B, 2, 4) esencialmente alargado de un aerogenerador (1) respecto a una posición normal, que comprende:

a) al menos un sensor de distancia (8.1, 8.2) dispuesto en una primera posición en el interior del componente hueco (B, 2, 4) destinado a la medición dirigida, precisa y sin contacto de la distancia en la dirección de una segunda posición ubicada en el interior del componente hueco (B, 2, 4),

b) al menos un receptor de medición (9, 9.1, 9.2) dispuesto en la segunda posición, detectable por el al menos un sensor de distancia (8.1, 8.2), con una superficie receptora dispuesta en un rango de medición en una dirección (x, y) respectivamente vista en transversal respecto a un plano de referencia (R) perpendicular a la dirección de medición (10, 10.1, 10.2) del al menos un sensor de distancia (8.1, 8.2), y

c) una unidad de cálculo para evaluar las distancias medidas por el al menos un sensor de distancia (8.1, 8.2) respecto a la superficie receptora y determinar a partir de estos datos una desviación del componente hueco (B, 2, 4) respecto a la posición normal, siempre en relación al componente de dirección de la dirección (x, y) en la que la superficie reflectora queda dispuesta transversalmente al plano de referencia (R);

caracterizado porque se dispone de un conjunto de sensor de distancia capaz de realizar una medición exacta de la misma y un receptor de medición (9), donde el receptor de medición (9) presenta una superficie receptora que muestra una distancia distinta respecto a un plano de referencia (R) perpendicular a la dirección de medición del sensor de distancia en cada punto apto para medición con el sensor de distancia.

5. Sistema según la reivindicación 4, caracterizado porque dispone de al menos dos pares formados por un sensor de distancia (8.1, 8.2) sin contacto y un receptor de medición (9.1, 9.2) para una medición de la desviación del componente hueco en dos componentes de dirección linealmente independientes, donde un primer receptor de medición (9.1) presenta una superficie reflectora dispuesta en un rango de medición en una primera dirección (x)

- vista en transversal respecto a un primer plano de referencia (R) perpendicular a la dirección de medición (10.1) del sensor de distancia (8.1) correspondiente, y donde un segundo receptor de medición (9.2) presenta una superficie reflectora dispuesta en un rango de medición en una segunda dirección (y) distinta a la primera dirección (x) vista en transversal respecto a un segundo plano de referencia (R) perpendicular a la dirección de medición (10.2) del sensor de distancia (8.2) correspondiente, y donde los sensores de distancia (8.1, 8.2) están conectados a una unidad de cálculo para la transmisión de datos.
- 5
6. Sistema según la reivindicación 5, caracterizado porque las superficies receptoras del receptor de medición (9.1, 9.2) están inclinadas de forma continua y confrontadas con un plano de referencia (R) común para los sensores de distancia (8.1, 8.2), donde una primera superficie reflectora está inclinada en un primer eje dispuesto dentro de o en paralelo al plano de referencia (R) y la segunda superficie receptora está igualmente inclinada en un segundo eje que intercepta el primer eje y está dispuesto dentro de o en paralelo al plano de referencia, en un ángulo  $\alpha$  y  $\beta$  respectivamente, donde  $0^\circ < \alpha, \beta < 90^\circ$ .
- 10
7. Sistema según una de las reivindicaciones 4 a 6, caracterizado porque el receptor de medición (9) está escalonado en una primera dirección transversal a la dirección de medición en niveles (11, 14) colindantes que, vistos en su dirección de extensión transversalmente respecto a la dirección del escalonamiento y también transversalmente respecto a la dirección de medición, presentan una distancia distinta respecto al plano de referencia en cada punto de medición, donde las diferencias de distancia entre los niveles en dirección al plano de referencia son mayores que la diferencia de distancia dentro de cada nivel.
- 15
8. Sistema según la reivindicación 7, caracterizado porque los niveles (11) están inclinados de forma continua en la dirección de extensión.
- 20
9. Sistema según la reivindicación 8, caracterizado porque los niveles (14) se disponen en su dirección de extensión de forma igualmente escalonada con un número de secciones niveladas (15) que presentan en cada caso una distancia distinta respecto al plano de referencia (R).
- 25
10. Sistema según una de las reivindicaciones 4 a 9, caracterizado porque el como mínimo un sensor de distancia (8.1, 8.2) es un sensor láser.
- 30
11. Sistema según una de las reivindicaciones 4 a 10, caracterizado porque la unidad de cálculo presenta una unidad de control o está conectada con una unidad de control que está configurada para intervenir en el proceso de funcionamiento del aerogenerador (1) en base a los datos de la desviación del componente hueco (B, 2, 4) determinados.
- 35
12. Sistema según una de las reivindicaciones 4 a 11, caracterizado porque presenta al menos dos conjuntos de medición formados por sensor de distancia (8.1, 8.2) y receptor de medición (9, 9.1, 9.2), donde los conjuntos de medición van instalados en línea en el tramo longitudinal del componente hueco (B, 2, 4).
- 40
13. Sistema según una de las reivindicaciones 4 a 12, caracterizado porque el componente hueco es una torre (2) o una sección de una torre (2) del aerogenerador o un álabe del rotor (4) que presenta una cabeza del álabe del rotor y una punta del álabe del rotor contrapuesta y la primera posición es una posición orientada hacia la cabeza del álabe del rotor y la segunda posición es una posición desplazada hacia fuera de la primera posición en dirección hacia la punta del álabe del rotor, donde preferiblemente el al menos un receptor de medición (9, 9.1, 9.2) queda ubicado en una parte del álabe del rotor (4) que se encuentra dentro del tercio del álabe del rotor (4) correspondiente a la punta del mismo.
- 45

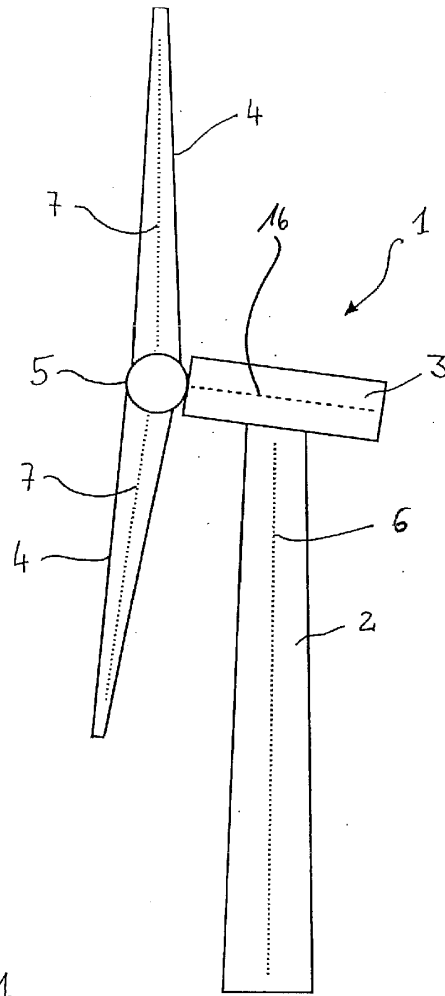


Fig. 1

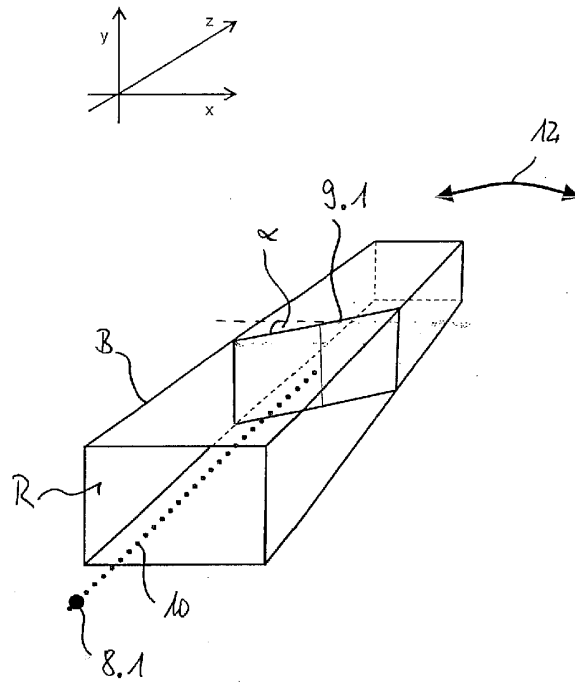


Fig. 2.

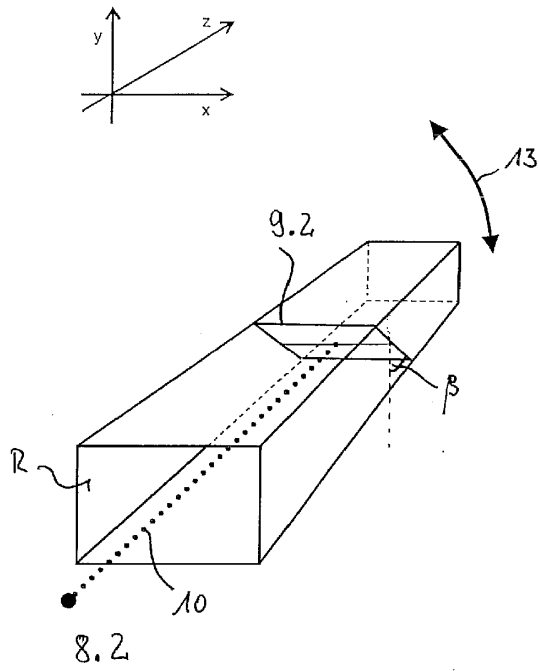


Fig. 3

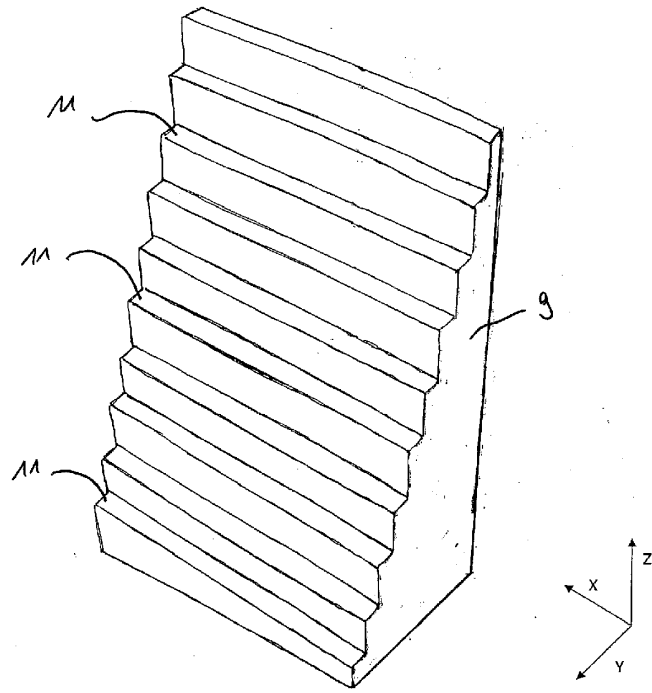


Fig. 4

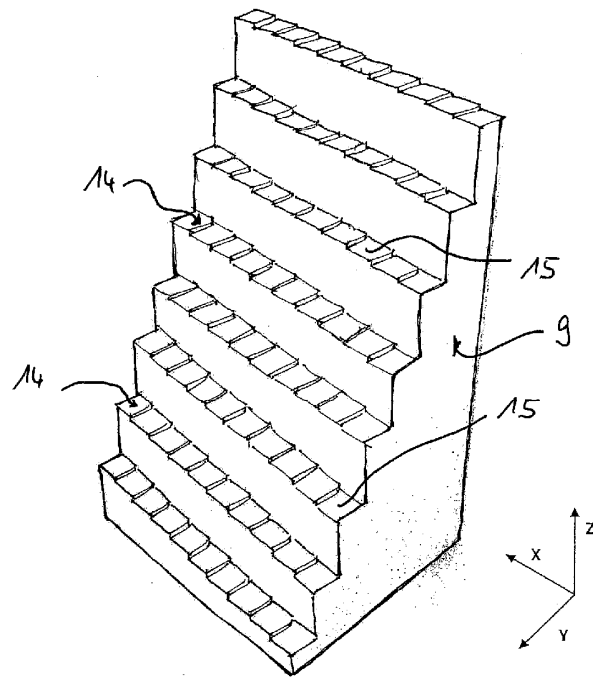


Fig. 6

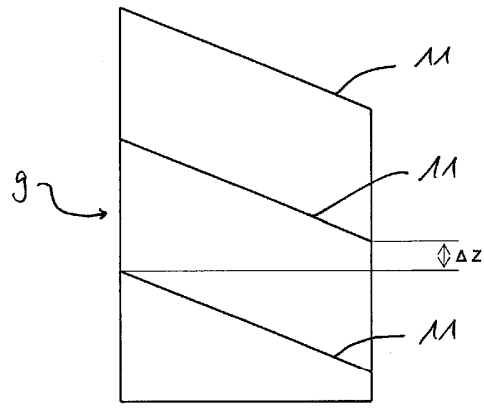


Fig. 5

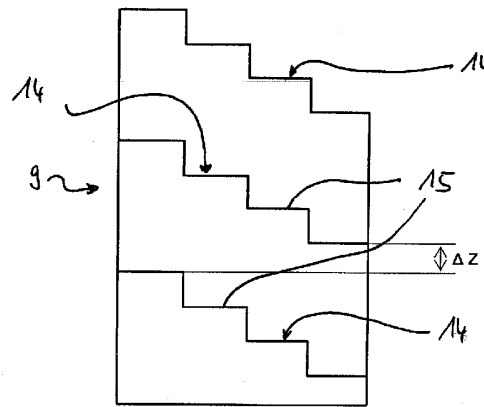
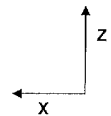


Fig. 7





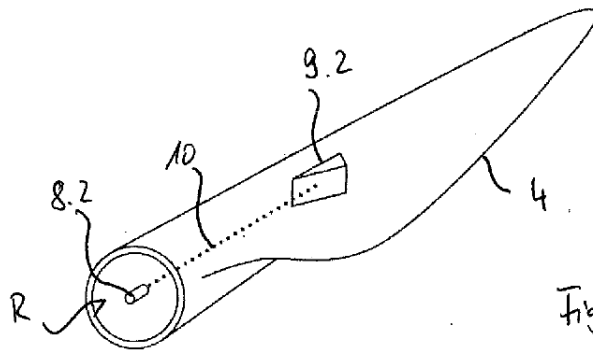
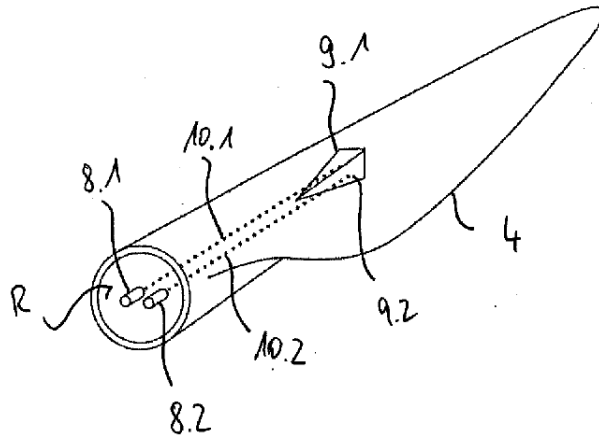
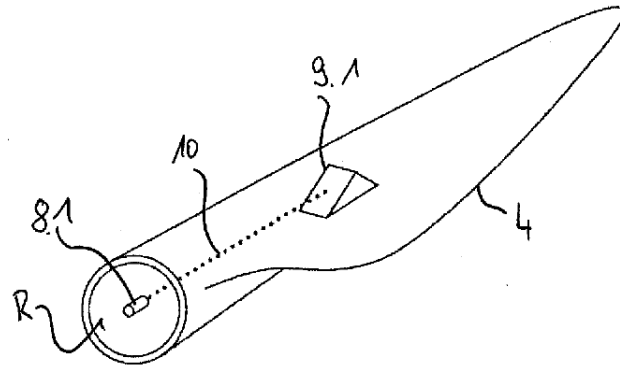


Fig. 8