

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 694 659**

51 Int. Cl.:

F03D 1/00 (2006.01)

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 13/35 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2014** **E 14382538 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018** **EP 3034861**

54 Título: **Método de equilibrado de rotores de turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.12.2018

73 Titular/es:

NORDEX ENERGY SPAIN, S.A.U. (100.0%)
Polígono Industrial Barasoain, Parcela 2
31395 Barasoain (Navarra), ES

72 Inventor/es:

ARLABÁN GABEIRAS, TERESA;
GASTON LUJAMBIO, ANDER;
GOROSTIDI MAGAÑA, ALVARO;
GARCÍA SAYÉS, JOSÉ MIGUEL y
NÚÑEZ POLO, MIGUEL

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 694 659 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

Método de equilibrado de rotores de turbina eólica

5 Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un método de equilibrado de rotor de turbina eólica que hace que sea posible reducir el material y el tiempo usados para lograr que cada una de las palas que integran un rotor cumplan las especificaciones de masa y la máxima diferencia de masa permitida entre las mismas.

10 El objeto de la presente invención es un método de equilibrado de rotor de turbina eólica que hace que sea posible aumentar la posibilidad de agrupar las palas en parejas, en el caso de rotores de dos palas, y en tríos, para rotores de tres palas, con valores similares de un parámetro relacionado con la masa de la pala.

15 Antecedentes de la invención

Para evitar la aparición de cargas no deseadas para las que no se ha diseñado la turbina eólica, los componentes de la misma tienen que fabricarse de acuerdo con tolerancias dimensionales y de masa máximas entre los mismos.

20 Uno de los componentes más críticos en este sentido son las palas de rotor, ya que las desviaciones en su peso nominal y en su momento estático con respecto al eje de rotor pueden introducir altas cargas y vibraciones en la turbina eólica. Estas no solo deben fabricarse individualmente de acuerdo con las tolerancias de peso máximas, la tolerancia habitualmente dada como un porcentaje con respecto al peso nominal, sino también verificar las condiciones en la relación entre los valores tomados por los parámetros de cada una de las dos palas que forman el rotor en el caso de los rotores de dos palas, o de las tres palas que forman el rotor en el caso de los rotores de tres palas.

Estos parámetros son:

- 30 • momento estático con respecto al eje de rotor;
- máxima diferencia de peso entre las palas.

Habitualmente, es necesario hacer correcciones en las palas para lograr que tanto las palas individualmente como las parejas o tríos de palas entren dentro de las especificaciones. Con este fin, las cámaras de equilibrado se disponen, en general, dentro de las palas para alojar la cantidad de material necesario para lograrlo, dependiendo de la magnitud de los parámetros anteriores.

Dada la importancia de que las palas estén perfectamente dentro de las tolerancias mencionadas anteriormente, es habitual que dicho agrupamiento en parejas o tríos de palas para un rotor y la corrección consiguiente, si fuera necesaria, se realicen en las plantas de fabricación de palas.

45 Dependiendo de los requisitos y plazos de entrega, es habitual que cada pareja o trío consecutivo de palas, es decir, consecutivamente fabricado, se agrupe para formar un rotor, lo que implica que es necesario corregir las diferencias entre las palas, habitualmente debidas a la dispersión en la fabricación, para formar parejas o tríos de palas equilibradas de manera que puedan agruparse como rotores.

No realizar una corrección adecuada de las dispersiones entre las palas para alcanzar un equilibrio adecuado de los rotores, para lograr que el momento estático resultante de todos ellos en el eje de rotor sea cero, puede tener repercusiones importantes en términos de cargas y vibraciones en los generadores eólicos en los que se montan, que, en ocasiones, implican acciones costosas in situ para mitigarlas una vez que se han instalado las palas en la turbina eólica; se requiere implementar métodos para realizar el equilibrado de rotor in situ, tal como el que se desvela en la patente US5140856 A o en el documento "Reducing vibration by balancing rotor blades". Erneuerbare Energien 08/2009. Prüftechnik.

55 En la planta de fabricación de palas, se realiza la etapa de medición y/o caracterización del peso y/o momento estático de las palas. Algunos métodos para la caracterización del momento estático de las palas se describen en las patentes EP2233904B1 y US4078422.

60 Se considera una aproximación válida que un rotor esté equilibrado cuando la suma de vectores de los momentos estáticos de las palas con respecto al eje de rotor sea cero. En general, se considera que un rotor cumple con las especificaciones si el desequilibrio estático resultante está por debajo de un valor umbral que se tuvo en cuenta al hacer los cálculos de carga y diseño de la turbina eólica.

65 Los documentos US2003/141721A1 y CN103335059A desvelan otros ejemplos de la técnica anterior de métodos de equilibrado de rotor de turbina eólica.

Si dichas especificaciones no se alcanzan con las palas que se fabrican, deben equilibrarse los rotores, lográndose esto, en general, a posteriori mediante la colocación de masas en ciertos puntos de las palas.

5 El método de equilibrado de rotor de turbina eólica de la presente invención reduce la cantidad requerida de material para equilibrar los rotores de un parque eólico, con la consiguiente reducción de tiempo, además de ser aún capaz de reducir las tolerancias en los rotores a una tolerancia próxima a cero y, por lo tanto, reducir al mínimo las vibraciones y las cargas periódicas asociadas al desequilibrio de masa de rotor, por pequeño que sea.

10 Descripción de la invención

10 El método de equilibrado de rotor de turbina eólica de la presente invención comprende realizar la identificación de las palas que formarán un rotor de turbina eólica, es decir, el agrupamiento de palas para formar rotores, de acuerdo con al menos un parámetro seleccionado a partir de la diferencia de peso entre las palas y el momento estático de cada una de las mismas con respecto a un punto de referencia después de una etapa de almacenamiento de palas
15 realizada en una zona de almacenamiento con mayor capacidad que el almacenamiento realizado en la planta donde se fabrican las palas antes de la etapa de transporte. En otras palabras, cuando ya hay un gran número de palas fabricadas y se han medido sus parámetros, aumenta estadísticamente la probabilidad de tener más palas con valores similares de los parámetros de acuerdo con los que se agrupan las palas, de manera que este agrupamiento tiende a realizarse de forma natural.

20 El método de equilibrado de rotor de turbina eólica de la presente invención comprende las siguientes etapas:

- una etapa de fabricación de palas realizada en una planta de fabricación de palas;
- una etapa de almacenamiento de palas realizada en la planta de fabricación de palas;
- 25 • una etapa de cuantificación del valor de al menos un parámetro relacionado con la masa de cada pala;
- una etapa de identificación de las palas que formarán el rotor de turbina eólica de acuerdo con el al menos un parámetro relacionado con la masa de la pala;
- al menos una etapa de transporte de las palas desde la planta de fabricación de palas a una primera zona de almacenamiento de palas;
- 30 • una etapa de almacenamiento de palas realizada en la primera zona de almacenamiento, comprendiendo la etapa de almacenamiento de palas el almacenamiento de un número mayor de palas que el número de palas que comprende el rotor de la turbina eólica;

35 en el que la etapa de identificación de las palas se realiza después de la etapa de almacenamiento de palas realizada en la primera zona de almacenamiento de palas, siendo dicha primera zona de almacenamiento de palas de mayor capacidad que el almacenamiento realizado en la planta de fabricación de palas.

La etapa de identificación de las palas puede realizarse en la primera zona de almacenamiento de palas.

40 Habitualmente, la planta de fabricación de palas tiene una segunda zona de almacenamiento de palas en la que puede realizarse el almacenamiento de algunas palas, antes de la etapa de transporte de las palas desde la planta de fabricación de palas a la primera zona de almacenamiento de palas y siempre que los plazos y la disponibilidad de los medios de transporte así lo permitan. Sin embargo, habitualmente, el número de palas almacenadas antes del transporte en esta segunda zona de almacenamiento de palas es reducido. Esto trae como consecuencia
45 disparidades entre los valores de los parámetros relacionados con la masa de dichas palas que pueden ser grandes y, por lo tanto, conducirían a grandes desequilibrios en los rotores que las comprenden. Para evitar esto, en el estado de la técnica, dichas diferencias se corrigen en la planta de fabricación, de manera que los rotores ya equilibrados se entregan al comprador, lo que requiere grandes cantidades de material.

50 Opcionalmente, en la etapa de cuantificación del valor de al menos un parámetro relacionado con la masa de la pala, se cuantifica uno o varios de entre los siguientes parámetros:

- la masa nominal de la pala;
- el centro de gravedad de la pala;
- 55 ◦ el momento estático de la pala.

En la etapa de identificación de las palas que formarán el rotor de turbina eólica de acuerdo con el al menos un parámetro relacionado con la masa de la pala, se obtiene como resultado las palas que se montarán en la misma turbina eólica, formando de este modo su rotor. De este modo, por ejemplo, numerando en un parque eólico de 30
60 turbinas eólicas los rotores del 1 al 30, las palas se identifican como 1.1, 1.2 1.3, 2.1, 2.2, 2.3, ... y así sucesivamente hasta 30.1, 30.2, 30.3, donde las palas 1.1, 1.2, 1.3 son las que se montarán en la turbina eólica 1, las palas 2.1, 2.2, 2.3 son las que se montarán en la turbina eólica 2, y así sucesivamente hasta 30.1, 30.2, 30.3 que serán las montadas en la turbina eólica 30.

65 La primera zona de almacenamiento a donde se transportan las palas desde la planta de fabricación en la etapa de transporte de las palas puede encontrarse a varios kilómetros de distancia de la planta de fabricación.

Opcionalmente, el método comprende además una etapa de transporte de las palas desde la primera zona de almacenamiento de palas a la turbina eólica en el lugar.

- 5 En la primera zona de almacenamiento de palas, se realiza preferentemente el almacenamiento de un mayor número de palas del tipo suministrado para la turbina eólica especificada que el almacenamiento de palas del mismo tipo realizado en una zona asignada para dicho fin en las proximidades de la planta de fabricación antes de la etapa de transporte a la primera zona de almacenamiento.
- 10 El hecho de realizar la etapa de identificación de palas después de la etapa de almacenamiento de palas realizada en la primera zona de almacenamiento permite el agrupamiento de las palas, entendiéndose por agrupamiento identificar las parejas en rotores de dos palas, y/o los tríos en rotores de tres palas que formarán el rotor de la turbina eólica, a partir de una población de palas mayor que la disponible en la planta de fabricación, de manera que se logre aumentar estadísticamente la probabilidad de tener más palas con valores similares al parámetro relacionado con la masa de pala.
- 15

Preferentemente, antes de la etapa de identificación de las palas, se realiza en la primera zona de almacenamiento el almacenamiento de un número de palas suficiente para el agrupamiento natural de las palas de acuerdo con los valores de los parámetros relacionados con la masa de las palas, es decir, un número que aumenta la probabilidad de tener más palas con valores similares de los parámetros relacionados con la masa de las palas. Se ha identificado que a partir de un número de palas equivalente al número de palas de al menos tres rotores de turbina eólica, los parámetros indicativos de las palas tienden a agruparse en tres grupos de forma natural, minimizando la cantidad de masa requerida para el equilibrado. Por lo tanto, preferentemente en la etapa de almacenamiento de palas realizada en la primera zona de almacenamiento de palas, se realiza el almacenamiento de un número de palas equivalente al número de palas de al menos tres rotores de turbina eólica. En cualquier caso, es preferible almacenar las palas principalmente como lo permiten los plazos de entrega o las dimensiones de los medios de transporte seleccionados.

20

25

De esta manera, el método de la presente invención, al hacer que el número de palas almacenadas antes de la etapa de identificación de las palas sea independiente del número de palas que es posible almacenar en la planta de fabricación de palas, ya sea debido a la capacidad de la planta de fabricación o debido a los plazos de entrega, ofrece las siguientes ventajas:

30

- por una parte, las tolerancias permitidas en el desequilibrio de masa de rotor pueden ser menores, lo que lleva a un menor nivel de cargas y vibraciones cuando la turbina eólica está en funcionamiento;
 - además, la masa requerida para el equilibrado de rotor debe ser más pequeña, e incluso puede reducirse, lo que significa un menor peso final de las palas y un menor uso de materiales;
 - además, de esta manera, la distribución de masa de pala no se altera artificialmente, lo que implicaría un cambio en la distribución de las rigideces y en su frecuencia natural, lo que también alteraría su comportamiento con respecto al diseño.
- 35
- 40

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra una vista en alzado de la planta de fabricación de palas que comprende una primera zona de almacenamiento de palas del método de equilibrado de rotor de turbina eólica de la presente invención.

La figura 2 muestra una vista esquemática que representa la etapa de transporte de las palas desde la planta de fabricación de palas a la planta de almacenamiento de palas.

La figura 3 muestra una vista en planta de la planta de almacenamiento de palas que comprende una primera zona de almacenamiento de palas en la que se realiza la etapa de agrupamiento de palas del método de equilibrado de rotor de turbina eólica de la presente invención.

La figura 4 muestra una vista esquemática que representa la etapa de transporte de las palas ya agrupadas desde la planta de almacenamiento de palas a la turbina eólica en el sitio.

La figura 5 muestra una vista en alzado de una pala con al menos una cámara de equilibrado para realizar la etapa de equilibrado de rotor del método de equilibrado de rotor de turbina eólica de la presente invención.

La figura 6 muestra una vista en sección AA de la figura 5.

45

50

55

Realización preferida de la invención

El método de equilibrado de rotor de turbina eólica de la presente invención, que comprende las siguientes etapas, se describirá en detalle a continuación:

60

- una etapa de fabricación de palas (1) realizada en una planta de fabricación (2) de palas (1);
 - una etapa de cuantificación del valor de al menos un parámetro relacionado con la masa de la pala (1);
 - una etapa de identificación de las palas (1) que formarán el rotor de una turbina eólica (7) de acuerdo con el al menos un parámetro relacionado con la masa de cada pala;
 - al menos una etapa de transporte de las palas desde la planta de fabricación (2) de palas (1) a una primera zona
- 65

de almacenamiento (5) de palas (1);

- una etapa de almacenamiento de palas (1) realizada en la primera zona de almacenamiento (5), comprendiendo la etapa de almacenamiento de palas (1) el almacenamiento de un número mayor de palas (1) que el número de palas (1) que comprende el rotor (3) de la turbina eólica, realizándose la etapa de identificación de las palas después de la etapa de almacenamiento de palas (1).

La etapa de identificación de las palas (1) puede realizarse en la primera zona de almacenamiento de palas.

En este ejemplo de realización preferida, el almacenamiento de al menos un número de palas equivalente al número de palas de al menos tres rotores de la turbina eólica (7) se realiza en la etapa de almacenamiento de palas (1).

La etapa de identificación de las palas (1) que formarán el rotor de una turbina eólica (7) de acuerdo con el al menos un parámetro relacionado con la masa de cada pala (1) comprende realizar una comparación entre los parámetros relacionados con la masa de cada una de las palas (1).

La etapa de identificación de las palas (1) que formarán el rotor de una turbina eólica (7) de acuerdo con el al menos un parámetro relacionado con la masa de cada pala (1) comprende, además, agrupar las palas (1) en grupos de tantas palas (1) como palas (1) tenga cada rotor por criterios de proximidad de los parámetros relacionados con la masa de cada pala (1).

Se identifican las palas (1) y se guardan los registros de las características de cada pala de ese rotor en caso de que sea necesario reemplazar o reparar cualquiera de las palas (1). Por lo tanto, se conocen las características deseadas para la pala (1) que tendría que reemplazar a la que se ha roto.

La etapa de cuantificación del valor de al menos un parámetro relacionado con la masa de la pala se realiza en la planta de fabricación (2) de palas (1). Este parámetro relacionado con la masa de la pala se cuantifica usando una o dos escalas, que permiten determinar la masa de la pala (1), el momento estático de la pala (1) y/o el centro de gravedad de la pala (1).

El parámetro relacionado con la masa de la pala (1) calculado es uno o varios de entre los siguientes:

- la masa nominal de la pala (1);
- el centro de gravedad de la pala (1);
- el momento estático de la pala (1).

En un primer ejemplo de realización, el método de equilibrado de rotor de turbina eólica (7) comprende además las siguientes etapas:

- una etapa de estimación de un momento estático resultante de las palas (1) que formarán el rotor de una turbina eólica (7) con respecto a una referencia geométrica común;
- una etapa de comparación del momento estático resultante con un primer umbral predeterminado; y,
- una etapa de equilibrado de rotor si el momento estático resultante está por encima del primer umbral predeterminado.

Dichas etapas se realizan para cada uno de los rotores resultantes de la etapa de identificación de las palas (1).

La referencia geométrica común con respecto a la que se realiza la etapa de estimación del momento estático resultante de cada grupo de palas (1) es el punto donde se cruzan los ejes de las palas (1).

El primer umbral determinado establece el nivel a partir del que debe realizarse el equilibrado de rotor. Para realizar el equilibrado, las masas se incluirán en las cámaras de equilibrado (6) proporcionadas para dicho fin en las palas (1).

En un segundo ejemplo de realización alternativa a la primera, el método de equilibrado de rotor de turbina eólica comprende además las siguientes etapas:

- una etapa de cálculo, para cada una de las posibles combinaciones de las palas (1) en parejas que formarán el rotor de una turbina eólica (7), de la diferencia entre los momentos estáticos de las palas (1);
- una etapa de determinación de la mayor de las diferencias de los momentos estáticos de las palas (1) de cada una de las posibles combinaciones de las palas (1) en parejas que formarán el rotor de una turbina eólica (7);
- una etapa de comparación de la mayor de las diferencias de los momentos estáticos de las palas (1) con un segundo umbral predeterminado; y,
- una etapa de equilibrado de rotor si la mayor de las diferencias de los momentos estáticos de las palas (1) supera el segundo umbral predeterminado.

Para el primero de los ejemplos descritos anteriormente, en la etapa de equilibrado de rotor, se realiza una

monitorización del momento estático resultante de cada grupo de palas (1) resultante de la etapa de identificación de las palas (1).

5 Para realizar la etapa de equilibrado de rotor de los ejemplos anteriores, una masa de equilibrado se coloca en el interior de al menos una pala (1) de cada grupo de palas (1). Habitualmente, al menos una cámara de equilibrado (6) está dispuesta en el interior de cada pala (1), cuyo fin es alojar la cantidad de masa necesaria para lograr que el desequilibrio esté dentro de las tolerancias. Esta cámara de equilibrado debe localizarse en una posición predeterminada, localizándose, de manera preferente, sustancialmente alejada de la raíz de pala con el objetivo de anular o introducir dentro de las tolerancias el momento estático resultante del rotor con respecto al eje de rotación
10 con la menor cantidad de masa necesaria.

Como alternativa, en la etapa de equilibrado de rotor de los ejemplos anteriores, se coloca una masa de equilibrado en el cubo de rotor.

15 La etapa de equilibrado de rotor del primer ejemplo de realización comprende además una etapa de estimación de la cantidad de masa a incluir, de manera que el momento estático resultante esté por debajo de un tercer umbral predeterminado que también puede ser el primer umbral predeterminado.

20 En cualquiera de los dos ejemplos anteriores de realización, la etapa de equilibrado de rotor se realiza:

- con las palas no montadas en el cubo, o
- con las palas montadas en el cubo pero sin montar el conjunto de turbina eólica, o
- con las palas montadas en el cubo y en el conjunto de turbina eólica.

25 Preferentemente, la etapa de equilibrado se realiza en la primera zona de almacenamiento (5) o en un parque eólico.

30 La primera zona de almacenamiento (5) de palas (1) en la que la etapa de almacenamiento de palas (1) se realiza antes de la etapa de identificación de las palas (1) está en un punto intermedio entre la planta de fabricación (2) de palas (1) y un parque eólico, como un depósito cercano a una zona portuaria, un depósito dispuesto en una zona portuaria o una embarcación para el transporte de palas (1), o la primera zona de almacenamiento (5) de palas (1) en la que la etapa de almacenamiento de palas (1) se realiza en el parque eólico.

REIVINDICACIONES

1. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica que comprende las siguientes etapas:

- 5
- una etapa de fabricación de palas (1) realizada en una planta de fabricación (2) de palas (1);
 - una etapa de almacenamiento de palas (1) realizada en la planta de fabricación (2) de palas (1);
 - una etapa de cuantificación del valor de al menos un parámetro relacionado con la masa de la pala (1);
 - una etapa de identificación de las palas (1) que formarán el rotor de una turbina eólica (7) de acuerdo con el al menos un parámetro relacionado con la masa de cada pala;
- 10
- al menos una etapa de transporte de las palas desde la planta de fabricación (2) de palas (1) a una primera zona de almacenamiento (5) de palas (1);
 - una etapa de almacenamiento de palas realizada en la primera zona de almacenamiento (5) de palas (1), comprendiendo la etapa de almacenamiento de palas el almacenamiento de un número mayor de palas (1) que el número de palas (1) que comprende el rotor (3) de la turbina eólica; en el que la etapa de identificación de las palas se realiza después de la etapa de almacenamiento de palas realizada en la primera zona de almacenamiento (5) de palas (1), siendo dicha primera zona de almacenamiento (5) de palas (1) de mayor capacidad que el almacenamiento realizado en la planta de fabricación (2) de palas (1).
- 15

20 2. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que en la etapa de almacenamiento de palas (1) realizada en la primera zona de almacenamiento (5) de palas (1) se realiza el almacenamiento de un número de palas equivalente al número de palas de al menos tres rotores de la turbina eólica (7).

25 3. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de identificación de las palas (1) que formarán el rotor de una turbina eólica (7) de acuerdo con el al menos un parámetro relacionado con la masa de cada pala (1) comprende realizar una comparación entre los parámetros relacionados con la masa de cada una de las palas (1).

30 4. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la etapa de identificación de las palas (1) que formarán el rotor de una turbina eólica (7) de acuerdo con el al menos un parámetro relacionado con la masa de cada pala (1) comprende agrupar las palas (1) en grupos de tantas palas (1) como palas (1) tenga cada rotor por criterios de proximidad de los parámetros relacionados con la masa de cada pala (1).

35 5. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de cuantificación del valor de al menos un parámetro relacionado con la masa de cada pala (1) se realiza en la planta de fabricación (2) de palas (1).

40 6. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que en la etapa de cuantificación del valor de al menos un parámetro relacionado con la masa de la pala (1) se cuantifica uno o varios de entre los siguientes:

- 45
- la masa nominal de la pala (1);
 - el centro de gravedad de la pala (1);
 - el momento estático de la pala (1).

7. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además las siguientes etapas:

- 50
- una etapa de estimación de un momento estático resultante de las palas (1) que formarán el rotor de una turbina eólica (7) con respecto a una referencia geométrica común;
 - una etapa de comparación del momento estático resultante con un primer umbral predeterminado; y, una etapa de equilibrado de rotor si el momento estático resultante está por encima del primer umbral predeterminado.

55 8. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende, además, las siguientes etapas:

- 60
- una etapa de cálculo, para cada una de las posibles combinaciones de las palas (1) en parejas que formarán el rotor de una turbina eólica (7), de la diferencia entre los momentos estáticos de las palas (1);
 - una etapa de determinación de la mayor de las diferencias de los momentos estáticos de las palas (1) de cada una de las posibles combinaciones de las palas (1) en parejas que formarán el rotor de una turbina eólica (7);
 - una etapa de comparación de la mayor de las diferencias de los momentos estáticos de las palas (1) con un segundo umbral predeterminado; y una etapa de equilibrado de rotor si la mayor de las diferencias de los momentos estáticos de las palas (1) supera el segundo umbral predeterminado.
- 65

9. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 8, en el que

la etapa de equilibrado de rotor comprende una etapa de colocación de una masa de equilibrado en el interior de al menos una pala (1) de cada grupo de palas (1) para realizar la etapa de equilibrado.

5 10. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 8, en el que la etapa de equilibrado de rotor comprende una etapa de colocación de una masa de equilibrado en el cubo de rotor.

10 11. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la etapa de equilibrado de rotor comprende, además, una etapa de estimación de la cantidad de masa que ha de colocarse de manera que el momento estático resultante esté por debajo de un tercer umbral predeterminado.

12. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, en el que la etapa de equilibrado de rotor se realiza:

- 15
- con las palas (1) no montadas en el cubo, o
 - con las palas (1) montadas en el cubo pero sin montar el conjunto de turbina eólica, o
 - con las palas (1) montadas en el cubo y en el conjunto de turbina eólica.

20 13. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, en el que la etapa de equilibrado se realiza en la primera zona de almacenamiento (5) o en un parque eólico.

25 14. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera zona de almacenamiento (5) de palas (1) en la que se realiza la etapa de almacenamiento de palas (1) está en un punto intermedio entre la planta de fabricación (2) de palas (1) y un parque eólico, como un depósito cercano a una zona portuaria, un depósito dispuesto en una zona portuaria o una embarcación para transportar palas (1).

30 15. Método de equilibrado de rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que la primera zona de almacenamiento (5) de palas (1) en la que se realiza la etapa de almacenamiento de palas (1) está en el parque eólico.

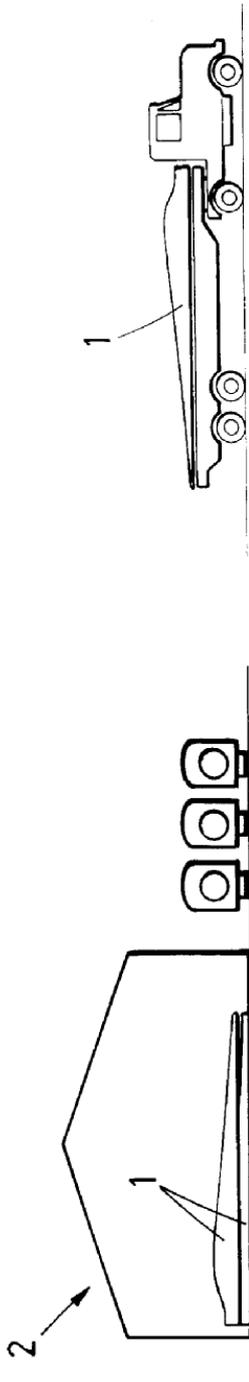


FIG. 1

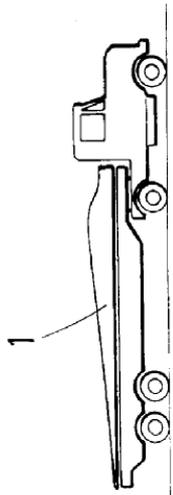


FIG. 2

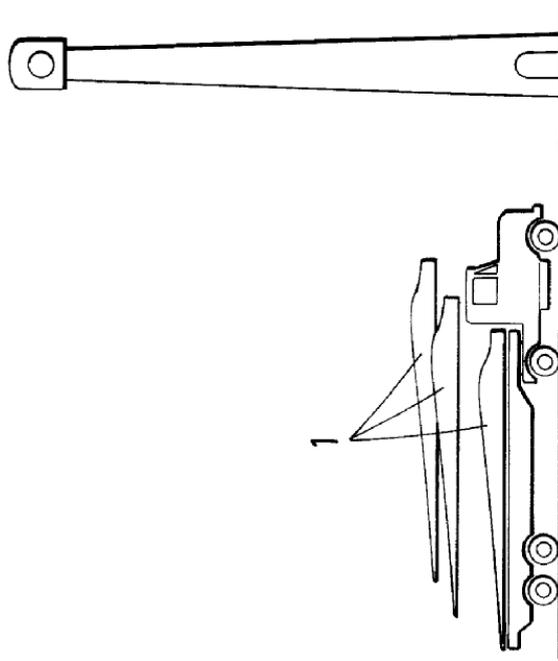


FIG. 4

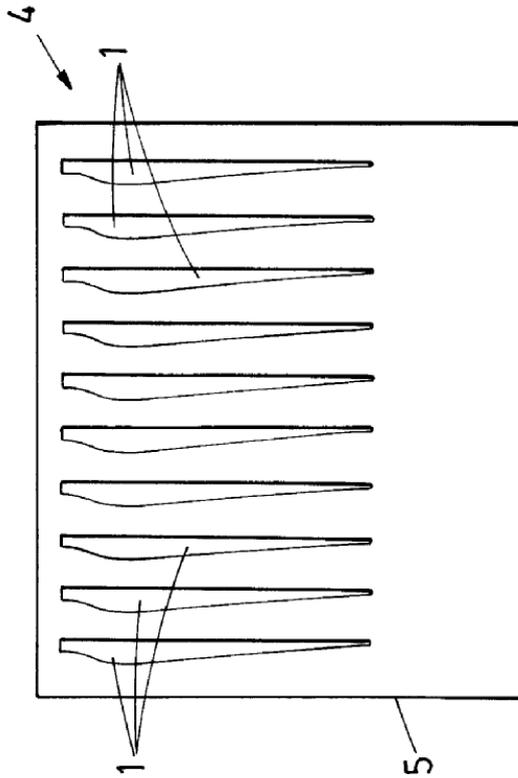


FIG. 3

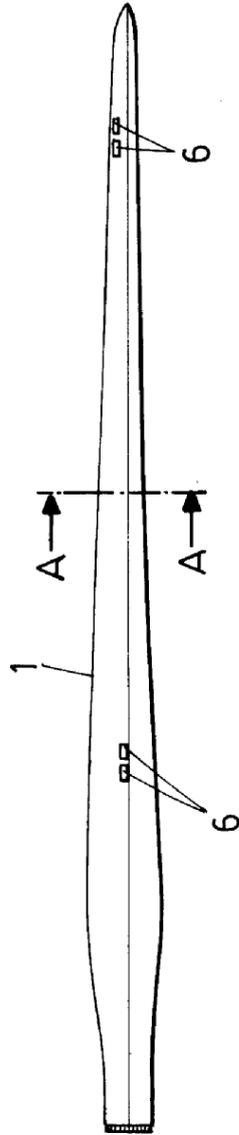


FIG. 5

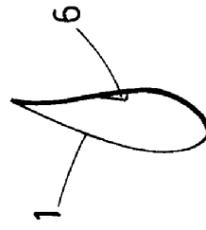


FIG. 6
A-A