

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 662 448**

51 Int. Cl.:

**F03D 17/00** (2006.01)

**G01M 5/00** (2006.01)

**G01M 11/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.05.2012 E 12003593 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.12.2017 EP 2525206**

54 Título: **Métodos de ensayo para palas de aerogeneradores**

30 Prioridad:

**16.05.2011 ES 201100532**

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

**06.04.2018**

73 Titular/es:

**GAMESA INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L.**

**(100.0%)**

**Avenida Ciudad de la Innovación 9-11**

**31621 Sarriguren, NAVARRA ES**

72 Inventor/es:

**RIEZU CORPAS, MIGUEL;**

**ROJAS DIAZ, RAMON y**

**SAAVEDRA BAO, RUBEN**

**ES 2 662 448 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

### MÉTODOS DE ENSAYO PARA PALAS DE AEROGENERADORES

#### CAMPO DE LA INVENCION

5           Esta invención se refiere a ensayos realizados a palas de aerogeneradores y más en particular a ensayos usando una tecnología para realizar medidas distribuidas de deformación con una alta resolución espacial en fibras ópticas utilizando la dispersión de luz de Rayleigh.

#### 10           **ANTECEDENTES**

          La certificación de una pala de un aerogenerador requiere la realización de varios ensayos estáticos y dinámicos en la pala para confirmar su capacidad para soportar las cargas esperadas, particularmente ensayos estáticos de  
15           resistencia para comprobar el comportamiento de la pala bajo las cargas extremas especificadas, ensayos de fatiga para comprobar la capacidad de la pala para soportar las cargas operacionales durante su vida estimada y otros ensayos para caracterizar propiedades físicas de la pala tales como el peso, el centro de gravedad o las frecuencias y modos naturales.

20           Estos ensayos se llevan a cabo usualmente en un banco de ensayo en el que la pala se atornilla a una estructura rígida y se le aplican cargas estáticas ó dinámicas mediante diferentes métodos.

          La mayoría de actuales sistemas de ensayo se basan en la utilización de un conjunto de galgas extensiométricas para determinar la distribución de la  
25           deformación a lo largo de las palas. Con el incremento del tamaño de las palas, la cantidad necesaria de galgas extensiométricas está aumentando rápidamente lo que implica grandes esfuerzos para estimar adecuadamente la distribución mencionada. Con dos a cuatro cables eléctricos por galga, el volumen del cableado, su complejidad y la vulnerabilidad a interferencias electro-magnéticas  
30           llegan a ser muy importantes y problemáticos. Adicionalmente, la naturaleza

discreta de este tipo de medidas implica pérdidas de información en el caso de un comportamiento no lineal en el área entre dos galgas extensiométricas.

WO 2010/086466 a nombre del solicitante describe un sistema de medición de deformaciones en palas de aerogeneradores durante ensayos  
5 estáticos que comprende un equipo para medir la deformación en una pluralidad de posiciones en fibras ópticas mono-modo usando la dispersión de luz de Rayleigh, que incluye un interrogador OBR (“Optical Backscattering Reflectometer”), un dispositivo de interfase y un Sistema de Adquisición, estando dichas fibras ópticas mono-modo unidas a la pala sometida a dichos  
10 ensayos para obtener medidas de la deformación de la pala durante dichos ensayos con una alta resolución espacial.

Algunas propiedades físicas de la pala, como la distribución longitudinal de la masa o la distribución de la rigidez de flexión en diferentes zonas de la pala no pueden ser bien caracterizadas utilizando la tecnología basada en  
15 galgas extensiométricas mencionada anteriormente debido a su baja resolución espacial. Por otro lado no se conocen métodos de ensayo con tal finalidad usando la tecnología divulgada en WO 2010/086466.

Sin embargo, un buen conocimiento de dichas propiedades físicas en la planta de fabricación sería muy útil a fin de establecer controles de calidad  
20 estadísticos sobre toda la población para detectar cambios locales de la rigidez y/o la masa, generados por defectos o errores durante el proceso de producción. Sería también muy útil en muchas otras etapas de la vida de las palas.

Existe por lo tanto una necesidad de nuevos métodos de ensayo para  
25 determinar las propiedades físicas de las palas y esta invención se destina a su atención.

## SUMARIO DE LA INVENCION

Es un objeto de la presente invención proporcionar métodos de ensayo de propiedades físicas de una pala de aerogenerador para ser realizados en la  
5 fábrica de palas con fines de control de calidad.

Es otro objeto de la presente invención proporcionar métodos de ensayo de propiedades físicas de una pala de aerogenerador para ser realizados fuera de la fabrica de palas para detectar cambios de dichas propiedades físicas durante su vida útil.

10 Es otro objeto de la presente invención proporcionar un método de instalación de cables de fibra óptica mono-modo dentro de una pala de aerogenerador para que puedan ser utilizados durante todo el tiempo de vida útil de la pala de aerogenerador.

En un aspecto, estos y otros objetos se cumplan mediante un método de  
15 ensayo para determinar la distribución de una propiedad física a lo largo de una pala de aerogenerador que comprende los siguientes pasos: a) instalar dentro de la pala un primer cable de fibra óptica mono-modo a lo largo de los bordes de ataque y salida y un segundo y tercer cables de fibra óptica mono-modo en ambos lados de la pala a lo largo de una sección longitudinal central, dejando  
20 en dichos cables un extremo libre para su conexión con un equipo externo; b) aplicar una o más cargas a la pala en un banco de ensayos situado en la fábrica de palas que comprende un primer y segundo soportes fijos y medios para rotar la pala; c) obtener la distribución de las deformaciones producidas por dicha carga o cargas a lo largo de la pala con un equipo externo apropiado conectado  
25 al extremo libre de por lo menos uno de dichos cables para medir las deformaciones usando la dispersión de luz de Rayleigh; d) determinar la distribución de dicha propiedad física a partir de dicha distribución de las deformaciones; e) comparar la distribución de dicha propiedad física con su distribución de diseño.

30 En realizaciones de la presente invención, dicha propiedad física es la rigidez a flexión en batimiento; la pala se coloca en dicho banco de ensayos en

posición de batimiento y la carga se aplica en una sección de la pala entre dichos soportes; las medidas de las deformaciones se llevan a cabo a lo largo del segundo y tercer cables. Se logra con ello un método de ensayo para la obtención de la distribución de la rigidez de flexión en batimiento al final del proceso de fabricación de palas con fines de control de calidad.

En realizaciones de la presente invención, dicha propiedad física es la distribución longitudinal de la masa; la pala se coloca en dicho banco de ensayos en la posición de batimiento sometida a su propio peso y se llevan cabo unas primeras medidas de las deformaciones a lo largo de dicho segundo cable; se gira la pala 180° en dicho banco de ensayos y se llevan a cabo unas segundas medidas de las deformaciones a lo largo de dicho tercer cable; la distribución longitudinal de la masa de la pala se determina a partir de una distribución de la rigidez a flexión en batimiento obtenida previamente y de las primeras y segundas distribuciones de deformaciones resultantes de dichas primeras y segundas medidas de las deformaciones, teniendo en cuenta que, con respecto a la primera distribución, la segunda distribución está producida por el doble del peso propio de la pala. Se logra con ello un método de ensayo para la obtención de la distribución longitudinal de la masa de la pala al final del proceso de fabricación de palas con fines de control de calidad.

En realizaciones de la presente invención, el método de ensayo también comprende (respecto al ensayo rigidez a flexión en batimiento) de los siguientes pasos: f) aplicar una carga a la pala en un banco de ensayos apropiado situado fuera de la fábrica de palas; g) obtener la distribución de deformaciones producida por dicha carga a lo largo de la pala con un equipo externo apropiado conectado al extremo libre de dichos segundo y tercer cables para medir las deformaciones usando la dispersión de luz de Rayleigh; h) determinar la distribución de la rigidez a flexión en batimiento a partir de dicha distribución de deformaciones; i) comparar la distribución de la rigidez a flexión en batimiento con la determinada en la fábrica de palas. Se logra con ello un método de ensayo para la obtención de la distribución de la rigidez de flexión en

batimiento fuera de la fábrica de palas para detectar cambios locales de la rigidez a flexión en batimiento.

En realizaciones de la presente invención, el método de ensayo también comprende (respecto al ensayo rigidez a flexión en arrastre) los siguientes pasos: f) aplicar una carga a la pala en un banco de ensayos apropiado situado  
5 fuera de la fábrica de palas; g) obtener la distribución de deformaciones producida por dicha carga a lo largo de la pala con un equipo externo apropiado conectado al extremo libre de dicho primer cable para medir las deformaciones usando la dispersión de luz de Rayleigh; h) determinar la distribución de la  
10 rigidez a flexión en arrastre a partir de dicha distribución de deformaciones; i) comparar la distribución de la rigidez a flexión en arrastre con la determinada en la fábrica de palas. Se logra con ello un método de ensayo para la obtención de la distribución de la rigidez de flexión en arrastre fuera de la fábrica de palas para detectar cambios locales de la rigidez a flexión en arrastre.

15 En realizaciones de la presente invención, dichos pasos se llevan a cabo en cualquier lugar fuera de la fábrica de palas antes de montar la pala en un aerogenerador. Se logra con ello un método de ensayo para la obtención de la distribución de la rigidez a flexión en batimiento o en arrastre para detectar cualquier cambio local de la rigidez a flexión en batimiento o en arrastre antes  
20 de montar la pala en un aerogenerador.

En realizaciones de la invención, dichos pasos (en cualquier lugar fuera de la fábrica de palas) se llevan a cabo con la pala montada en un aerogenerador, siendo por tanto el banco de ensayos el propio aerogenerador, utilizando un dispositivo externo, tal como una cuerda atada a una sección de la  
25 pala cercana a su punta que esta accionada por un motor colocado en el suelo y guiada por una polea fijada a la torre del aerogenerador, para la aplicación de la carga en una sección cercana a la punta de la pala. Se logra con ello un método de ensayo para la obtención de la distribución de la rigidez de flexión en batimiento o en arrastre en una pala montada en un aerogenerador.

30 En otro aspecto, los objetos antes mencionados se consiguen con un método de instalación de cables de fibra óptica mono-modo dentro de una pala

de aerogenerador ensamblada mediante la unión de una viga interior y dos conchas, estando destinados dichos cables para la medición de deformaciones usando la dispersión de luz de Rayleigh, comprendiendo el método pasos de:

5           - prefijar cada uno de dichos cables a la dicha viga interior y conchas mediante medios apropiados de prefijado por el lado que no se utilizará durante el ensamblaje de la pala para disponer el adhesivo usado en las uniones concha-concha y concha-viga;

10           - disponer dichos cables prefijados de manera que se asegure que serán cubiertos totalmente por el adhesivo usado en las uniones concha-concha y concha-viga cuando la pala esté totalmente ensamblada con la excepción de uno de sus extremos que deberá estar disponible para una conexión con un equipo externo.

15           En realizaciones de la presente invención, dichos medios de prefijado son gotas de unos medios adhesivos de curado rápido compatibles con el adhesivo usado en las uniones concha-concha y concha-viga. Se logra con ello un prefijado eficiente de dichos cables.

20           La invención también comprende el uso de dicho método para instalar dentro de una pala de aerogenerador un primer cable de fibra óptica mono-modo a lo largo del borde de ataque y del borde de salida y un segundo y tercer cables de fibra óptica mono-modo a lo largo de ambos lados de la viga dejando los cables con un extremo libre para su conexión con un equipo externo.

25           Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la descripción detallada que sigue en relación con las figuras que se acompañan.

### **BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS**

30           La Figura 1 muestra esquemáticamente las conchas superior e inferior y la viga de una típica pala de aerogenerador que se ensamblan en la etapa final del proceso de fabricación de la pala.

Las Figuras 2 y 3 muestran esquemáticamente tres cables de fibra óptica que se despliegan y prefijan, respectivamente, en la concha superior y en la viga de una pala de aerogenerador de acuerdo con la presente invención.

5 La Figura 4 muestra esquemáticamente el adhesivo aplicado sobre la concha inferior y sobre la viga para las uniones concha-concha y concha-viga.

La Figura 5 muestra esquemáticamente la fase final del proceso de ensamblado en la que los cables de fibra óptica se embeben en el adhesivo utilizado para las uniones concha-concha y concha-viga de acuerdo con la presente invención.

10 La Figura 6 muestra el banco de ensayos utilizado en el ensayo de la distribución longitudinal de la masa de acuerdo con la presente invención.

La Figura 7 muestra el banco de ensayos utilizado en los ensayos de la rigidez a flexión de acuerdo con la presente invención.

15 La Figura 8 muestra el equipo utilizado para la realización de un ensayo de rigidez a la flexión a una pala instalada en un aerogenerador según la presente invención.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

### 20 **La instalación de la fibra óptica**

Vamos a describir en primer lugar un método de instalación de un primer cable 13 de fibra óptica mono-modo a lo largo de los bordes de ataque y salida de la pala y de un segundo y tercer cables 14, 15 de una fibra óptica mono-modo a lo largo de ambos lados de la viga de la pala en conexión con el  
25 proceso de montaje, utilizando medios adhesivos, de una pala de aerogenerador compuesta por tres piezas: una concha superior 21, una concha inferior 25 y una viga 23, como se muestra en la Figura 1.

En un primer paso (ver Figura 2) el primer y segundo cables 13, 14 se despliegan sobre, respectivamente, los bordes de ataque y salida y la parte  
30 interna central de la concha superior 21 (que no se queda fija en el proceso de

ensamblaje de la pala) y el tercer cable 15 (en líneas discontinuas) se despliega en el lado opuesto de la viga 23 al lado que se une a la concha superior 21.

En un segundo paso (ver Figura 3) dichos tres cables 13, 14, 15 se prefijan en las áreas donde se han desplegado añadiendo unas pocas gotas 17  
5 de un adhesivo de curado rápido que debe ser compatible con el adhesivo de curado lento que se utiliza para el ensamblaje de la pala.

Mientras se llevan a cabo los pasos mencionados, el adhesivo de curado lento 27 que se utiliza para las uniones concha-concha y concha-viga se aplica sobre la parte central interior y los bordes de ataque y salida de la concha  
10 inferior 25 (que se queda fija en el proceso de ensamblaje de la pala) y en el lado de la viga 23 opuesto a aquel en el que se ha prefijado el cable 15 como se muestra en la Figura 4.

Una vez que el adhesivo de curado rápido 17 aplicado a los cables 13, 14, 15 se ha secado lo suficiente, se puede realizar el proceso de ensamblaje  
15 típico de la pala rotando la concha superior 21 y la viga 23 como se muestra en la Figura 5 sin mover los cables 13, 14, 15 que, por lo tanto, permanecen embebidos en las uniones concha-concha (cable 13) y concha-viga (cables 14, 15).

Los cables 13, 14, 15 deben tener un extremo libre que pueda sacarse de  
20 la pala para una conexión con el OBR a través de, por ejemplo, hueco de la varilla pararrayos, el hueco de la viga o cualquier otro hueco apropiado.

#### **Métodos de ensayo**

Con los tres cables 13, 14, 15 de fibra óptica mono-modo instalados en una pala de aerogenerador como se ha explicado anteriormente se pueden  
25 llevar a cabo varios ensayos que requieren medidas de deformaciones durante la vida útil de la pala.

Dichas medidas de las deformaciones se realizan utilizando una tecnología conocida para efectuar medidas de deformación distribuidas con una alta resolución espacial en fibras ópticas utilizando la dispersión de luz de  
30 Rayleigh en, particularmente, una pluralidad de posiciones de una fibra óptica mono-modo, disponible comercialmente, midiendo la desviación local en la

desviación espectral de Rayleigh. Específicamente, dicha tecnología efectúa una comparación del espectro antes y después de cargar la fibra usando una correlación cruzada compleja del espectro correspondiente a las condiciones de carga y de cero-carga. Esta tecnología permite alcanzar actualmente

5 resoluciones en la deformación en el rango de  $\pm 1\mu\epsilon$  y una resolución espacial de al menos 0,5 mm. Puede encontrarse información adicional sobre esta tecnología en US 6,545,760.

Aparte de aquellos ensayos estáticos requeridos para la certificación de la pala, se pueden llevar a cabo según la presente invención nuevos ensayos

10 para determinar propiedades físicas de la pala, tales como los ensayos para determinar la distribución longitudinal de la rigidez y la distribución longitudinal de la masa que se describirán seguidamente.

#### **Ensayos de distribución de la rigidez a flexión**

Una vez que el ensamblaje ha terminado y antes de llevar a cabo los

15 pasos de acabado (pintura, ...) del proceso de fabricación, se puede llevar a cabo un ensayo dirigido a obtener la distribución de rigidez a flexión de la pala 9 en un banco de ensayo apropiado 10 de la siguiente manera.

Con la pala colocada en el banco de ensayos 10 unida a dos soportes fijos 11, 12, ya sea en la dirección de batimiento 9' o en la dirección de arrastre

20 9", se la somete a una fuerza F (ver Figura 7) y se miden las deformaciones causadas por ella a lo largo de los cables 14, 15 para las deformaciones en la dirección de batimiento y a lo largo del cable 13 para las deformaciones en la dirección de arrastre. La distribución de la rigidez de flexión se deduce de la distribución calculada de los momentos en cada punto de la pala 9 y del valor de

25 las deformaciones medidas.

Estos ensayos ofrecen por lo tanto distribuciones experimentales de batimiento y de la rigidez a flexión en la fábrica de palas que pueden ser comparadas con los valores de diseño correspondientes por lo que será posible

30 detectar cambios significativos respecto a los valores esperados debidos a defectos o errores durante el proceso de fabricación.

Se pueden realizar los mismos ensayos en cualquier momento anterior al montaje de la pala en un aerogenerador y también con la pala montada en el aerogenerador. Como en el caso de los ensayos realizados en la fábrica de palas, la distribución de la rigidez de flexión se puede deducir de la distribución calculada de los momentos en cada punto de la pala a partir del valor y la posición de la carga aplicada a la pala y del valor de las deformaciones medidas. Luego se comparan con la distribución de la rigidez a la flexión obtenida en la fábrica de palas para detectar cualquier cambio significativo debido, en el primer caso, al proceso de transporte y montaje o al funcionamiento del aerogenerador en el segundo caso. A través de estas comparaciones es posible identificar y localizar posibles pérdidas de rigidez con el fin de tomar acciones correctivas antes de que provoquen el fallo de la pala.

En este último caso (con la pala montada en el aerogenerador) el ensayo se realiza con la pala 9 montada en el aerogenerador y colocada en la dirección de batimiento o arrastre (moviendo la pala con los actuadores del ángulo de paso) con el equipo que se muestra en la Figura 8 que comprende un motor eléctrico 31 sobre el terreno, una polea 35 unida a la torre, y una cuerda 33 que permite que la pala de 9 pueda ser sometida a una fuerza deflectora  $F$ .

#### **Ensayo de la distribución longitudinal de la masa**

Después de realizar los ensayos de rigidez de flexión mencionados anteriormente (preferentemente el ensayo de rigidez a flexión en batimiento) en la fábrica de palas se puede llevar a cabo un ensayo dirigido a obtener la distribución longitudinal de la masa de la pala un banco de ensayos apropiado de la siguiente manera.

La pala 9 se coloca en el banco de ensayos 10 (ver Figura 6) sobre los soportes fijos 11, 12 de manera que pueda ser rotada como indica la flecha  $R$  en (preferiblemente) posición de batimiento. Seguidamente se realiza una medición de las deformaciones debidas al propio peso de la pala 9, que serán usadas como un primer estado, a lo largo del segundo cable 14. Después de girar  $180^\circ$  la pala 9, se realiza una nueva medida de las deformaciones a lo largo del tercer cable 15 que se corresponden con respecto al primer estado, a

las deformaciones causadas por el doble del peso de la pala 9. La distribución longitudinal de la masa se deduce de la distribución de momentos en cada punto de la pala 9 debida al propio peso de la pala (que se puede obtener a partir de la distribución de la rigidez de flexión en batimiento obtenida  
5 previamente) y del valor de las deformaciones medidas.

Es preferible realizar este ensayo con la pala en la posición de batimiento porque los valores de las deformaciones medidas son mucho mayores que en la posición de arrastre y por ello el efecto del ruido es dichas medidas es menos importante.

10 Entre otras, esta invención tiene las siguientes ventajas:

- Proporciona una instalación rápida, sencilla y robusta de la fibra óptica necesaria para una variedad de ensayos de deformaciones a realizar a la pala en la planta de fabricación y también durante su vida útil, permitiendo en particular la repetición del mismo ensayo en diferentes momentos de la vida útil  
15 de la pala.

- Permite un registro continuo a lo largo de la pala (de un valor cada milímetro) de la rigidez a flexión en las principales áreas de la pala de aerogenerador así como de la distribución longitudinal de la masa.

- Proporciona métodos de ensayo rápidos, simples y robustos para la obtención de la rigidez de flexión en las principales áreas de una pala de aerogenerador y de la distribución longitudinal de la masa en la planta de fabricación de la pala.  
20

- Proporciona métodos de ensayo rápidos, simples y robustos para la obtención de la rigidez de flexión en las principales áreas de una pala de aerogenerador fuera de la planta de fabricación y también cuando está instalada en un aerogenerador.  
25

Aunque la presente invención se ha descrito enteramente en conexión con realizaciones preferidas, es evidente que se pueden introducir aquellas modificaciones dentro de su alcance, no considerando éste como limitado por  
30 las anteriores realizaciones, sino por el contenido de las reivindicaciones siguientes.

## REIVINDICACIONES

1.- Método de ensayo para determinar la distribución de una propiedad física a lo largo de una pala de aerogenerador (9), siendo un ensayo dinámico  
5 que comprende el uso de

un equipo para medir la deformación en una pluralidad de posiciones en fibras ópticas mono-modo usando la dispersión de luz de Rayleigh, un interrogador Reflectómetro Óptico de Retrodispersión (OBR), un dispositivo de interfase y un Sistema de Adquisición, estando dichas fibras ópticas mono-modo  
10 unidas a la pala sometida a dichos ensayos para obtener medidas de la deformación de la pala durante dichos ensayos con una alta resolución espacial, caracterizado porque comprende los siguientes pasos:

a) instalar dentro de la pala un primer cable (13) de fibra óptica mono-modo a lo largo de los borde de ataque y salida y un segundo y tercer cables  
15 (14, 15) de fibra óptica mono-modo en ambos lados de la pala (9) a lo largo de una sección longitudinal central, dejando en dichos cables (13, 14, 15) un extremo libre para su conexión con un equipo externo;

b) aplicar una o más cargas a la pala (9) en un banco de ensayos (10) situado en la fábrica de palas que comprende un primer y un segundo soportes  
20 fijos (11, 12) y medios para rotar la pala (9);

c) obtener la distribución de las deformaciones producidas por dicha carga o cargas a lo largo de la pala (9) con un equipo externo apropiado conectado al extremo libre de por lo menos uno de dichos cables (13, 14, 15) para medir las deformaciones usando la dispersión de luz de Rayleigh;

d) determinar la distribución de dicha propiedad física a partir de dicha distribución de las deformaciones;

e) comparar la distribución de dicha propiedad física con su distribución de diseño;

caracterizado porque dicha propiedad física es la distribución longitudinal de la masa de la pala; la pala (9) es colocada en el dicho banco de ensayos (10)  
30 en posición de batimiento sometida a su propio peso y se llevan cabo unas

primeras medidas de las deformaciones a lo largo de dicho segundo cable (14); la pala (9) se gira la pala 180° en dicho banco de ensayos (10) y se llevan a cabo unas segundas medidas de las deformaciones a lo largo de dicho tercer cable (15); la distribución longitudinal de la masa de la pala se determina a partir de la distribución longitudinal de la masa de la pala se determina a partir de una distribución de la rigidez a flexión en batimiento obtenida previamente y de las primeras y segundas distribuciones de deformaciones resultantes de dichas primeras y segundas medidas de las deformaciones, teniendo en cuenta que, con respecto a la primera distribución, la segunda distribución está producida por el doble del peso propio de la pala (9).

2.- Método de ensayo según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha propiedad física es la rigidez a flexión en batimiento; la pala (9) es colocada en dicho banco de ensayos (10) en posición de batimiento (9') y la carga (F) se aplica en una sección de la pala entre dichos soportes (11, 12); y las medidas de las deformaciones se llevan a cabo a lo largo del segundo y tercer cables (14, 15).

3.- Método de ensayo según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha propiedad física es la rigidez a flexión en arrastre; la pala (9) se coloca en dicho banco de ensayos (10) en posición de arrastre (9'') y la carga (F) se aplica en una sección de la pala entre dichos soportes (11, 12); y las medidas de las deformaciones se llevan a cabo a lo largo del primer cable (13).

4.- Método de ensayo según la reivindicación 2, que comprende los siguientes pasos:

f) aplicar una carga (F') a la pala (9) en un banco de ensayos (10') apropiado situado fuera de la fábrica de palas;

g) obtener la distribución de deformaciones producida por dicha carga (F') a lo largo de la pala (9) usando un equipo externo apropiado conectado al extremo libre de dichos segundo y tercer cables (14, 15) para medir las deformaciones usando la dispersión de luz de Rayleigh;

h) determinar la distribución de la rigidez a flexión en batimiento a partir de dicha distribución de deformaciones;

i) comparar la distribución de la rigidez a flexión en batimiento con la determinada en la fábrica de palas.

5

5.- Método de ensayo según la reivindicación 3, que comprende los siguientes pasos:

f) aplicar una carga ( $F'$ ) a la pala (9) en un banco de ensayos (10) apropiado situado fuera de la fábrica de palas;

10 g) obtener la distribución de deformaciones producida por dicha carga ( $F'$ ) a lo largo de la pala (9) usando un equipo externo apropiado conectado al extremo libre de dicho primer cable (13) para medir las deformaciones usando la dispersión de luz de Rayleigh;

15 h) determinar la distribución de la rigidez a flexión en arrastre a partir de dicha distribución de deformaciones;

i) comparar la distribución de la rigidez a flexión en arrastre con la determinada en la fábrica de palas.

20 6.- Método de ensayo según las reivindicaciones 4-5, caracterizado porque dichos pasos se llevan a cabo en cualquier lugar fuera de la fábrica de palas antes de montar la pala en un aerogenerador.

25 7.- Método de ensayo según las reivindicaciones 4-5, caracterizado porque dichos pasos se llevan a cabo con la pala (9) montada en un aerogenerador, siendo por tanto el banco de ensayos (10') el propio aerogenerador, utilizando un dispositivo externo para la aplicación de la carga ( $F'$ ) en una sección cercana a la punta de la pala (9).

30 8.- Método de ensayo según la reivindicación 7, caracterizado porque dicho dispositivo externo es una cuerda (33) atada a una sección de la pala (9)

cercana a su punta que esta accionada por un motor (31) colocado en el suelo y guiada por una polea (33) fijada a la torre del aerogenerador.

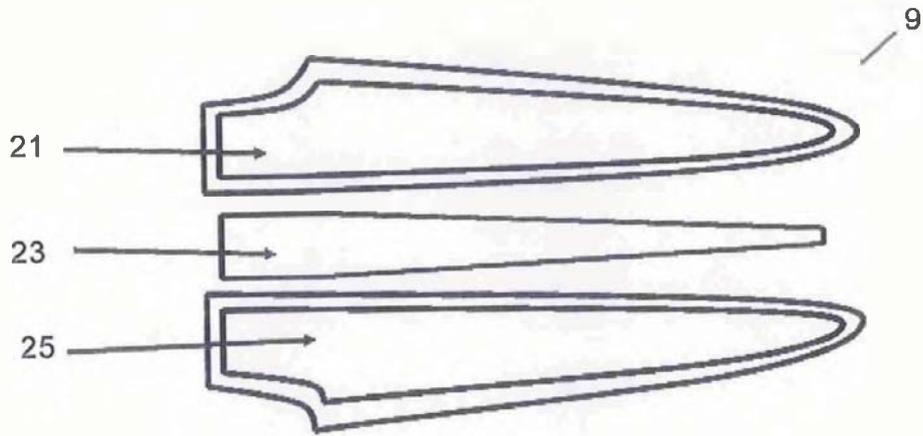


FIG. 1

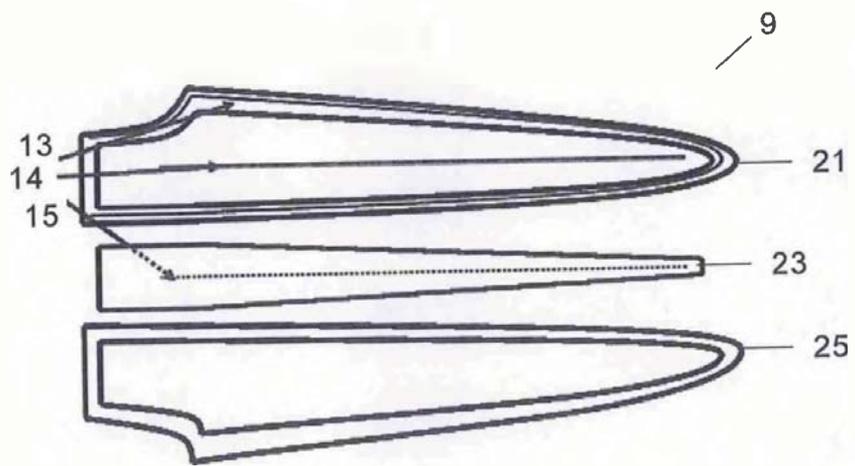


FIG. 2

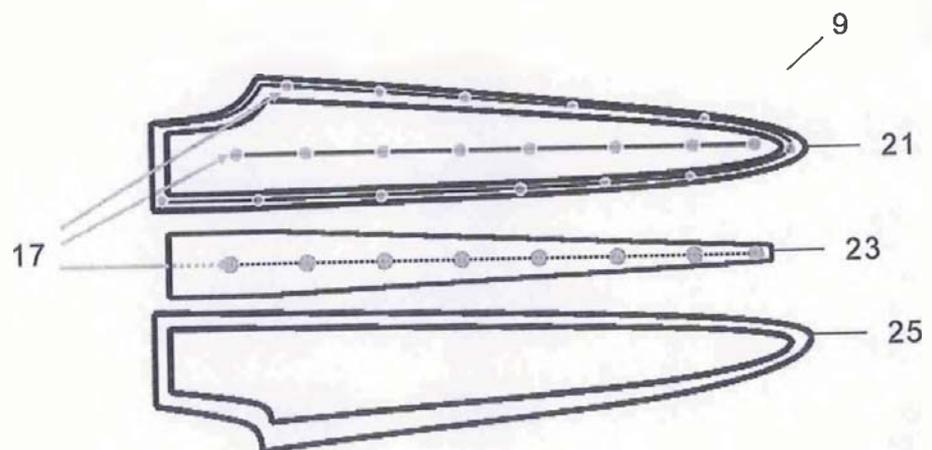


FIG. 3

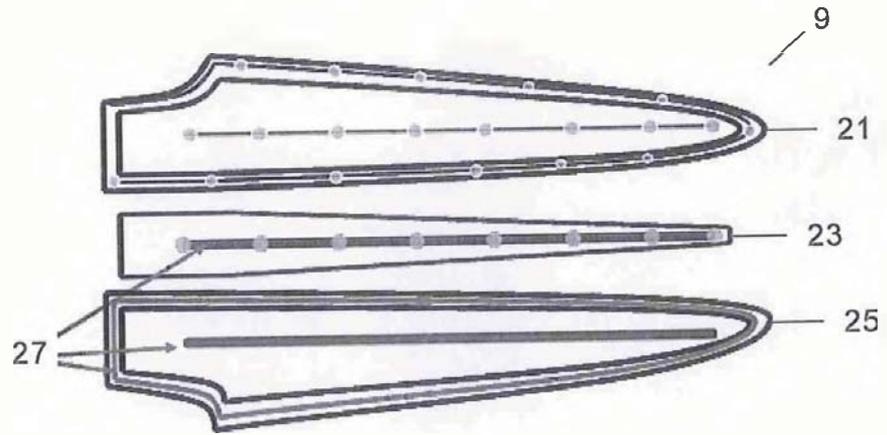


FIG. 4

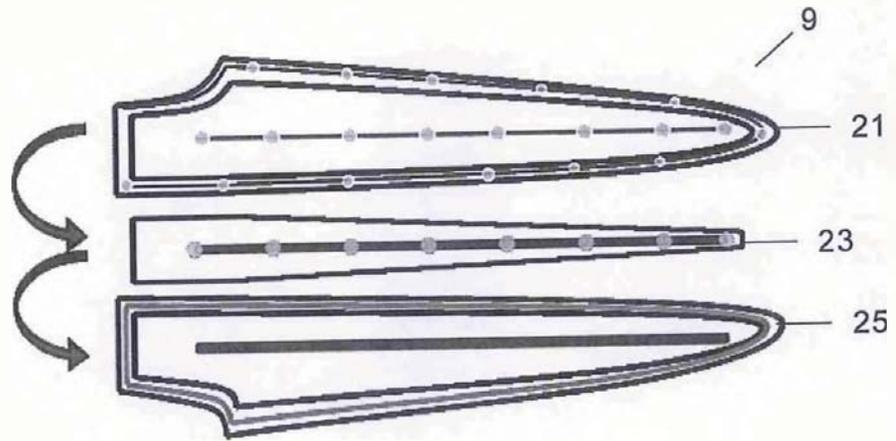


FIG. 5

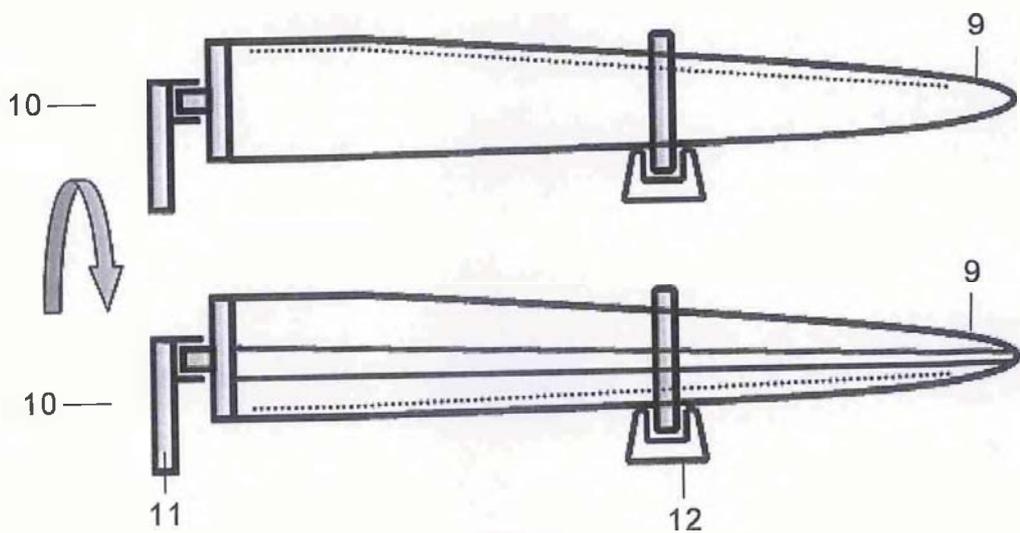


FIG. 6

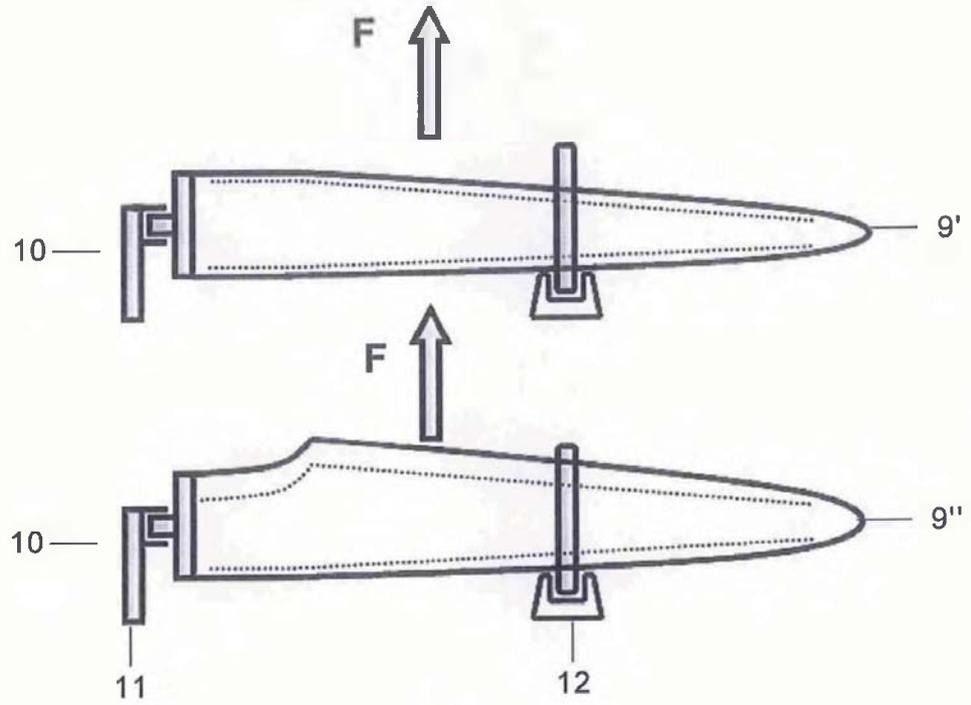


FIG. 7

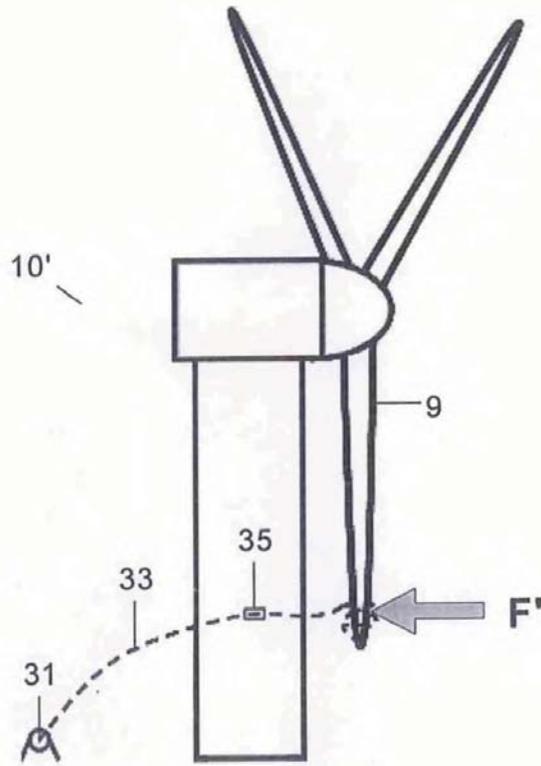


FIG. 8