

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 532 177**

51 Int. Cl.:

F03D 11/00 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.01.2012 E 12382008 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.12.2014 EP 2615303**

54 Título: **Calibración de sensores de carga en pala**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.03.2015

73 Titular/es:

ALSTOM RENEWABLE TECHNOLOGIES (100.0%)
82, Avenue Léon Blum
38100 Grenoble, FR

72 Inventor/es:

GARATE ÁLVARO, JOSÉ MIGUEL y
PINEDA AMO, ISAAC

74 Agente/Representante:

ZEA CHECA, Bernabé

ES 2 532 177 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

CALIBRACIÓN DE SENSORES DE CARGA EN PALA

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para calibrar uno o más sensores de carga de una pala de una turbina eólica, y a una turbina eólica adecuada para llevar a cabo dicho procedimiento.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10

Las turbinas eólicas modernas son comúnmente utilizadas para suministrar electricidad a la red eléctrica. Las turbinas eólicas generalmente comprenden un rotor con un buje de rotor y una pluralidad de palas. El rotor es puesto en rotación bajo la influencia del viento en las palas. Dicha rotación genera un par que normalmente es transmitido, ya sea directamente o a través del uso de una multiplicadora, a un generador principal a través de un eje de rotor. De esta forma, el generador principal produce electricidad para ser suministrada a la red eléctrica.

15

Las turbinas eólicas pueden comprender sistemas de ángulo de paso que son utilizados para adaptar la posición de las palas a las condiciones variantes del viento mediante la rotación de cada pala a lo largo de su eje longitudinal. Las turbinas eólicas también pueden comprender sensores de carga en las palas para medir las cargas en las palas causadas por ejemplo por el viento y/o el peso de las palas.

20

Cargas demasiado grandes en las palas pueden p.ej. dañar las palas y/o causar velocidades de rotación no deseadas del rotor, las cuales pueden dañar otros componentes de la turbina eólica. Los sensores de carga en pala permiten detectar cargas elevadas y hacen posible reaccionar, p.ej. actuando en los sistemas de ángulo de paso de tal modo que las cargas en las palas pueden ser reducidas. Estos ajustes en las palas a través de los sistemas de ángulo de paso pueden alargar la vida de la turbina eólica y/o reducir el coste de producir energía.

25

Los sensores de carga en pala pueden ser calibrados para preservar su precisión en la toma de medidas de las cargas en las palas. La calibración normalmente comprende el establecimiento de una correspondencia entre las indicaciones generadas por los sensores de carga en pala y unos valores de referencia de acuerdo con unos patrones de calibración (i.e. condiciones particulares de calibración). Si el proceso de calibración produce alguna inconsistencia, pueden llevarse a cabo ajustes adecuados en los sensores de carga para mejorar su precisión.

30

Es conocido que los sensores de carga pueden ser calibrados manualmente en una fábrica p.ej. tirando de las palas en estático para obtener unas condiciones de calibración particulares. Esta calibración manual es realizada normalmente antes de que las palas sean montadas en la turbina eólica. No obstante, a lo largo del tiempo, los sensores de carga pueden necesitar su re-calibración.

35

También es conocido que los sensores de carga pueden ser calibrados manualmente cuando las palas están montadas en la turbina eólica mediante una actuación manual (i.e. mecánicamente) en la turbina eólica para p.ej. situar la pala en una posición particular (p.ej. posición horizontal) con un ángulo de paso concreto. Esta calibración manual permite el recalibrado regular de los sensores de carga. No obstante, este tipo de calibración puede requerir un largo tiempo y puede ser especialmente caro para turbinas eólicas en el mar (en inglés: offshore) porque los operadores necesitan desplazarse hasta el lugar donde la turbina eólica está ubicada.

40

También es conocido el uso de calibración automática de sensores de carga en pala durante la operación de la turbina eólica mediante el registro durante varios minutos de datos (o indicaciones o medidas de carga) proporcionados por los sensores de carga en pala. Por ejemplo, pueden registrarse datos proporcionados por los sensores de carga cuando p.ej. se detectan condiciones de calibración predeterminadas durante la operación al ralentí de la turbina eólica con vientos poco intensos. Algunas de estas condiciones predeterminadas pueden ser obtenidas después de varias horas o días de operación al ralentí de la turbina eólica. Por lo tanto, un inconveniente de este tipo de calibración puede ser que puede requerir un largo tiempo, en función de las condiciones del viento.

50

Por ejemplo, la solicitud de patente internacional WO 2011/092032 A1 divulga un procedimiento de calibración del tipo comentado en el párrafo anterior. Este procedimiento comprende las etapas de: a) determinar un ángulo acimut del rotor, b) determinar un ángulo de paso de una primera pala de la turbina eólica, c) medir cargas en una primera sección transversal de la primera pala de la turbina eólica utilizando unos primeros sensores de carga, d) calcular cargas teóricas basadas en al menos el ángulo acimut del rotor y el ángulo de paso de la pala determinados en las etapas a) y b), e) comparar las cargas medidas en la etapa c) con las cargas teóricas calculadas en la etapa d), y f) calibrar los primeros sensores de carga en base a la comparación de la etapa e).

60

El procedimiento de WO 2011/092032 A1 permite calibrar los sensores in situ mientras las palas están montadas en la turbina, i.e. sin la necesidad de que las palas deban ser desmontadas de la turbina. La calibración puede ser

realizada mientras la turbina está en funcionamiento y conectada a la red. Un sistema está continuamente registrando datos relevantes (condiciones de operación de la turbina y medidas de los sensores), y después de algún tiempo de haber recolectado suficientes datos para realizar una calibración fiable de los sensores. La calibración es realizada de forma completamente automática. No obstante, según se ha argumentado anteriormente, la ejecución de este procedimiento puede conllevar un largo tiempo.

El documento US2009/0263246 A1 muestra la técnica anterior más cercana.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

10

Existe aún, por tanto, una necesidad de procedimientos de calibración de sensores de carga en pala y de turbinas eólicas que resuelvan algunos de los inconvenientes antes mencionados. El objeto de la presente invención es cumplir con dicha necesidad.

15 En un primer aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento para calibrar uno o más sensores de carga de una pala de una turbina eólica, comprendiendo dicha turbina eólica un generador principal, un convertidor electrónico de energía conectado con el generador principal, y un rotor operacionalmente conectado con el generador principal y que carga con la pala. El procedimiento comprende actuar en el convertidor electrónico de energía para operar el generador principal como un motor para poner la pala en al menos una condición
20 predeterminada. El procedimiento comprende además medir cargas en la condición predeterminada usando los sensores de carga de la pala. Y el procedimiento comprende también calibrar los sensores de carga de la pala teniendo en cuenta las cargas medidas.

Una de las claves de este procedimiento es el cambio de rol del generador principal. El generador puede ser
25 operado como un motor si el convertidor electrónico de energía le proporciona la energía apropiada. De esta manera, se pueden obtener fácilmente diferentes condiciones predeterminadas del rotor y las palas de acuerdo con p.ej. patrones de calibración relacionados. Para cada una de dichas condiciones predeterminadas, se pueden obtener unas medidas de carga por parte de los sensores de carga y compararlas con unos valores de referencia para calibrar los sensores de carga.

30

En algunas realizaciones, estas cargas de referencia pueden ser cargas teóricas calculadas, estando basados dichos cálculos en un modelo teórico de una pala. Adicionalmente o alternativamente a estas cargas teóricas calculadas, las cargas medidas pueden ser también comparadas con valores que fueron obtenidos experimentalmente bajo condiciones controladas. Por ejemplo, si se desea una calibración de los sensores con la
35 pala en una posición horizontal y estática, las cargas medidas pueden ser comparadas con valores teóricos calculados a partir de un modelo considerando todas o algunas características de la pala (masa, momento de inercia, etc.). Estas también se pueden comparar con valores de carga obtenidos con una alta precisión y fiabilidad bajo condiciones controladas (p.ej. en la fábrica).

40 Así, el nuevo procedimiento propuesto permite obtener condiciones particulares para la calibración de sensores de carga en pala independientemente de las condiciones del viento. Dicha independencia de condiciones externas permite obtener condiciones particulares de calibración de una manera sustancialmente directa, sin necesidad de esperar a que se den situaciones aleatorias. Por lo tanto, el tiempo necesario para calibrar los sensores de carga en pala puede ser reducido en gran medida en comparación con los procedimientos de calibración automáticos
45 conocidos.

En un segundo aspecto de la invención, se proporciona una turbina eólica que comprende un generador principal, un convertidor electrónico de energía conectado con el generador principal, al menos una pala que tiene uno o más sensores de carga, y un rotor que carga con la pala y conectado operacionalmente con el generador principal. Esta
50 turbina eólica también comprende una unidad de control configurada para llevar cabo un procedimiento para calibrar los sensores de carga de la pala. Este procedimiento comprende actuar en el convertidor electrónico de energía para operar el generador principal como un motor para poner la pala en al menos una condición predeterminada. El procedimiento comprende además medir cargas en la condición predeterminada usando los sensores de carga de la pala y comprende calibrar los sensores de carga de la pala teniendo en cuenta las cargas medidas.

55

La turbina de este segundo aspecto es adecuada para realizar el procedimiento del primer aspecto comentado previamente. Así pues, los principios y ventajas comentados con respecto a dicho procedimiento también pueden ser de aplicación a esta turbina eólica.

60 Objetos, ventajas y características adicionales de realizaciones de la invención serán claras para aquellos expertos en el campo de la técnica mediante el examen de la descripción, o pueden ser aprendidas mediante la práctica de la invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Realizaciones concretas de la presente invención serán descritas mediante los siguientes ejemplos no limitativos, en referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

La figura 1 es una representación esquemática de una turbina eólica en una primera condición predeterminada, de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 2 es una representación esquemática de la turbina eólica de la figura 1 en una segunda condición predeterminada, de acuerdo con una realización de la invención; y

Las figuras 3 y 4 son representaciones esquemáticas de una turbina eólica en condiciones predeterminadas adicionales.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES DE LA INVENCIÓN

En las siguientes descripciones, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar un profundo conocimiento de la presente invención. Se entenderá, no obstante, por parte de los expertos en la materia, que la presente invención podrá ser llevada a la práctica sin algunos o todos de estos detalles específicos. En otras instancias, elementos bien conocidos no han sido descritos en detalle para no oscurecer innecesariamente la descripción de la presente invención.

La figura 1 representa esquemáticamente una turbina eólica según una primera realización de la invención. Esta turbina eólica comprende un generador principal (no mostrado), un convertidor electrónico de energía (no mostrado) conectado con el generador principal, y un rotor 104 que carga con las palas 100-102 y está operacionalmente conectado con el generador principal. El rotor comprende una primera pala 100 y dos palas más 101, 102, teniendo la primera pala 100 un primer sensor 106 y un segundo sensor 107. La turbina eólica puede comprender también una unidad de control (no mostrada) configurada para llevar a cabo una realización del procedimiento para calibrar los sensores de carga en pala 106, 107.

Esta realización del procedimiento para calibrar los sensores de carga en pala 106, 107 puede comprender actuar en el convertidor electrónico de energía para operar el generador principal como un motor para poner la primera pala 100 en una posición sustancialmente horizontal, i.e. teniendo dicha primera pala un ángulo acimut 103 de noventa grados, y mantener dicha posición. Esta posición horizontal hace que la carga principal que actúa en la primera pala 100 sea la gravedad 108, i.e. el peso de la pala 100.

Aún en referencia a la figura 1, la realización del procedimiento puede comprender además medir cargas usando los sensores de carga 106, 107 de la primera pala 100 en dicha posición horizontal, y obtener cargas de referencia correspondientes a la misma posición horizontal de la primera pala 100. Finalmente, el procedimiento puede comprender la comparación de las cargas medidas con las cargas de referencia obtenidas. Entonces, en el caso de que dicha comparación produzca alguna inconsistencia, pueden realizarse algunos ajustes predeterminados en los sensores de carga 106, 107 para solventar dichas inconsistencias y mejorar la precisión de los sensores 106, 107. Las cargas de referencia pueden ser cargas calculadas, p.ej. basadas en un modelo teórico de la pala. Las cargas de referencia pueden ser también cargas experimentales obtenidas bajo condiciones controladas, p.ej. en fábrica.

La figura 2 muestra la misma turbina eólica de la figura 1 pero con las palas 100-102 en otra posición que puede ser interesante para calibrar el primer sensor de carga 106 y el segundo sensor de carga 107. En este caso, realizaciones del procedimiento pueden comprender actuar en el convertidor electrónico de energía para operar el generador principal como un motor para poner la primera pala 100 en la segunda posición de la figura 2, siendo dicha segunda posición el resultado de rotar el rotor sustancialmente ciento ochenta grados 200 con respecto a la primera posición de la figura 1.

Una vez que la primera pala 100 está en la segunda posición de la figura 2, la realización del procedimiento puede comprender además acciones equivalentes a las etapas descritas en referencia a la figura 1, pero en este caso para calibrar los sensores de carga 106, 107 en esta segunda posición. Por lo tanto, las cargas pueden ser medidas usando los sensores de carga 106, 107 en esta segunda posición, pueden obtenerse cargas de referencia (cargas teóricas o experimentales) en esta segunda posición, y dichas cargas medidas pueden ser comparadas con dichas cargas de referencia. Finalmente, si dicha comparación produce alguna inconsistencia, pueden realizarse ajustes predeterminados en los sensores de carga 106, 107 para corregir dicha inconsistencia.

La segunda posición de la figura 2 puede ser usada como una alternativa a la primera posición de la figura 1, o ambas la primera y segunda posiciones pueden ser combinadas para calibrar los sensores de carga 106, 107. De acuerdo con este principio, realizaciones del procedimiento pueden tener en cuenta que las cargas medidas en la primera posición pueden guardar algún tipo de simetría con respecto a las cargas medidas en la segunda posición.

Por lo tanto, la calibración de los sensores de carga en pala 106, 107 puede comprender la comparación de las cargas medidas en la primera posición con las cargas medidas en la segunda posición.

5 En esta comparación de cargas medidas en la primera posición con cargas medidas en la segunda posición, puede considerarse que las cargas medidas por el primer sensor 106 en la primera posición deberían tener sustancialmente los mismos valores que las cargas medidas por el segundo sensor 107 en la segunda posición. Equivalentemente, también podría considerarse que las cargas medidas por el segundo sensor 107 en la primera posición deberían tener sustancialmente los mismos valores que las cargas medidas por el primer sensor 106 en la segunda posición.

10 Tiene sentido presumir dichas equivalencias cruzadas (o simetrías) entre las cargas medidas porque la gravedad 108 (i.e. el peso de la pala) es la carga principal que está actuando en la primera pala 100 de las maneras mostradas en ambas figuras 1 y 2. El hecho de tener en cuenta dichas simetrías hace que la calibración de los sensores 106, 107 sea más fiable, puesto que representa una forma adicional de cuadrar diferentes cargas medidas en diferentes condiciones.

15 Alternativamente o adicionalmente a las realizaciones descritas en referencia a las figuras 1 y 2, el procedimiento de calibración puede comprender también poner el rotor 104 que carga con las palas 100-102 en rotación a una velocidad de rotación sustancialmente constante. Esta realización del procedimiento puede comprender además 20 medir cargas usando los sensores de carga 106, 107 de la primera pala 100 a dicha velocidad de rotación sustancialmente constante. Además, también pueden obtenerse cargas de referencia correspondientes a dicha velocidad constante, que pueden ser comparadas con las cargas medidas.

25 Realizaciones de la turbina eólica pueden comprender además uno o más sensores de posición para medir la posición rotacional de las palas 100-102. Gracias a estos sensores de posición, realizaciones del procedimiento que causan la rotación del rotor 104 a una velocidad constante pueden comprender además la obtención de una correlación entre posiciones medidas y cargas medidas, y la calibración de los sensores de carga 106, 107 tiene en cuenta dicha correlación.

30 Por ejemplo, cuando el rotor 104 y las palas 100-102 rotan a una velocidad constante, se inducen unas cargas de torsión cíclicas en las palas 100-102, teniendo dichas cargas una representación ideal en el tiempo de curva sinusoidal. Igualmente, también puede considerarse que las posiciones medidas pueden tener en el tiempo una representación de curva sinusoidal. Así, puede obtenerse una correlación entre la curva sinusoidal de las cargas en el tiempo y la curva sinusoidal de las posiciones en el tiempo. Esta correlación puede permitir p.ej. calcular posibles 35 desfases entre las cargas medidas y las posiciones medidas en el tiempo, de forma que pueden detectarse posibles retardos de los sensores 106, 107 y, de este modo, ser usados para calibrar los sensores 106, 107.

40 Esta correlación y consistencia de datos entre las cargas medidas y las posiciones medidas en el tiempo permiten, de este modo, hacer que el procedimiento de calibración sea más fiable, puesto que representa una forma adicional de cuadrar diferentes valores de medidas. En este caso particular, valores de diferente naturaleza (cargas y posiciones) pueden ser comparados de alguna manera para obtener indicadores adicionales para una calibración de los sensores 106, 107 más precisa.

45 En estas realizaciones basadas en causar la rotación del rotor 104 a una velocidad de rotación constante, dicha rotación y acciones consecuentes (p.ej. medir cargas, medir posiciones, comparar cargas medidas con posiciones, etc.) pueden ser repetidas a diferentes velocidades de rotación.

50 La calibración de sensores de carga bajo una o más velocidades de rotación del rotor/palas es especialmente ventajosa porque la respuesta de los sensores a una misma carga puede depender de si la pala está en una situación estática o dinámica. En este sentido, la re-calibración de los sensores no sólo en condiciones estáticas, sino que también en condiciones de movimiento a diferentes velocidades es muy conveniente. Muchos sistemas y procedimientos de calibración del estado de la técnica se basan principalmente en condiciones estáticas y asumen normalmente que una buena calibración en estático implica una buena calibración en movimiento. No obstante, esta 55 asunción puede no ser siempre correcta. La calibración a diferentes velocidades proporcionada en el contexto de la presente invención permite tener los sensores completamente calibrados tanto en condiciones estáticas como en condiciones dinámicas de una manera relativamente simple y en un período de tiempo bastante corto.

60 Algunas realizaciones de la turbina eólica pueden comprender además, para cada pala de la turbina eólica, un sistema de ángulo de paso para cambiar el ángulo de paso de la pala. Esta turbina eólica puede ser adecuada para llevar a cabo realizaciones del procedimiento de calibración que comprenden actuar en el sistema de ángulo de paso para poner la pala en al menos un ángulo de paso predeterminado. En este sentido, la figura 3 muestra una realización de la turbina eólica de este tipo y dos posibles ángulos de paso que pueden ser tenidos en cuenta para calibrar sensores de carga.

En particular, la figura 3a muestra una vista frontal de una realización de la turbina eólica que comprende una primera pala 100 y dos palas más 301, 302, teniendo dicha primera pala 300 varios sensores de carga 305-307, y un rotor 310 que carga con las palas 300-302. La figura 3b muestra una vista lateral de una región 308 de la turbina eólica desde un punto de visión 309, en la cual la primera pala 300 tiene un ángulo de paso 312 determinado. Y la figura 3c muestra una vista lateral de la región 308 de la turbina eólica desde el mismo punto de visión lateral 309, en la cual la primera pala 300 tiene otro ángulo de paso.

La figura 3b y la figura 3c muestran un primer sensor de carga 306 y un segundo sensor de carga que están posicionados en un eje *flapwise* de la pala 300. La figura 3b y la figura 3c también muestran un tercer sensor de carga 305 y un cuarto sensor de carga 311 los cuales están posicionados en un eje *edgewise* de la pala 300. En la figura 3b, la pala 300 tiene un ángulo de paso 312 de noventa grados, mientras que en la figura 3c la pala 300 tiene un ángulo de paso de cero grados. El ángulo de paso 312 de noventa grados puede ser óptimo para calibrar el primer sensor 306 y el segundo sensor 307, ya que dichos noventa grados pueden maximizar la sensibilidad de dichos sensores 306, 307 para p.ej. cargas causadas por el peso de la pala 300. El ángulo de paso de cero grados puede ser óptimo para calibrar el tercer sensor 305 y el cuarto sensor 311, puesto que dichos cero grados pueden maximizar la sensibilidad de dichos sensores 305, 311 para p.ej. cargas causadas por el peso de la pala 300.

La figura 4 se refiere a una turbina eólica muy similar a la turbina eólica de la figura 3, con la única diferencia de que el primer sensor de carga 306 y el segundo sensor de carga 307 no están posicionados en un eje *edgewise*. En particular, la figura 4a muestra una vista lateral muy similar a la vista de la figura 3b, con la única diferencia de que el primer sensor de carga 306 y el segundo sensor de carga 307 no están posicionados exactamente en un eje *edgewise*. La figura 4b muestra la misma vista de la figura 4a con la única diferencia de que la pala 300 tiene un ángulo de paso 400 diferente del ángulo de paso 312 de la figura 4a.

Cuando la posición de los sensores de carga 306, 307 por p.ej. razones de construcción no están en el mismo eje *edgewise*, según se muestra en las figuras 4a y 4b, los sensores pueden ser sensibles a cargas en direcciones diferentes. En este caso, realizaciones del procedimiento pueden causar ángulos de paso intermedios 400 (entre cero y noventa grados), tal y como se muestra en la figura 4b, para estimar el desplazamiento (con respecto a un eje *edgewise*) en el posicionamiento de los sensores 306, 307. Esta estimación del desplazamiento entre sensores *edgewise* 306, 307 puede ser utilizada para corregir las medidas dadas por los sensores 306, 307. Este principio en relación a desplazamientos posicionales entre sensores *edgewise* 306, 307, puede ser aplicado de modo equivalente a sensores *flapwise* 305, 311 si éstos no están situados en un eje *flapwise* de la pala 300.

Aunque esta invención ha sido divulgada en el contexto de ciertas realizaciones preferidas y ejemplos, se entenderá por parte de los expertos en la materia que la presente invención se extiende más allá de las realizaciones específicamente divulgadas hacia otras realizaciones alternativas y/o usos de la invención y modificaciones y equivalentes obvios de las mismas. Así, se pretende que el alcance de la presente invención divulgada en este documento no debería estar limitada a las realizaciones concretas divulgadas y descritas previamente, sino que debería ser determinada sólo por una lectura imparcial de las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para calibrar uno o más sensores de carga de una pala de una turbina eólica, comprendiendo la
5 turbina eólica:
un generador principal;
un convertidor electrónico de energía conectado con el generador principal;
un rotor operacionalmente conectado con el generador principal y que carga con la pala;
estando el procedimiento **caracterizado porque** comprende:
- 10 actuar en el convertidor electrónico de energía para operar el generador principal como un motor para poner la pala
en al menos una condición predeterminada;
medir cargas en la condición predeterminada usando los sensores de carga de la pala;
calibrar los sensores de carga de la pala teniendo en cuenta las cargas medidas.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que poner la pala en la al menos una condición predeterminada
comprende poner el rotor en una primera posición de modo que la pala tiene una posición sustancialmente
horizontal.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que poner la pala en la al menos una condición predeterminada
20 comprende poner la pala en una segunda posición resultante de rotar el rotor sustancialmente 180 grados con
respecto a la primera posición; y en el que calibrar los sensores de carga de la pala comprende comparar cargas
medidas en la primera posición y cargas medidas en la segunda posición.
4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, comprendiendo además poner el rotor que
25 carga con la pala a una velocidad de rotación sustancialmente constante; y medir cargas usando los sensores de
carga de la pala a dicha velocidad de rotación sustancialmente constante.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la turbina eólica comprende además uno o más sensores de
posición para medir la posición rotacional de las palas; y en el que calibrar los sensores de carga de la pala
30 comprende:
medir unas posiciones de las palas usando los sensores de posición;
obtener una correlación entre las posiciones y las cargas medidas;
calibrar los sensores de carga en pala teniendo en cuenta dicha correlación entre las cargas y las posiciones
medidas.
- 35 6. Procedimiento de calibración que comprende el procedimiento según las reivindicaciones 4 ó 5 a diferentes
velocidades de rotación.
7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la turbina eólica comprende un
40 sistema de ángulo de paso para cambiar el ángulo de paso de la pala; y en el que poner la pala en la al menos una
condición predeterminada comprende actuar en el sistema de ángulo de paso para poner la pala en al menos un
ángulo de paso predeterminado.
8. Procedimiento de calibración de sensores de carga de una pluralidad de palas de una turbina eólica, que
45 comprende repetir el procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 para cada pala de la
pluralidad de palas.
9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que calibrar los sensores de carga en
pala comprende:
50 obtener unas cargas de referencia correspondientes a la al menos una condición predeterminada;
comparar las cargas medidas con las cargas de referencia.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que las cargas de referencia son cargas teóricas basadas en un
modelo de la pala.
- 55 11. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que las cargas de referencia son cargas medidas obtenidas
experimentalmente bajo condiciones controladas.
12. Turbina eólica que comprende:
60 un generador principal;
un convertidor electrónico de energía conectado con el generador principal;
al menos una pala que tiene uno o más sensores de carga;
un rotor operacionalmente conectado con el generador principal y que carga con la pala; y

una unidad de control,
estando la turbina eólica **caracterizada porque** dicha unidad de control está configurada para realizar un procedimiento que comprende:
actuar en el convertidor electrónico de energía para operar el generador principal como un motor para poner la pala
5 en al menos una condición predeterminada;
medir cargas en la condición predeterminada usando los sensores de carga de la pala;
calibrar los sensores de carga en pala teniendo en cuenta las cargas medidas.

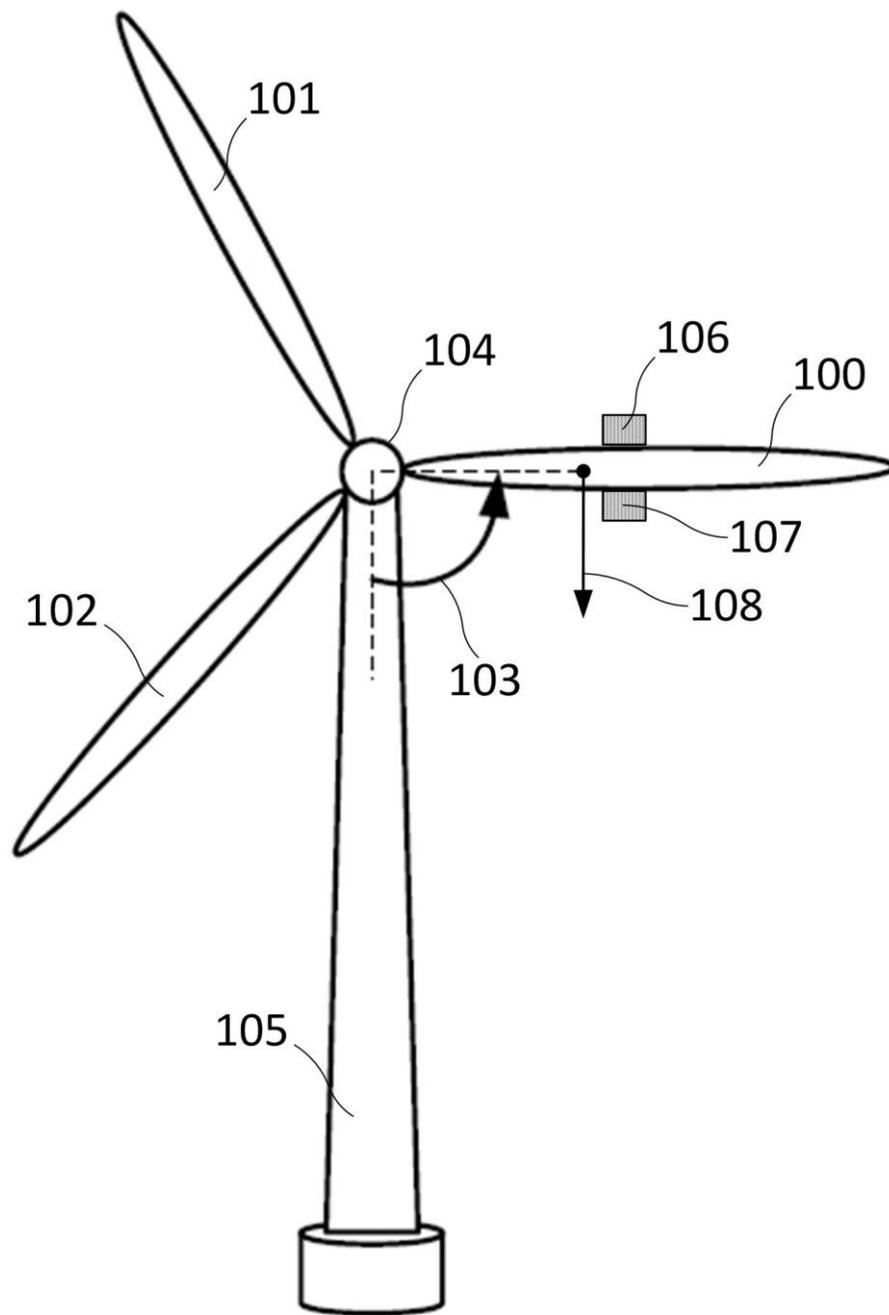


FIG.1

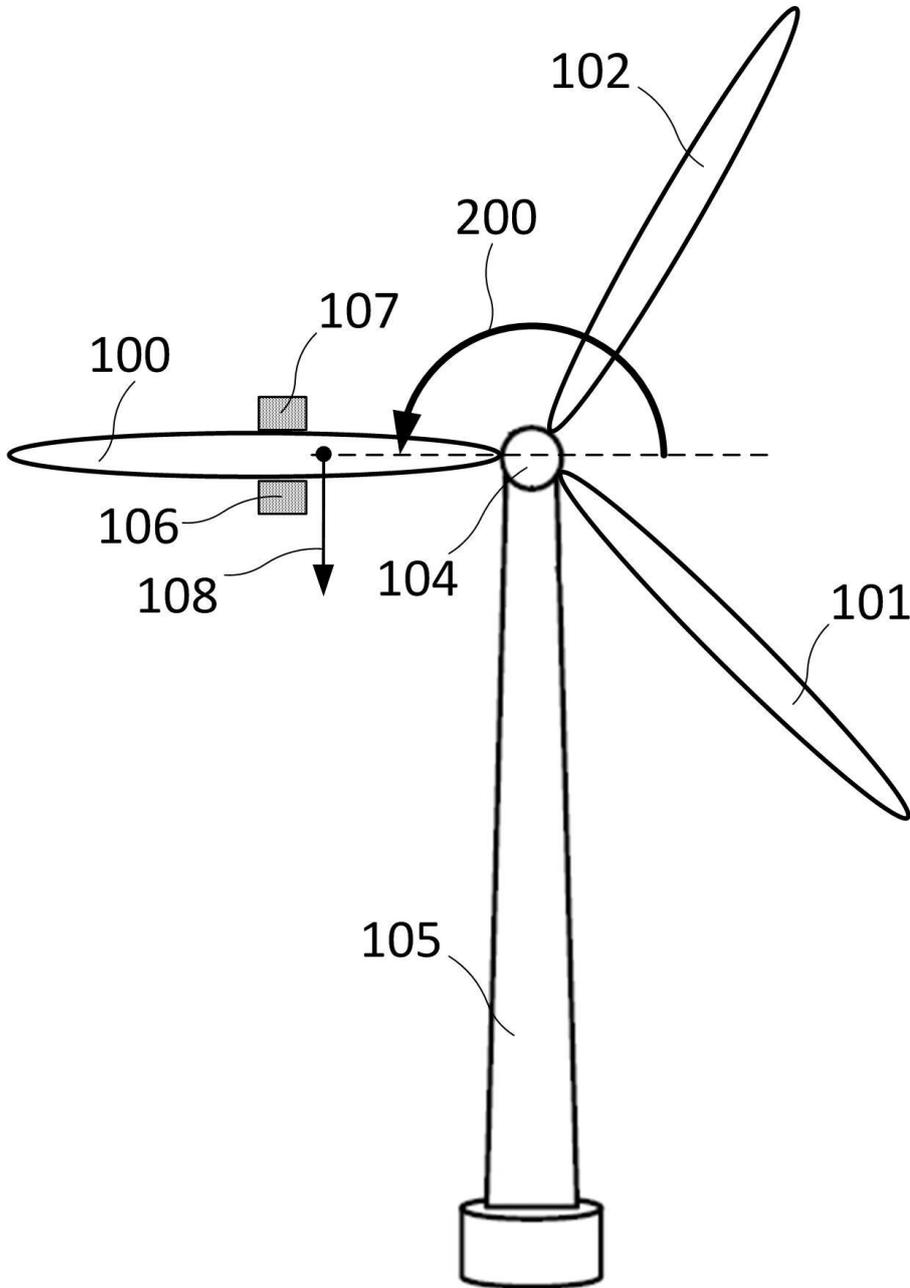


FIG.2

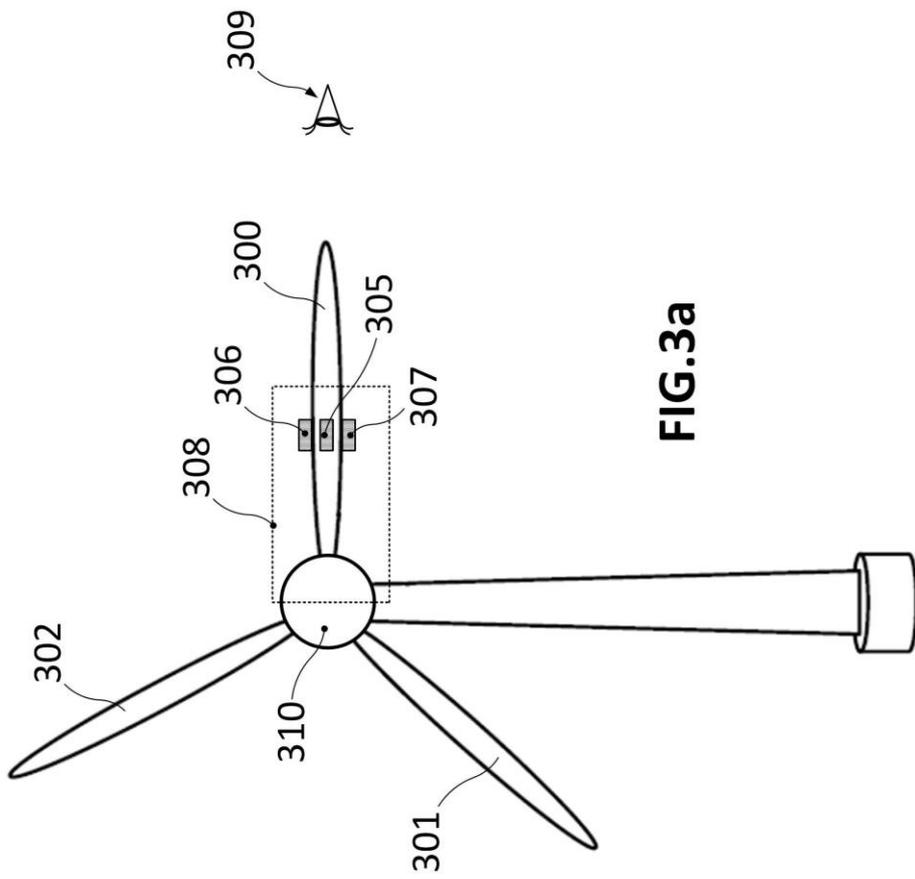


FIG. 3a

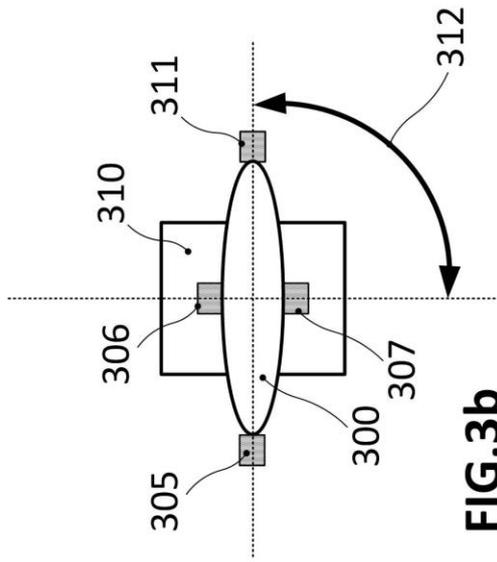


FIG. 3b

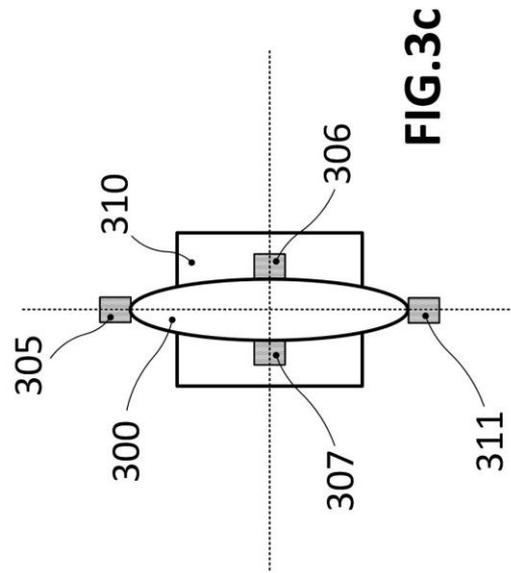


FIG. 3c

FIG. 3

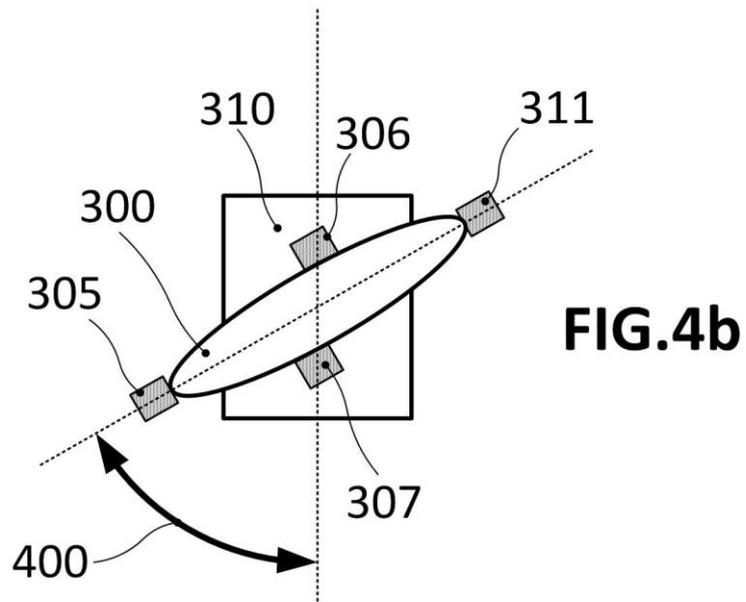
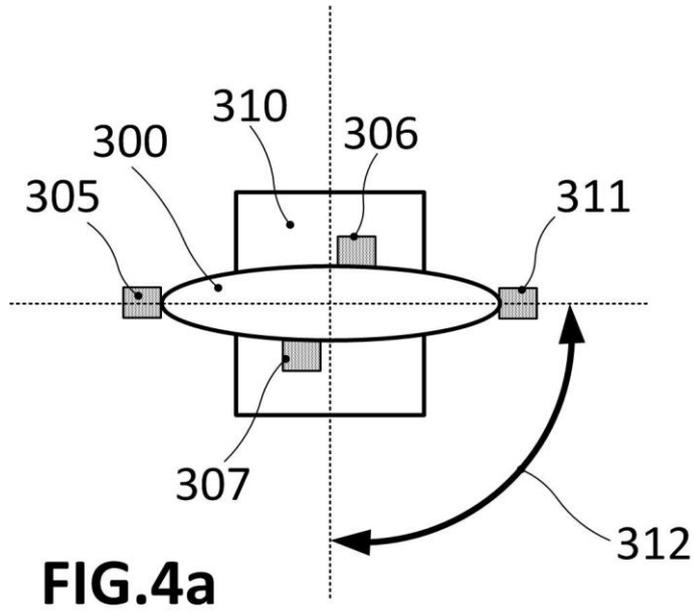


FIG. 4

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden 5 excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.

Documentos de patentes citados en la descripción

- 10 • WO 2011092032 A1
- US 20090263246 A1