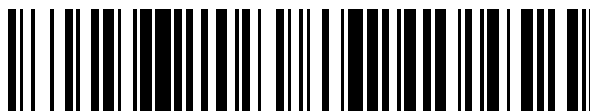


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 573 333**

51 Int. Cl.:

**G05B 23/02** (2006.01)

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 7/04** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.06.2009** **E 09779894 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016** **EP 2329331**

54 Título: **Un procedimiento para evaluar el rendimiento de un sistema de control de paso de un conjunto de palas de una turbina eólica**

30 Prioridad:

**22.08.2008 DK 200801153**

**22.08.2008 US 90922 P**

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

**07.06.2016**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**Hedeager 42**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**MIRANDA, ERIK CARL LEHNSKOV**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 573 333 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Un procedimiento para evaluar el rendimiento de un sistema de control de paso de un conjunto de palas de una turbina eólica

## CAMPO DE LA INVENCION

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para evaluar el rendimiento de un sistema para el control del paso de un conjunto de palas de rotor de una turbina eólica. El procedimiento de la presente invención es particularmente adecuado para evaluar el rendimiento de un sistema de control de paso individual.

## ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- 10 En las turbinas eólicas de paso controlado, a veces se utiliza una estrategia de control de paso individual y/o cíclica con el fin de compensar las variaciones en la carga en las palas de rotor de la turbina eólica. De este modo, se puede obtener una reducción de cargas desiguales y de cizallamiento en el rotor, aumentando así la vida útil esperada del rotor y/o el buje. En este caso, el ángulo de paso en un punto específico en el tiempo de una pala determinada se selecciona de acuerdo con las cargas que afectan a esa pala en ese momento. En consecuencia, un ángulo de paso general que coincide con la estrategia de control y con la potencia de salida deseada de la turbina eólica y que se aplica a todas las palas se «superpone» mediante un ajuste individual para cada pala. Los ajustes individuales tienen en cuenta cargas individuales de cada pala, por ejemplo, efectos que surgen del hecho de que las palas se coloquen en diferentes posiciones angulares. Los ajustes individuales pueden, por ejemplo, estimarse de una manera puramente cíclica, es decir, únicamente sobre la base de la posición angular del rotor. Por ejemplo, cabe esperar que la velocidad del viento experimentada por una pala colocada de tal manera que apunte en dirección ascendente sea mayor que la velocidad del viento experimentada por una pala colocada en otra posición angular. Tales efectos, así como los efectos que se espera que se produzcan durante el paso por la torre, se pueden estimar y tomar en consideración en función del conocimiento de la posición angular del rotor. De forma alternativa o adicional, se pueden medir cargas individuales sobre las palas, directa o indirectamente, por medio de sensores.

- 25 Un ejemplo de un sistema de control de paso individual se divulga en el documento WO 2007/012487. En el sistema divulgado en el documento WO 2007/012487 no es posible determinar si el sistema de control de paso individual funciona o no como se esperaba, es decir, si los ajustes individuales del ángulo de paso de cada pala coinciden o no con las cargas individuales reales sobre cada pala. Por ejemplo, un sensor con funcionamiento incorrecto o una estimación incorrecta del campo de viento podría dar lugar a ajustes incorrectos o no óptimos de los ángulos de paso individuales, lo que a su vez resulta en un aumento de las cargas sobre las palas y el rotor. Por lo tanto, es deseable poder evaluar el rendimiento del sistema de control de paso individual.

- 30 El documento US 2002/0000723 A1 divulga un sistema de control para un plancha de energía eólica. El sistema de control comprende medios de detección para su uso en la cuantificación directa o indirecta de la tensión actual de la turbina. Mediante la comparación con la tensión admisible, la turbina siempre funcionará con una velocidad de rotor y un rendimiento de potencia optimizados en el aspecto económico. Se muestra un modelo económico para derivar distribuciones de datos en comparación con distribuciones reales de la instalación de energía eólica. De esta manera, se calcula un nivel de funcionamiento óptimo.

- 40 El documento US 2004/0112131 A1 divulga un aparato y un procedimiento que permite la detección de la carga sobre una instalación de energía eólica basada en el hecho de que todas las cargas que se producen en una instalación de energía eólica actúan sobre la torre de la instalación. Describe un sensor en la región de la base de la torre para detectar la suma de todas las cargas que actúan sobre la instalación de energía eólica.

El documento «Further load reductions with individual pitch control» (Mayor reducción de las cargas mediante control de paso individual) de BUSSANYI et al. muestra una adición a los algoritmos de control de paso individual, que es capaz de reducir el pico de carga dominante de los componentes fijos, lo que permite reducciones significativas de la carga pico en toda la estructura.

- 45 En el capítulo «Individual Pitch Control» (Control de paso individual) del «Wind Energy Handbook» (Manual de energía eólica) de Tony Burton et al. se establece que si se puede obtener una medida instantánea de cargas asimétricas de sobre turbinas eólicas, podría ser posible reducirlas mediante el control de paso individual.

## DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

- 50 Es, por lo tanto, objeto de los modos de realización de la invención proporcionar un procedimiento para evaluar el rendimiento de un sistema de control de paso individual.

Aunque la invención se define en las reivindicaciones independientes, se exponen aspectos adicionales de la invención en las reivindicaciones dependientes, en los dibujos y en la siguiente descripción.

El sistema de control de paso es un sistema de control de paso individual, por ejemplo, un denominado «control de guiñada de inclinación» (TYC) adaptado para controlar los ángulos de paso individuales de las palas, de tal manera

que se reducen los momentos de inclinación y/o los momentos de guiñada sobre el rotor de la turbina eólica. El procedimiento de acuerdo con la presente invención se aplica con el fin de evaluar si los ajustes individuales de los ángulos de paso de las palas en realidad compensan o no las variaciones individuales en la carga sobre las palas en la forma y la medida esperadas.

- 5 Los valores de los parámetros, así como la información relativa a las condiciones del viento, se pueden obtener por medición directa de los valores relevantes o mediante cálculos basados en valores medidos. Por otra parte, los valores de los parámetros y/o la información relativa a las condiciones del viento pueden estar basados de forma parcial o total en estimaciones.

- 10 Los valores de los parámetros son indicativos de al menos un momento de carga del buje de la turbina eólica. Los valores de los parámetros pueden ser uno o más momentos de carga, tales como un momento de guiñada y/o un momento de inclinación del buje. De forma alternativa o adicional, pueden incluir otros tipos de valores medidos, calculados o estimados, por ejemplo, un valor de desviación estándar o promedio de un momento de carga durante un intervalo de tiempo especificado, siempre que sean indicativos de los momentos de carga experimentados por el buje. Por lo tanto, los valores de los parámetros obtenidos proporcionan información con respecto a las cargas reales experimentadas por el buje.

Las condiciones de viento pueden incluir la velocidad media del viento, cizalladura del viento, dirección del viento, en particular con respecto al plano del rotor, áreas de sombra del viento, variaciones del campo del viento, etc.

- 20 Los valores de los parámetros obtenidos se comparan con los valores teóricos correspondientes. Los valores teóricos se seleccionan de tal manera que reflejen el comportamiento esperado de los valores de los parámetros obtenidos en las circunstancias dadas, en particular, bajo las condiciones de viento dadas. Si esta comparación revela desviaciones significativas, es una indicación de que los momentos de carga del buje difieren de los momentos de carga esperados en las circunstancias dadas. En consecuencia, existe el riesgo de que la parte individual del control de paso no funcione como se espera, resultando posiblemente en cargas excesivas en el buje y/o el rotor. Esto puede deberse, por ejemplo, a uno o más sensores que funcionan mal o a estimaciones incorrectas.
- 25 De manera alternativa o adicional, puede ser una indicación de que las cargas asimétricas sobre los componentes de la turbina eólica sean tan grandes que el sistema se sature, es decir, el sistema no es capaz de proporcionar una compensación total por las cargas asimétricas. Las posibles razones de las desviaciones detectadas podrían incluir, pero no están limitadas a:

- un defecto o un sensor suelto
- 30 - propiedades de un pegamento utilizado en uno o más componentes de la turbina, por ejemplo, para fijar un sensor a una pala, que cambian con el paso del tiempo
- errores en una señal de azimut, es decir, una señal relativa a la posición angular del rotor
- grandes retrasos inesperados en la transmisión de datos
- una pala de rotor montada incorrectamente
- 35 - calibración de la posición de paso incorrecta
- contaminación de la pala de rotor, por ejemplo, suciedad o hielo
- pérdida no intencionada de la turbina eólica
- condiciones de viento extremas que provocan la saturación de la amplitud de paso del sistema de control de paso individual.

- 40 Por lo tanto, el procedimiento de la presente invención permite la evaluación del rendimiento del sistema para el control de paso. Por lo tanto, se puede asegurar que los momentos de carga del buje se mantienen a un nivel bajo constante, y que los posibles problemas pueden ser detectados antes de que se produzcan daños por fatiga en los componentes de la turbina.

- 45 Una ventaja del procedimiento de la presente invención es que puede aplicarse fácilmente a las turbinas eólicas existentes sin necesidad de componentes adicionales o equipos de hardware.

- El procedimiento puede comprender además la etapa de generar una señal de alarma en el caso de que la etapa de evaluación revele que el rendimiento del sistema para el control de paso no es óptimo. De acuerdo con este modo de realización, se alerta a un operador en el caso de que el procedimiento de la presente invención revele que los valores de los parámetros obtenidos se desvían de los valores esperados, o que se comportan de manera diferente respecto a lo que se espera. La generación de una señal de alarma indica al operador que investigue las razones de la desviación del comportamiento esperado y, en caso de que la desviación esté causada por un fallo, se asegure de que este fallo se gestione de una manera apropiada. En caso de que la desviación esté causada por la saturación del sistema, el operador puede analizar el ángulo de paso que se ha monitorizado. Las desviaciones de este tipo

pueden estar causadas por una ganancia demasiado alta en el sistema o por condiciones de viento fuerte, como un cizallamiento extremadamente grande o un error de guiñada y, por lo tanto, pueden ser necesaria la recalibración de los sensores o la investigación de posibles fallos en la veleta.

5 Al menos un momento de carga del buje de la turbina eólica puede comprender un momento de inclinación del buje. En el presente contexto, el término «momento de inclinación» debe interpretarse en el sentido de un momento de carga alrededor de un eje que es sustancialmente perpendicular a una dirección longitudinal definida por la construcción de la torre de la turbina eólica, y sustancialmente perpendicular a un eje definido por un eje principal de la transmisión de la turbina eólica.

10 De forma alternativa o adicional, al menos un momento de carga del buje de la turbina eólica puede comprender un momento de guiñada del buje. En el presente contexto, el término «momento de guiñada» debe interpretarse en el sentido de un momento de carga alrededor de un eje que es sustancialmente paralelo a y coincide con una dirección longitudinal definida por la construcción de la torre de la turbina eólica.

15 En base a un momento de inclinación obtenido y/o a un momento de guiñada obtenido se puede realizar un procesamiento de datos adicionales con el fin de obtener valores procesados más adecuados como una entrada para la etapa de comparación que el momento de inclinación obtenido y/o el momento de guiñada obtenido. Tales datos de procesamiento pueden incluir, por ejemplo, el filtrado electrónico de los datos obtenidos. Esto se describe con mayor detalle más adelante.

20 La etapa de obtención de valores de parámetros puede, por lo tanto, comprender la etapa de medición de uno o más valores de medición y de procesamiento de dichos valores medidos con el fin de obtener los valores de los parámetros. Por ejemplo, las cargas de las palas en el sentido del batimiento o las deflexiones de las palas se pueden medir por medio de sensores colocados en las palas, y/o las deflexiones de la torre se pueden medir por medio de sensores colocados en la construcción de la torre. Sobre la base de estas mediciones, se puede calcular el impacto de la carga sobre el buje, y los valores calculados, o posiblemente el resultado de un procesamiento adicional de los valores calculados, se pueden utilizar como entrada de valor de parámetro para la etapa de comparación. Los valores medidos se obtienen preferiblemente por medio de uno o más sensores adecuados, por ejemplo, sensores de fibra óptica o extensómetros. Como alternativa, uno o más momentos de carga del buje se pueden medir directamente.

30 La etapa de procesamiento de los valores medidos puede comprender el filtrado de los valores de medición. Esto debe interpretarse para incluir valores de filtrado calculados a partir de los valores medidos. Los procedimientos de filtrado adecuados podrían incluir, pero no se limitan a, filtrado de paso bajo, filtrado de paso alto o filtrado de paso de banda. El procesamiento también podría incluir un análisis de frecuencia utilizando una transformada rápida de Fourier (FFT), algoritmo de Goertzel o una demodulación coherente con la frecuencia portadora determinada por la frecuencia de rotación actual del rotor.

35 La etapa de obtención de valores de parámetros puede comprender la medición de un momento de dirección de batimiento, o un momento de flexión fuera de plano, de una o más palas de la turbina. En el presente contexto, el término «momento de batimiento» debe interpretarse en el sentido de las cargas sobre las palas a lo largo de una dirección sustancialmente perpendicular al plano del rotor de la turbina eólica.

40 De acuerdo con un modo de realización preferido de la invención, la etapa de obtención de valores de parámetros se puede realizar de la siguiente manera. Inicialmente, se miden los momentos de batimiento de una o más de las palas, por ejemplo, por medio de un sensor de fibra óptica o un extensómetro dispuesto en o cerca de la base de cada una de las palas. Sobre la base de estas mediciones y del conocimiento respecto a la posición angular de cada pala alrededor del eje de rotación del rotor, es posible calcular las cargas del buje, en particular, los momentos de inclinación y guiñada del buje. En consecuencia, los momentos de dirección de batimiento medidos de las palas son indicativos de los momentos de carga del buje de la turbina eólica.

45 Posteriormente, los momentos de dirección de batimiento se filtran, por ejemplo, utilizando una de las técnicas de filtrado mencionadas anteriormente. En un modo de realización particularmente preferido, los momentos de dirección de batimiento se transforman primero usando una transformada rápida de Fourier (FFT), permitiendo así realizar el filtrado en el dominio de frecuencia. La señal transformada se filtra a continuación usando uno o más filtros de paso de banda, por ejemplo, dos filtros de paso de banda que pasan a frecuencias correspondientes al contenido 1P y 2P del momento de dirección de batimiento, respectivamente. El momento de dirección de batimiento se puede filtrar una vez para obtener el contenido 1P y/o una vez para obtener el contenido 2P. El filtrado se puede hacer en el dominio de frecuencia, después de la FFT, o puede hacerse en el dominio de tiempo, mediante los procedimientos tradicionales de paso de banda. Si el sistema de paso individual funciona de manera apropiada, se espera que el contenido 1P del momento de dirección de batimiento sea mucho menor de lo que sería en el caso de que el sistema de paso individual no estuviese encendido. En consecuencia, la amplitud del contenido 1P da una indicación de si el sistema de paso individual está operando o no de manera óptima, y si esta amplitud supera un valor umbral predefinido, puede generarse de forma ventajosa una alarma con el fin de informar a un operador de que el sistema de paso individual probablemente no está funcionando como se esperaba. Además, se puede calcular la desviación estándar de las señales 1P y/o 2P. Resulta que la desviación estándar de la señal 1P es significativamente menor si

el sistema individual de paso funciona de manera apropiada que si el sistema de paso individual no está encendido. En consecuencia, la desviación estándar de la señal 1P se puede utilizar como indicación de si el sistema de paso individual funciona o no de manera óptima.

5 De forma alternativa o adicional, los armónicos de orden superior, tales como los contenidos 3P, 4P contenidos, etc. pueden analizarse. En caso de problemas con el sistema de paso individual, por ejemplo, debido a pérdida, no solo aumenta el contenido 2P del momento de batimiento, sino también los armónicos superiores de 1P, por ejemplo, contenido 3P, contenido 4P, etc. 1P se reducirán igualmente. En consecuencia, estos armónicos de orden superior también se pueden analizar a fin de obtener información relevante para el rendimiento del sistema de paso individual.

10 La etapa de selección de un conjunto de valores teóricos puede comprender la selección de valores de una tabla de consulta. Alternativamente, el conjunto de valores teóricos se puede calcular dinámicamente sobre la base de las condiciones de viento dadas. Los valores teóricos que dependen de las condiciones del viento, por ejemplo, límite como función de la velocidad del viento, pueden ser utilizados de forma ventajosa. Los valores teóricos a menudo pueden obtenerse a partir de simulaciones aeroelásticas.

15 De forma alternativa o adicional, la etapa de selección de un conjunto de valores teóricos puede comprender la selección entre los valores calculados teóricamente y/o la etapa de selección de un conjunto de valores teóricos entre los valores obtenidos empíricamente. De acuerdo con un modo de realización preferido, el conjunto de valores teóricos se selecciona de una tabla de consulta que contiene valores que en parte se obtienen empíricamente y en parte se calculan.

20 El procedimiento puede comprender además la etapa de almacenamiento de los valores de los parámetros obtenidos en una base de datos. Los valores de los parámetros almacenados pueden ser utilizados para análisis estadísticos del rendimiento de la turbina eólica. Los datos de varias turbinas eólicas pueden, por ejemplo, compararse, y se puede calcular una distribución esperada. Esto es muy relevante en parques eólicos.

Como se ha descrito anteriormente, el sistema de paso puede controlarse de manera ventajosa de acuerdo con una estrategia de control individual.

25 De acuerdo con un segundo aspecto, la invención proporciona un sistema de control para controlar el funcionamiento de un sistema de paso para una turbina eólica, estando adaptado el sistema de control para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con el primer aspecto de la invención.

La invención se refiere además a una turbina eólica que comprende un buje adaptado para portar un conjunto de palas de rotor y un sistema de control de este tipo.

30 Debe tenerse en cuenta que una persona experta en la técnica reconocería fácilmente que cualquier característica descrita en combinación con el primer aspecto de la invención también se podría combinar con el segundo aspecto de la invención, y viceversa.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La invención se describirá a continuación en mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

35 La figura 1 es un diagrama que ilustra un procedimiento para hacer funcionar un sistema de paso individual para una turbina eólica,

La figura 2 es un diagrama que se ilustra un procedimiento de acuerdo con un modo de realización de la invención,

La figura 3 es una pala de rotor de una turbina eólica que tiene un sensor montado en la misma,

40 La figura 4 es un gráfico que muestra la amplitud del momento de batimiento como función de frecuencia a una velocidad del viento de 12 m/s, y

La figura 5 es un gráfico que muestra la amplitud del momento de batimiento como función de frecuencia a una velocidad del viento de 14 m/s.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS DIBUJOS

45 La figura 1 es un diagrama que ilustra un procedimiento para hacer funcionar un sistema de paso individual para una turbina eólica. Un campo de viento 1 afecta a un rotor 2 de una turbina eólica. Durante esta carga, las señales 3, por ejemplo, en forma de momentos de dirección de batimiento, se miden sobre el rotor 2. Las señales de carga 3 medidas se envían a una unidad de estimación 4 junto con información 5 acerca de la posición angular del rotor 2 y, por lo tanto, información sobre la posición angular de cada una de las palas de rotor. Sobre la base de las señales de carga 3 medidas y la información 5 con respecto a la posición angular del rotor 2 de la unidad de estimación 4, estima el momento de inclinación,  $M_{incl}$ , y el momento de guiñada,  $M_{gui}$ , sobre el buje en las condiciones de viento que se experimentan actualmente por la turbina eólica.

El momento de guiñada estimado,  $M_{gui}$ , se envía a un comparador 6 y se compara con un valor de referencia,  $M_{ref\ gui}$ , y el resultado se alimenta a un controlador de momento de guiñada 7. Del mismo modo, el momento de inclinación estimado  $M_{incl}$  se alimenta a un comparador 8 y se compara con un valor de referencia,  $M_{ref\ incl.}$ , y el resultado se alimenta a un controlador de momento de inclinación 9. Sobre la base de los resultados de las comparaciones realizadas por los comparadores 6 y 8, cada uno del controlador de momento de guiñada 7 y el controlador de momento de inclinación 9 suministra una señal a un accionador de paso cíclico 10. Sobre la base de las señales recibidas y un valor de desplazamiento de paso 11, el accionador de paso cíclico 10 calcula una señal de control 12, 13 y 14 para cada una de las palas de rotor. El valor de desplazamiento de paso 11 representa un ángulo de paso dictado por la estrategia de control de la turbina eólica, que se debe aplicar a cada una de las palas de rotor. Cada señal de control 12, 13, 14 se alimenta a un controlador de paso 15, 16, 17 adaptado para controlar el paso de una pala de rotor correspondiente. Cada controlador de paso 15, 16, 17 controla el paso de la pala de rotor correspondiente de acuerdo con las señales de control 12, 13, 14 recibidas.

Por lo tanto, de acuerdo con el procedimiento ilustrado por el diagrama de la figura 1, el ángulo de paso de cada una de las palas de rotor se compone de una parte común determinada por la estrategia de control utilizada para controlar la turbina eólica y una parte individual que se selecciona con el fin de minimizar los momentos de carga, en particular, los momentos de guiñada,  $M_{gui}$ , y los momentos de inclinación,  $M_{incl}$ , sobre el buje de la turbina eólica.

La figura 2 es un diagrama que se ilustra un procedimiento de acuerdo con un modo de realización de la invención. El procedimiento ilustrado en la figura 2 es adecuado para evaluar el rendimiento de un sistema siguiendo el procedimiento que se ilustra en el diagrama de la figura 1. Las señales de carga 3, que se miden y se utilizan para controlar el sistema de paso individual en el procedimiento ilustrado en la figura 1, se envían adicionalmente a unos filtros electrónicos 18 y 19. Los filtros electrónicos 18, 19 son preferiblemente filtros de paso de banda, cada uno adaptado para transmitir un determinado rango de frecuencias. El filtro electrónico 18 está adaptado para permitir el paso de las frecuencias correspondientes al contenido 1P de las señales de carga 3, y el filtro electrónico 19 está adaptado para permitir el paso de las frecuencias correspondientes al contenido 2P de las señales de carga 3.

El filtro electrónico 18 pasa la señal 1P filtrada a una unidad de cálculo 20, y la unidad de cálculo 20 calcula la amplitud de la señal 1P filtrada. Del mismo modo, el filtro electrónico 19 pasa la señal 2P filtrada a una unidad de cálculo 21, y la unidad de cálculo 21 calcula la amplitud de la señal 2P filtrada. Las amplitudes calculadas se envían a un comparador 22, así como a una base de datos 23. Las amplitudes almacenadas en la base de datos 23 pueden utilizarse para fines estadísticos como se describió anteriormente.

De forma alternativa o adicional al cálculo de las amplitudes de las señales filtradas, las unidades de cálculo 20 y 21 pueden calcular las desviaciones estándar de las señales filtradas. Se espera que la desviación estándar de al menos la señal 1P sea significativamente mayor cuando el sistema de control de paso individual no está en funcionamiento que cuando funciona de manera óptima.

Además, la velocidad del viento 24 se mide y se envía a una tabla de consulta 25. En base a la velocidad del viento 24 medida, y posiblemente a otra información pertinente relativa a las condiciones del viento, se seleccionan valores adecuados y esperados empíricos y/o teóricos para las amplitudes 1P y 2P y/o las desviaciones estándar se seleccionan en la tabla de consulta 25. Los valores seleccionados se introducen en el comparador 22. El comparador 22 compara entonces las amplitudes calculadas y/o las desviaciones estándar con los valores suministrados por la tabla de consulta 25. En el caso de que se detecte una diferencia significativa en uno o ambos valores, por ejemplo, en caso de que al menos una de las diferencias exceda un valor umbral predefinido, el comparador 22 genera una señal de alarma, indicando de ese modo a un operador que el sistema de paso individual no está funcionando como se espera. El operador puede entonces tomar las medidas adecuadas con el fin de investigar la causa de la deficiencia y, posiblemente, tomar medidas para garantizar un funcionamiento más óptimo del sistema de paso individual.

La figura 3 es una pala de rotor 26 de una turbina eólica. La pala de rotor 26 comprende una parte de punta 27 y una parte de raíz 28. En la parte de raíz 28, un sensor 29 está dispuesto para medir momentos de dirección de batimiento de la pala de rotor 26 durante el funcionamiento de la turbina eólica. El sensor 29 es preferiblemente un sensor de fibra óptica, pero que también puede ser otro tipo de sensor adecuado para la medición de momentos de carga en la pala de rotor 26, por ejemplo, un extensómetro. El sensor también puede estar dispuesto en la parte de punta 27 de la pala de rotor 26, en cuyo caso se adapta preferiblemente para medir deflexiones de la pala de rotor 26.

La figura 4 es un gráfico que muestra la amplitud del momento de batimiento como función de la frecuencia a una velocidad del viento de 12 m/s, y la figura 5 es un gráfico que muestra la amplitud del momento de batimiento como función de la frecuencia a una velocidad del viento de 14 m/s. Ambos gráficos se han obtenido empíricamente, es decir, son el resultado de mediciones. En ambos gráficos, la línea continua representa la situación en la que el sistema de control de paso individual se desconecta, es decir, el paso de las palas de rotor se controla exclusivamente sobre la base de la estrategia de control seleccionada para la turbina eólica. La línea discontinua representa la situación donde el sistema de control de paso individual está encendido.

Se desprende de las figuras 4 y 5 que el contenido 1P de la señal se reduce significativamente cuando el sistema de

control de paso individual está encendido. Por otra parte, el contenido 2P de la señal se incrementa ligeramente cuando el sistema de control de paso individual está encendido. Esto se debe a que la turbina eólica tiende a la pérdida cuando el control de paso individual está encendido.

- 5 Los gráficos de las figuras 4 y 5 son adecuados para su uso en una tabla de consulta a fin de utilizarse en la etapa de comparación de un procedimiento de acuerdo con la presente invención. Por ejemplo, un valor umbral para la amplitud de la señal 1P para una velocidad eólica dada puede seleccionarse fácilmente debido a la diferencia significativa entre el contenido 1P cuando el sistema de control de paso individual está funcionando de manera óptima y cuando el sistema de control de paso individual está completamente apagado.

## REIVINDICACIONES

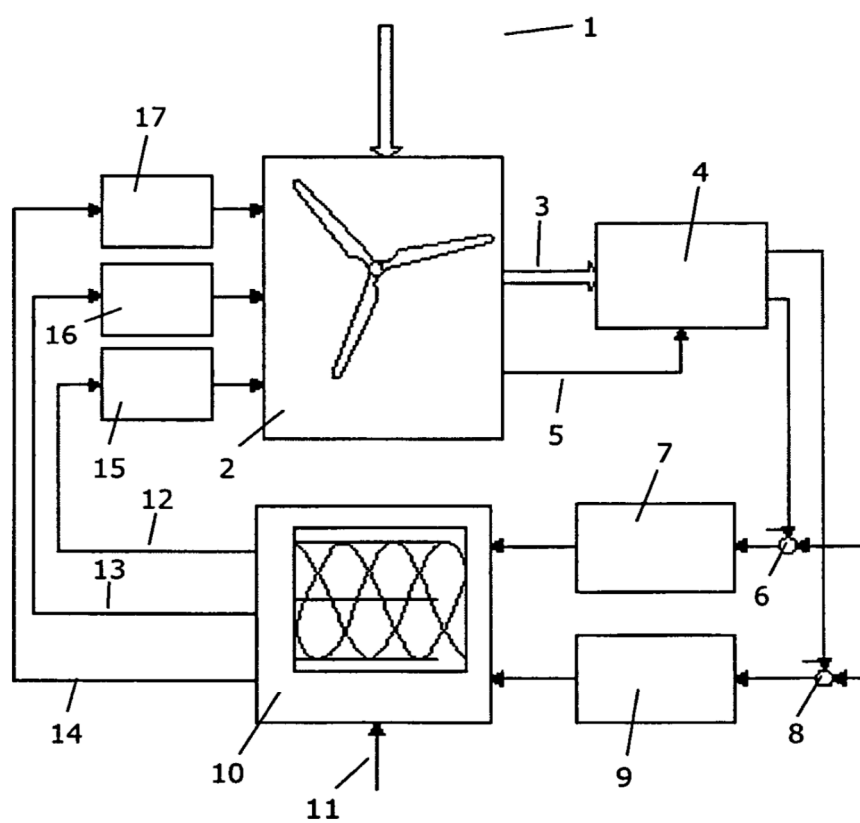
1. Un procedimiento para evaluar el rendimiento de un sistema para el control de paso de un conjunto de palas de rotor (26) de una turbina eólica, en el que el sistema de control de paso es un sistema de control de paso individual adaptado para medir señales de carga (3) que son indicativas de la carga en las palas de rotor y para controlar de forma individual los ángulos de paso de las palas de rotor (26) sobre la base de las señales de carga medidas (3), las señales de carga (3) incluyen un momento de carga de dirección de batimiento,  
5 comprendiendo la turbina eólica un buje adaptado para portar el conjunto de palas de rotor (26), y comprendiendo el procedimiento las etapas de:
  - filtrado (18) del momento de carga de dirección de batimiento medido para obtener una señal 1P,
  - 10 - obtención de valores de parámetros mediante el cálculo (20) de la amplitud y/o las desviaciones estándar de la señal 1P,
  - obtención (24) de información con respecto a las condiciones del viento en el emplazamiento de la turbina eólica,
  - 15 - selección (25) de un conjunto de valores teóricos correspondientes a los valores esperados para las amplitudes y/o las desviaciones estándar de la señal 1P bajo las condiciones del viento dadas,
  - comparación (22) los valores de los parámetros obtenidos con los valores teóricos seleccionados, ysobre la base de dicha comparación, evaluación (22) del rendimiento del sistema para el control del paso, y determinación de si el control individual de los ángulos de paso de las palas de rotor en realidad compensa o no variaciones individuales en la carga sobre las palas de rotor de la manera y el alcance esperados.
- 20 2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la comparación (22) de los valores de los parámetros obtenidos con los valores teóricos seleccionados comprende determinar si una diferencia entre los valores de los parámetros obtenidos y los valores teóricos seleccionados supera un valor umbral predefinido.
3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, que comprende además la etapa de generar una señal de alarma en el caso de que la etapa de evaluación revele que las diferencias entre los valores de los parámetros obtenidos y los valores teóricos seleccionados superan un valor umbral predefinido.  
25 4. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los valores de los parámetros son indicativos de al menos un momento de carga del buje de la turbina eólica y el al menos un momento de carga del buje de la turbina eólica comprende un momento de inclinación del buje.
5. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los valores de los parámetros son indicativos de al menos un momento de carga del buje de la turbina eólica y el al menos un el momento de carga del buje de la turbina eólica comprende un momento de guiñada del buje.  
30 6. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de seleccionar un conjunto de valores teóricos comprende seleccionar (25) valores de una tabla de consulta.
7. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de seleccionar un conjunto de valores teóricos comprende seleccionar entre valores calculados teóricamente.  
35 8. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de seleccionar un conjunto de valores teóricos comprende seleccionar entre valores obtenidos empíricamente.
9. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la etapa de almacenar (23) los valores de los parámetros obtenidos en una base de datos.
- 40 10. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además las etapas de:
  - filtrado (18) del momento de cargas de dirección de batimiento medido para obtener una señal 2P y/o señales de orden superior,
  - 45 - obtención de valores de parámetros mediante el cálculo (20) de la amplitud y/o las desviaciones estándar de la señal 2P y/o señales de orden superior,
  - selección (25) de un conjunto de valores teóricos correspondientes a valores esperados para las amplitudes y/o las desviaciones estándar bajo las condiciones del viento dadas para la señal 2P y/o señales de orden superior,
  - comparación (22) de los valores de los parámetros obtenidos con los valores teóricos seleccionados para la



señal 2P y/o señales de orden superior.

11. Un sistema de control para controlar el funcionamiento de un sistema de paso para una turbina eólica, estando adaptado el sistema de control para realizar el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

- 5 12. Una turbina eólica que comprende un buje adaptado para portar un conjunto de palas de rotor (26) y un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 11.



**Fig. 1**

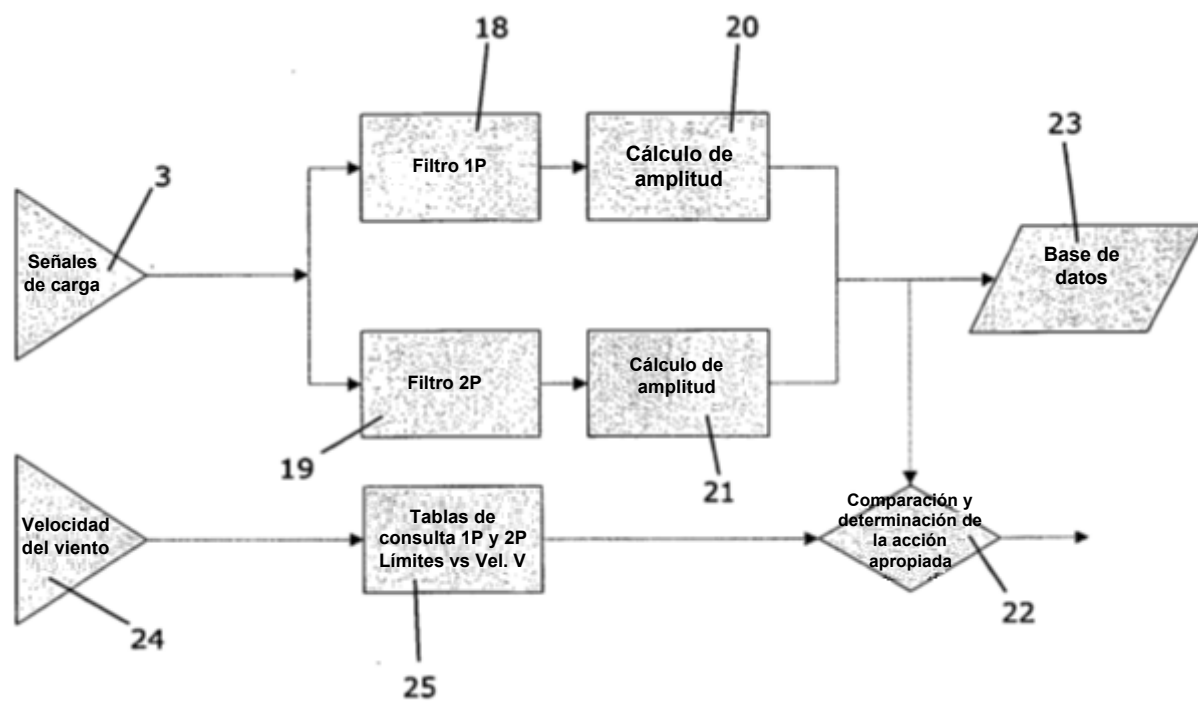
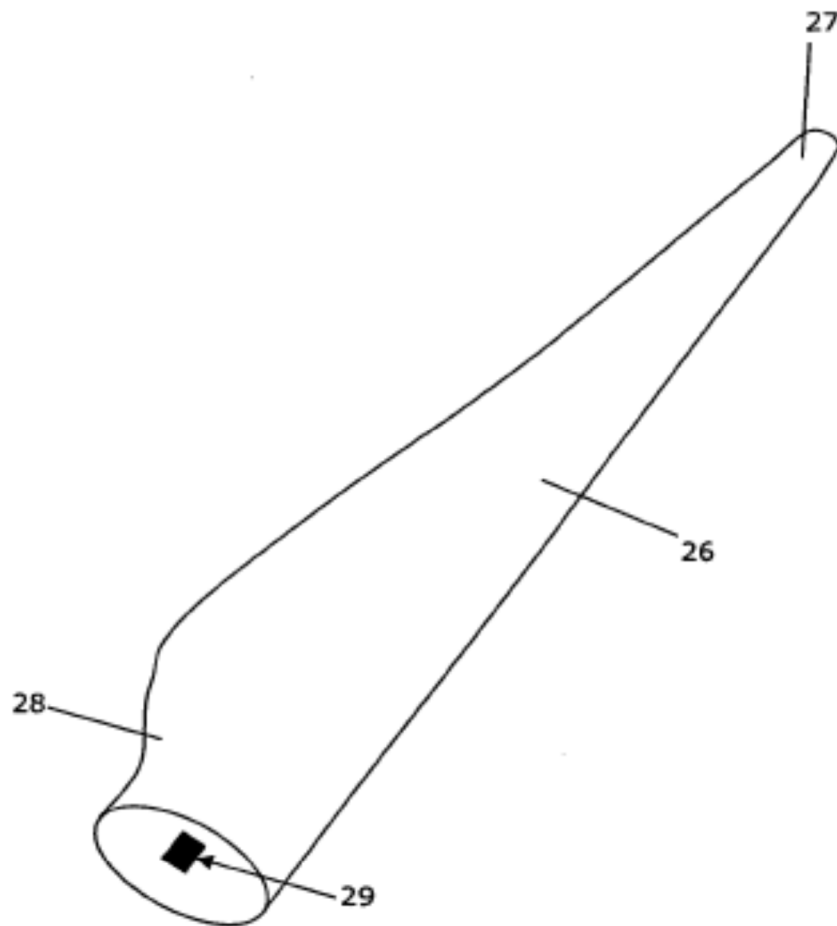


Fig. 2



**Fig. 3**

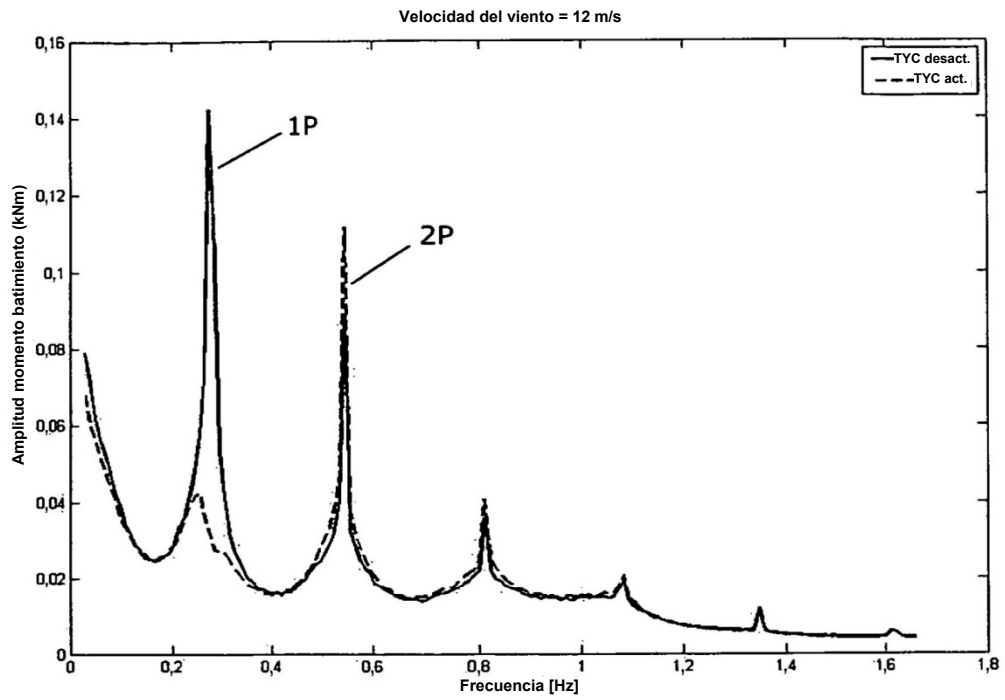


Fig. 4

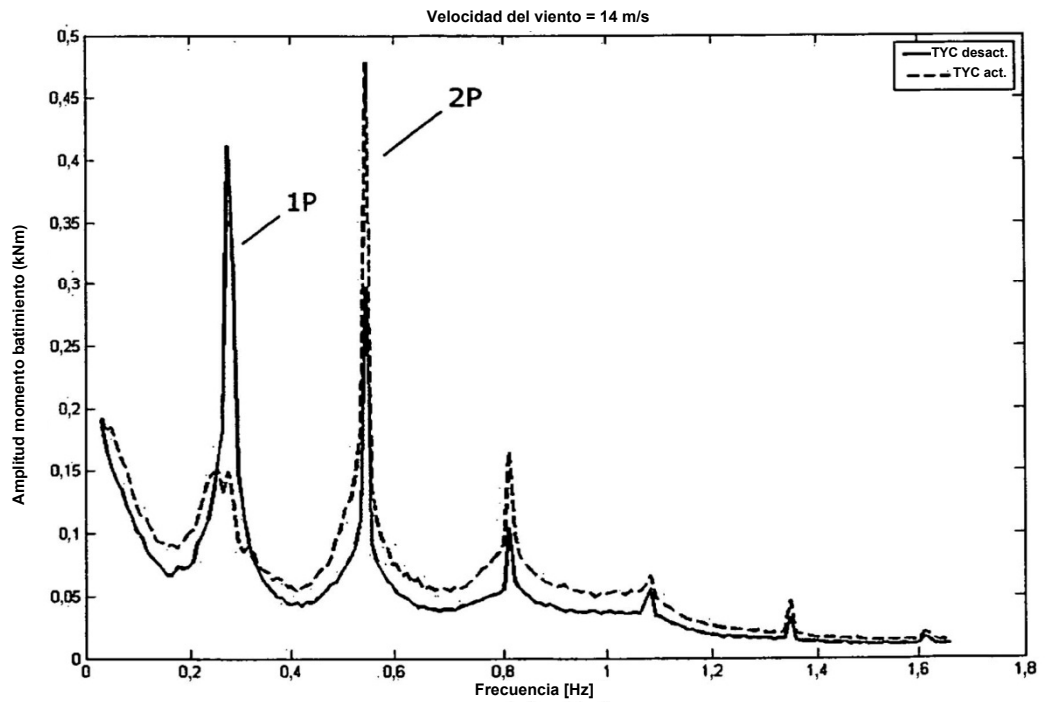


Fig. 5