

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 532 535**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2011 E 11712497 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.01.2015 EP 2686547**

54 Título: **Turbina a sotavento con sistema de guiñada libre**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.03.2015

73 Titular/es:

**XANT NV (100.0%)
Vaartstraat 63-65
1000 Brussel, BE**

72 Inventor/es:

**DE BROE, ALEX;
DUFFEY, THOMAS y
PICOT, NATALIE**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 532 535 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

Turbina a sotavento con sistema de guiñada libre

Campo técnico

5 La presente invención es en el campo de turbinas eólicas. Más concretamente, se refiere a dispositivos y procedimientos adecuados para optimizar el control de guiñada libre de turbinas a sotavento.

Antecedentes de la invención

10 En general, las turbinas eólicas están optimizadas para maximizar la potencia entregada para todo el intervalo de funcionamiento de velocidades del viento. Con el fin de garantizar un funcionamiento adecuado y seguro para todas las velocidades de viento disponibles, se incorporan diversos servomecanismos en el diseño como mecanismos de control, tales como el control de paso y el control de guiñada. En turbinas más antiguas, estos mecanismos se accionan mecánica o hidráulicamente, mientras que en los diseños más recientes se pueden accionar electromecánicamente, utilizando motores eléctricos y cajas de cambios.

15 Uno de tales mecanismos de control es el control de guiñada, que sirve como un mecanismo de orientación al viento. En turbinas a barlovento, tal mecanismo orienta el plano del rotor de la turbina perpendicularmente a la corriente de viento. En sistemas de control de guiñada pasivos o de guiñada libre, utilizados habitualmente para turbinas a sotavento, se permite que la turbina siga la dirección del viento cuando la dirección del viento cambia. En este último caso, el sistema de guiñada es habitualmente muy sencillo, y en muchos casos solo incluye un cojinete de guiñada. A pesar de su diseño sencillo, los sistemas de guiñada pasivos necesitan ser diseñados de tal modo que la góndola responda a un cambio brusco en la dirección del viento con un movimiento de guiñada que no sea demasiado rápido o abrupto. Si no se aborda este problema adecuadamente, elevadas cargas giroscópicas en las raíces de la pala y oscilaciones de la góndola pueden contribuir a tensiones estructurales significativas. Durante el funcionamiento con vientos turbulentos y racheados, un cambio brusco en la dirección del viento o una turbulencia excesiva o cizalla del viento pueden dar como resultado igualmente grandes momentos de guiñada y la turbina puede guiñar descontroladamente y disminuir así su rendimiento.

25 Para reducir o eliminar estos problemas, el sistema de guiñada libre debe incluir mecanismos para mantener la velocidad de guiñada por debajo de un valor aceptable determinado por el cálculo de las cargas giroscópicas. Así pues, se pueden instalar amortiguadores de guiñada para reducir la velocidad de guiñada lo suficiente y modular el rendimiento y respuesta dinámica de la turbina eólica. Se han descrito en diversos sitios (por ejemplo, en el documento US 4.674.954) sistemas de amortiguación de guiñada hidráulicos, además de sistemas electromecánicos (por ejemplo, los utilizados en el Endurance E-3120). El control de guiñada se puede optimizar asimismo mediante aspectos arquitectónicos de las turbinas eólicas, tales como un cojinete deslizante o una forma de álabe de cola en el bastidor principal de la turbina.

35 La inestabilidad del grado de libertad de guiñada está provocada por dos factores principales: un error de guiñada grande (diferencia entre la dirección de la góndola y la dirección del viento), y una velocidad de guiñada grande (es decir, la velocidad a la cual está girando la góndola). Con el fin de tener un sistema más estable, ambos efectos negativos deben ser compensados. Por lo tanto, la velocidad de guiñada no debe fluctuar excesivamente, y se deben evitar aceleraciones repentinas. Al mismo tiempo, el control de guiñada debe permitir todavía ajustes amplios respecto a la dirección del viento, y no bloquear completamente la guiñada.

40 Un objetivo de la presente invención es, por lo tanto, proporcionar una turbina a sotavento que tiene un control de guiñada mejorado. Un objetivo de la presente invención es proporcionar una turbina a sotavento que se adapta fácilmente a cambios en la dirección del viento, pero que limita aun así la velocidad de guiñada y la aceleración de guiñada. Otro objetivo de la presente invención es proporcionar una turbina a sotavento que es más eficiente. Otro objetivo de la presente invención es proporcionar una turbina a sotavento que es más robusta. Otro objetivo de la presente invención es proporcionar una turbina a sotavento que es más fiable. Otro objetivo de la presente invención es proporcionar una turbina a sotavento que es más barata de construir, instalar y/o mantener. Otro objetivo de la presente invención es proporcionar una turbina a sotavento que no necesita una fuente de energía eléctrica externa para alimentar sistemas auxiliares de la turbina.

Uno o más de estos objetivos se consigue mediante la invención. Uno o más de estos objetivos se consigue mediante realizaciones preferentes de la invención.

50 Los documentos DE 10212467 A y US 4522564 dan a conocer turbinas a sotavento de eje horizontal del estado de la técnica anterior.

Sumario de la invención

55 La invención comprende una turbina a sotavento de eje horizontal (100) que presenta un sistema de guiñada extremadamente eficaz, que muestra concretamente un control de guiñada pasivo mejorado. La efectividad del sistema de guiñada es el resultado de una combinación de características, por lo que la combinación selectiva da

como resultado un aumento de efectividad del sistema de guiñada que es mayor que los meros valores aditivos de los componentes individuales.

5 La invención comprende una turbina a sotavento de eje horizontal (100) que comprende una góndola (150) que tiene un rotor (130) que comprende un buje y por lo menos una pala (132), góndola (150) que es adecuada para su fijación con giro a una torre (140) que define así un eje de giro (151) alrededor del cual guiña la góndola (150), comprendiendo además dicha turbina (100):

- un generador (120) integrado en el buje; y
- un amortiguador de guiñada (110);

10 donde el amortiguador de guiñada (110) comprende un generador de imanes permanentes (112), y la pala (132) es en flecha.

El generador (120) integrado en el buje se puede situar alejado del eje de giro (151) de la góndola (150), aumentando así el momento de inercia de giro de la góndola (150) alrededor del eje de giro (151).

El generador (120) integrado en el buje puede acoplarse al rotor (130) mediante una conexión de transmisión directa.

15 La por lo menos una pala en flecha (132) puede presentar ángulo de conicidad (135) con respecto a un plano perpendicular al eje de giro (131) del rotor (130).

La por lo menos una pala en flecha (132) puede ser flexible.

El generador de imanes permanentes (112) puede alimentar sistemas auxiliares de la turbina (100).

20 El amortiguador de guiñada (110) puede comprender además un amortiguador hidráulico, un amortiguador neumático, un amortiguador eléctrico, y/o un amortiguador de fricción.

El amortiguador de guiñada (110) puede comprender además un engranaje dentado y/o una caja de cambios.

El amortiguador de guiñada (110) puede comprender además un freno de seguridad.

La turbina a sotavento de eje horizontal (100) como se describió en lo que antecede puede comprender además la torre (140) de la turbina.

25 Otro modo de realización de la invención se refiere a un procedimiento para optimizar un control de guiñada libre pasivo de turbinas a sotavento (100), comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

- emplear un amortiguador de guiñada (110), en el que el amortiguador de guiñada (110) comprende un generador de imanes permanentes (150);
- emplear un generador (120) integrado en el buje;

30 – emplear un rotor (130), que comprende por lo menos una pala en flecha (132)

El procedimiento para optimizar el control de guiñada libre de turbinas a sotavento (100) como se describió en lo que antecede puede comprender además:

- emplear un generador (120) integrado en el buje que se sitúa alejado del eje de giro (151) de la góndola (150), aumentando así el momento de inercia de giro de la góndola (150) alrededor del eje de giro (151).

35 El procedimiento para optimizar el control de guiñada libre de turbinas a sotavento (100) como se describió en lo que antecede puede comprender además:

- emplear una conexión de transmisión directa para acoplar el generador (120) integrado en el buje con el rotor (130).

40 El procedimiento para optimizar el control de guiñada libre de turbinas a sotavento (100) como se describió en lo que antecede puede comprender además:

- emplear un rotor (130) que comprende por lo menos una pala en flecha (132) que presenta un ángulo de conicidad (135) con respecto al plano perpendicular al eje de giro (131) del rotor (130).

El procedimiento para optimizar el control de guiñada libre de turbinas a sotavento (100) como se describió en lo que antecede puede comprender además:

45 - emplear el generador de imanes permanentes (112) para alimentar sistemas auxiliares de la turbina eólica

(100).

Leyendas de las figuras

5 La fig. 1 ilustra la posición de un amortiguador de guiñada (110) basado en imanes permanentes en el eje de giro (151) de la góndola (150), y la posición de un generador (120) integrado en el buje en el eje de giro (131) del rotor (130) aunque desplazado respecto al eje de giro (151) de la góndola (150).

La fig. 2 ilustra una pala en flecha (132), que muestra la punta (133) de la pala (132) y la raíz (134) de la pala (132). El ángulo de curvado (136) se muestra igualmente como el ángulo entre la línea de $c/2$, definida por la línea de cuerda c , y la línea radial (137).

10 La fig. 3 ilustra el efecto de conicidad frente a no conicidad de acuerdo con un modo de realización de la invención. Las líneas sin marcadores (mixta, discontinua y continua) indican resultados cuando se aplica conicidad, mientras que líneas similares con marcadores (estrellas, triángulos y círculos, respectivamente) representa la fuerza de recuperación sin que se aplique conicidad. Los valores de la línea mixta (y estrellas) representan un ángulo de incidencia del viento de 10 grados, mientras que los valores de línea continua (y círculos) representan un ángulo de incidencia del viento de -10 grados. Los valores de la línea discontinua (y triángulos) representan un ángulo de incidencia del viento de 0 grados. Un valor superior para las series de línea mixta (y de modo similar un valor menor para las series de línea continua) muestran una mayor tendencia de la góndola (150) a girar con el viento (200) cuando el viento (200) no está alineado adecuadamente con la góndola (150) (es decir, cuando el viento (200) presenta un ángulo de incidencia con la góndola (150)).

20 La fig. 4 ilustra el efecto del curvado frente al no curvado de acuerdo con un modo de realización de la invención. Las líneas sin marcadores (mixta, discontinua y continua) indican resultados cuando se aplica curvado, mientras que líneas similares con marcadores (estrellas, triángulos y círculos, respectivamente) representan la fuerza de recuperación cuando no se aplica curvado. Los valores de la línea mixta (y estrellas) representan un ángulo de incidencia del viento de 10 grados, mientras que los valores de línea continua (y círculos) representan un ángulo de incidencia del viento de -10 grados. Los valores de la línea discontinua (y triángulos) representan un ángulo de incidencia del viento de 0 grados. Un valor superior para las series de línea mixta (y de modo similar un valor menor para las series de línea continua) demuestra una mayor tendencia de la góndola (150) a girar con el viento (200) cuando el viento (200) no está alineado adecuadamente con la góndola (150) (es decir, cuando el viento (200) presenta un ángulo de incidencia con la góndola (150)).

30 La fig. 5 ilustra el efecto combinado del curvado y la conicidad frente al no curvado y no conicidad de acuerdo con un modo de realización de la invención. Las líneas sin marcadores (mixta, discontinua y continua) indican resultados cuando se aplica curvado y conicidad, mientras que líneas similares con marcadores (estrellas, triángulos y círculos, respectivamente) representan la fuerza de recuperación sin que se aplique curvado ni conicidad. Los valores de la línea de mixta (y estrellas) representan un ángulo de incidencia del viento de 10 grados, mientras que los valores de la línea continua (y círculos) representan el ángulo de incidencia del viento de -10 grados. Los valores de la línea discontinua (y triángulos) representan un ángulo de incidencia del viento de 0 grados. Un valor superior para las series de línea mixta (y de modo similar un valor menor para las series de línea continua) demuestran una mayor tendencia de la góndola (150) a girar con el viento (200) cuando el viento (200) no está alineado adecuadamente con la góndola (150) (es decir, cuando el viento (200) presenta un ángulo de incidencia con la góndola (150)).

40 La fig. 6 ilustra los efectos de la colocación del centro de masas del generador (120) y amortiguación de la guiñada. La línea discontinua representa una simulación en la cual no se aplica amortiguación de la guiñada y el generador (120) se coloca en una posición tradicional: se muestran las velocidades de guiñada mínima y máxima. La línea mixta representa un generador (120) en el que el centro de gravedad está desplazado alejándolo de la torre (140) y del eje de giro (151) de la góndola (150) pero no se aplica amortiguación de la guiñada. La línea de puntos representa una situación en la que se aplica amortiguación de la guiñada, pero en la que el generador (120) se coloca en una posición tradicional. Finalmente, la línea continua representa el uso combinado tanto de la colocación del generador (120) como de la amortiguación de la guiñada.

Descripción detallada de la invención

50 Antes de describir el presente dispositivo de la invención, se debe entender que esta invención no se limita al dispositivo concreto o a combinaciones con el mismo, ya que tal dispositivo puede, por supuesto, variar. Asimismo se debe entender que la terminología utilizada en lo que sigue no pretende ser limitativa, ya que el ámbito de la presente invención quedará limitado tan solo por las reivindicaciones adjuntas.

Como se utiliza en lo que sigue, las formas singulares “un”, “uno”, y “el/la” incluyen tanto referentes en singular como en plural a menos que el contexto claramente lo dicte de otro modo.

55 Referencias a lo largo de esta descripción a “un modo de realización” o “una realización” significa que un elemento, estructura o característica concretos descritos en conexión con el modo de realización se incluye en por lo menos un modo de realización de la presente invención. Así pues, las apariciones de las frases “en un modo de realización” o

- “en una realización” en diversos sitios a lo largo de esta descripción no se refieren todas necesariamente al mismo modo de realización, aunque puede ser así. Además, los elementos, estructuras o características se pueden combinar de cualquier modo adecuado, como sería aparente para el experto en la técnica a partir de esta descripción, en uno o más modos de realización. Además, aunque algunos modos de realización descritos en lo que sigue incluyen algunos aunque no otros elementos incluidos en otros modos de realización, combinaciones de elementos de distintos modos de realización se entiende que están dentro del ámbito de la invención, y forman diferentes modos de realización, como entenderían aquellos expertos en la técnica. Por ejemplo, en las reivindicaciones adjuntas, cualquiera de los modos de realización reivindicados se puede utilizar en cualquier combinación.
- Los términos “que comprende”, “comprende” y “comprendido por” como se utilizan en lo que sigue, son sinónimos, “que incluye”, “incluye” o “que contiene”, “contiene”, y son inclusivos o abiertos y no excluyen miembros, elementos o etapas de procedimiento adicionales, no recitados. Se apreciará que los términos “que comprende”, “comprende” y “comprendido por” como se utilizan en lo que sigue comprenden los términos “que consiste en”, “consistente en” y “consiste en”.
- A menos que se defina de otro modo, todos los términos utilizados para describir la invención, incluyendo términos técnicos y científicos, tienen el significado habitualmente entendido por el experto en la técnica a la cual pertenece esta invención. Como modo de guía adicional, se pueden incluir definiciones de términos para mejor apreciar las enseñanzas de la presente invención.
- En los siguientes pasajes, se definen en mayor detalle diferentes aspectos de la invención. Cada aspecto así definido se puede combinar con cualquier otro aspecto o aspectos a menos que se indique claramente lo contrario. En particular, cualquier elemento indicado como preferido o ventajoso se puede combinar con cualquier otro elemento o elementos indicados como preferidos o ventajosos.
- En la siguiente descripción detallada de la invención, se hace referencia a los dibujos adjuntos que forman una parte de la misma, y en la cual se muestran a modo de ilustración tan solo de modos de realización específicos en los que la invención se puede practicar. Se debe entender que otros modos de realización se pueden utilizar y se pueden realizar cambios estructurales o lógicos sin alejarse del ámbito de la presente invención. Por lo tanto, la siguiente descripción detallada no se debe tomar en un sentido limitativo, y el ámbito de la presente invención se define por las reivindicaciones adjuntas.
- La invención comprende una turbina a sotavento (100) que muestra un sistema de guiñada efectivo, que muestra concretamente un control de guiñada pasivo mejorado. Un modo de realización preferido de la invención, que muestra diversos componentes, se muestra en la fig. 1. La efectividad del sistema de guiñada es el resultado de una combinación de elementos, la combinación selectiva de los cuales da como resultado una efectividad aumentada del sistema de guiñada. La turbina a sotavento (100) de acuerdo con la invención comprende un rotor (130), que se une preferiblemente a un extremo longitudinal de una góndola (150), y el cual rotor (130) comprende un buje y una o más palas unidas al buje. Las palas están distribuidas preferiblemente de modo homogéneo alrededor de la periferia del buje. Puede haber una, dos, tres, cuatro o más palas, preferiblemente tres. Además, la turbina a sotavento (100) de acuerdo con la invención comprende un generador (120) integrado en el buje, que está alimentado por un rotor (130), comprendiendo dicho rotor (130) por lo menos una pala en flecha (132). Dicha turbina a sotavento (100) está estabilizada además mediante un amortiguador de guiñada electromecánico (110), que comprende un generador de imanes permanentes (112). Todos estos elementos tienen una contribución necesaria a la efectividad reivindicada del control de guiñada pasivo. La pala o palas en flecha (132) mejoran el seguimiento del viento: a medida que aumenta el área superficial de una pala en flecha para que sea golpeada por el viento, el momento de recuperación aumenta igualmente, garantizando así que la turbina (100) girará de nuevo hacia el viento. El amortiguador de guiñada electromecánico (110) evita velocidades de guiñada excesivas y por tanto cargas giroscópicas elevadas. Además, dado que el amortiguador de guiñada electromecánico (110) comprende un generador de imanes permanentes (112), se generará energía eléctrica. Esta energía eléctrica se puede utilizar para controlar sistemas auxiliares de la turbina (100), incluso durante caídas de potencia. El generador integrado en el buje acerca el centro de inercia del tren de accionamiento de la turbina hacia el extremo del rotor (130) de la góndola (150) (el extremo a sotavento (200)), alejándolo del eje de giro (151) de la góndola (150), mejorando así la estabilidad del movimiento de guiñada. La combinación de estos componentes principales en la presente invención asegura una máxima optimización del control pasivo de la guiñada libre.
- La turbina (100) de un modo de realización de la invención comprende un conjunto de diferentes piezas robustas, cada una de las cuales contribuye significativamente a la optimización de la dinámica de guiñada. Además, los componentes individuales utilizados en la presente invención pueden ofrecerle a la turbina (100) un rendimiento mejorado en robustez y fiabilidad, y un coste menor de fabricación, instalación y mantenimiento.
- En un modo de realización de la presente invención, la turbina a sotavento (100) presenta un sistema de guiñada extremadamente eficaz para regular óptimamente la dirección de la góndola (150) de dicha turbina (100) con relación a una torre (140) sobre la cual se puede montar la góndola (150). En un modo de realización preferido de la presente invención, la góndola (150) comprende un sistema de eje horizontal (131), es decir, cuando se monta, el eje de las palas (132) de la turbina se alinea esencialmente en horizontal. La torre (140) de la turbina eólica es

preferiblemente longitudinal, y montada verticalmente. La góndola (150) de la turbina eólica se puede unir a una torre (140) de la turbina eólica utilizando un montaje giratorio (rotatorio o con guiñada) alrededor de un eje de giro (151). La torre (140) se puede fijar al terreno o al lecho marino, o puede flotar en el agua.

5 En un modo de realización de la presente invención, la torre (140) se fija de tal modo que se impida el giro alrededor de su eje longitudinal. La góndola (150), por otro lado, puede ser capaz de girar alrededor de un eje longitudinal (151) con el fin de seguir la dirección (200) del viento y mantener el rotor (130) perpendicular al flujo dominante de viento. El movimiento relativo entre la góndola (150) y la torre (140) se conoce como guiñada o movimiento de guiñada, y en la mayoría de los casos se ve facilitado por un cojinete de guiñada. En un modo de realización, la torre (140) de la turbina puede ser por lo menos parcialmente hueca. En un modo de realización, la góndola (150) puede
10 unirse de modo desmontable a la torre (140).

En un modo de realización de la invención, un generador de imanes permanentes (112) sirve como dispositivo de amortiguación (110). Un generador de imanes permanentes (112) se basa en imanes permanentes para proporcionar el campo magnético de un rotor para generar energía eléctrica y por tanto par. En esta aplicación, la fuerza de accionamiento es el giro de guiñada de la turbina eólica (100) alrededor del eje de giro (151) de la góndola (150).
15 (150).

En un modo de realización de la presente invención, un engranaje dentado (llanta de guiñada) se fija a la torre, y una caja de cambios, acoplada mediante un piñón a la llanta de guiñada, se monta en la góndola (150). En el árbol de alta velocidad de la caja de cambios, se monta un generador de imanes permanentes (112) y se conecta a una carga resistiva para disipar la potencia indeseada.

20 Algunas de las ventajas de utilizar un generador de imanes permanentes (112) en lugar de un sistema hidráulico pueden incluir eliminar los riesgos de fugas, reducir el mantenimiento necesario, el hecho de que apenas haya dependencia con la temperatura (omitiendo la necesidad de un tanque de expansión para el fluido hidráulico) y la posibilidad de reutilizar la energía producida para alimentar sistemas auxiliares de la turbina eólica (100).

En relación a esta última ventaja, la potencia máxima (kW) del generador de imanes permanentes (112) es alrededor de 0,8% de la potencia nominal de la turbina eólica (100). Esta potencia máxima puede depender además de muchos parámetros tales como el emplazamiento y las condiciones de viento. La energía en exceso producida por el generador de imanes permanentes (112) se puede utilizar para alimentar sistemas auxiliares en la turbina eólica. Incluso a bajas velocidades del viento, la dirección (200) del viento puede aun así cambiar, y por tanto los generadores de imanes permanentes (112) pueden girar alrededor del eje de giro (151). Esta energía en exceso
25 puede ser suficiente para mantener el sistema de control y otros sistemas (tales como calefactores o refrigeradores) en funcionamiento durante caídas de tensión. No obstante, como objetivo principal, el amortiguador de guiñada electromecánico (110) evita velocidades de guiñada excesivas y por tanto elevadas cargas giroscópicas.
30

La turbina eólica (100) de acuerdo con la invención comprende asimismo un generador (120) integrado en el buje. En un modo de realización preferido de la invención, el generador (120) integrado en el buje lleva el centro de inercia del tren de accionamiento de la turbina eólica todavía más hacia el lado trasero (a sotavento) (200) y por tanto contribuye a la estabilidad del movimiento de guiñada: con momentos de guiñada idénticos la aceleración de guiñada disminuirá cuando aumente la inercia. Cualquier otra configuración tendrá inevitablemente algún tipo de árbol en la dirección a barlovento (por ello la masa del generador estará más cerca del centro de giro de guiñada) y por tanto una menor inercia de giro (guiñada). En un modo de realización preferido de la invención, el generador (120) integrado en el buje se sitúa alejado del eje de giro (151) de la góndola (150), aumentando así el momento de inercia de giro de la góndola (150) alrededor del eje de giro (151). En un modo de realización preferido de la invención, el generador (120) integrado en el buje no corta el eje de giro (151) de la góndola (150). En un modo de realización preferido de la invención, el generador (120) integrado en el buje se sitúa en el eje de giro (131) del rotor (130).
35
40

45 La invención puede hacer uso de una máquina de transmisión directa, y por ello la eficiencia puede ser mayor que el tren de accionamiento tradicional que utiliza una caja de cambios (debido a la omisión de pérdidas en estas piezas). En turbinas de transmisión directa, el rotor del generador se acopla directamente al rotor (130) de la turbina, sin la caja de cambios tradicional que sirve para adaptar la baja velocidad del rotor a la velocidad de giro más elevada del generador eléctrico. Adicionalmente, tal modo de realización tiene asimismo consecuencias ventajosas en la arquitectura (y diseño) de la turbina (100) en su conjunto. Esto permite una simplificación adicional del número de las piezas de construcción, lo que ya se consiguió parcialmente meramente omitiendo la caja de cambios. Esto permite además la simplificación del diseño arquitectónico de cada una de estas piezas. Como tal, disminuye los costes materiales, de transporte, construcción y mano de obra de instalación y mantenimiento.
50

Otra ventaja de ciertos modos de realización de la invención puede ser una reducción significativa de diferentes piezas y sus conexiones, acortando el tiempo de montaje y minimizando el riesgo de fallos. En sistemas convencionales, el árbol de está sometido a cargas de par fluctuantes y es susceptible de fallos y fatiga mecánicos.
55

La turbina eólica (100) de acuerdo con la invención comprende igualmente un rotor (130) que comprende por lo menos una pala en flecha (132). Preferiblemente, todas las palas (132) son en flecha. La pala en flecha (132)

comprende un ángulo de curvado (136). La fig. 2 define el ángulo de curvado (136) como el ángulo entre la línea de $c/2$, definida por la línea de cuerda c de la pala, y la línea radial (137). La pala en flecha (132) puede total o parcialmente en flecha. En un modo de realización preferido de la invención, solo la sección de punta (133) de la pala (132) es en flecha. La pala en flecha (132) puede ser en flecha hacia delante o en flecha hacia atrás. En un modo de realización preferido de la invención, la pala en flecha (132) es en flecha hacia atrás en la porción de punta (133), como se ilustra en la fig. 2. La pala en flecha (132) puede ser sin biselar, total o parcialmente biselada. Preferiblemente, todas las palas (132) son idénticamente en flecha.

Las palas en flecha (132) se pueden utilizar igualmente como un control de guiñada efectivo, ya que contribuyen al seguimiento óptimo de la dirección (200) del viento. La pala en flecha es un elemento importante para estabilizar el grado de libertad de guiñada de un sistema de guiñada libre. Una consecuencia de la flecha de la pala (132) es una inducción de un paso de bandera de la posición externa (por ejemplo, la punta (133)) de la pala (132), debido a la forma geométrica de la pala (132). Este embanderado causa que una pala en flecha (132) entre en pérdida a velocidades del viento superiores a una pala sin curvado, y dispersa los efectos de una entrada en pérdidas radialmente a lo largo de la pala (132) ya que la pérdida se induce más tarde en la punta (133) que en la raíz (134). Tal embanderado dinámico, que es una consecuencia directa de la flecha, mejora por lo tanto la estabilidad de guiñada estática.

Una pala en flecha (132) puede mejorar la respuesta de guiñada de una turbina (100), provocando que esta mejore su alineamiento con el viento. Esto tiene lugar debido al hecho de que la pala en flecha (132) aumenta la solidez del rotor (130), y, cuando se usa en conjunción con un ángulo de conicidad (135), mejora adicionalmente los efectos positivos del ángulo de conicidad (135). El efecto disminuido de la sombra de la torre (140) debido a la geometría de la pala en flecha (132) puede evitar igualmente un par sin recuperación en el sistema de guiñada y por consiguiente puede reducir el error de guiñada.

Un ángulo de conicidad (135) tiene asimismo un efecto en la estabilidad de guiñada. A medida que se forma un error de alineamiento entre el viento (200) y el ángulo de guiñada de la turbina (100) (o dirección de la góndola (150)), el ángulo de conicidad (135) provoca que el viento golpee las palas (132) en el lado a barlovento de la turbina de un modo muy próximo a la perpendicular. Como las palas (132) de la turbina eólica son lo más eficiente cuando el viento las golpea de un modo perpendicular, esto puede dar como resultado una sustentación aumentada en el lado a barlovento de la turbina (100). Cuando el viento golpea el lado de sotavento (200) del rotor (130) con un error aun mayor entre la dirección (200) del viento y la pala (132) de la turbina, puede haber una sustentación disminuida en el lado (200) a sotavento de la turbina (100). Esto provoca un momento en la guiñada, creando la fuerza de recuperación que restaura el alineamiento de la turbina (100) con el viento (200). Una pala en flecha (132) puede amplificar este efecto, ya que habría un área superficial mayor de la pala (132) para que el viento la golpeará en el lado a barlovento, aumentando el momento de recuperación y garantizando crecientemente que la turbina (100) volverá en la dirección del viento. Cuando estos dos elementos (pala en flecha (132) + ángulo de conicidad (135)) se combinan, interaccionan entre sí: el hecho de que se retrase la entrada en pérdidas con una pala en flecha (132) suaviza enormemente la caída de momento de recuperación, aumentando la estabilidad global del sistema. Asimismo, la pala en flecha (132) aumenta la solidez del rotor (130) y, cuando esto se combina con un ángulo de conicidad (135), mejorar el efecto de conicidad todavía más, ya que hay más superficie de pala para que las fuerzas aerodinámicas actúen sobre la misma.

Para una turbina a sotavento (100) como se describe en la invención, las palas en flecha (132) del rotor (130) pueden ser flexibles ya que no existe peligro de golpear la torre (140). La pala flexible (132) puede presentar dos ventajas: puede ser menos costosa de fabricar y puede aliviar tensiones en la torre (140) durante condiciones de viento elevado o racheado ya que la flexión permite transferir parte de la carga del viento directamente a las palas (132) en lugar de a la torre (140).

En un modo de realización de la invención, la turbina (100) comprende además un anemómetro y/o una veleta.

Aunque los modos de realización preferidos de la invención se han descrito a efectos ilustrativos, aquellos expertos en la técnica apreciarán que son posibles diversas modificaciones, adiciones y sustituciones, sin alejarse del ámbito y el espíritu de la invención como se da a conocer en las reivindicaciones adjuntas.

Ejemplos

Las mejoras del sistema de guiñada se han confirmado mediante simulaciones. En estos ejemplos, ciertos parámetros demostraron dar como resultado tal mejora: el amortiguador de guiñada (110) y la colocación del generador (120) alejado del eje de giro (151) de la góndola (150). El ángulo de conicidad (135) y la pala en flecha realizan igualmente una contribución. El ángulo de conicidad (135) y la pala en flecha indujeron principalmente un momento de recuperación mayor de la turbina (100), lo que aumenta la fuerza aerodinámica que conduce a la góndola (150) a girar con el viento. La colocación de la masa del generador (120) y el amortiguador de guiñada (130) limitó la velocidad de guiñada de la turbina (100) (es decir, cómo de rápido gira con el viento), reduciendo así las fuerzas giroscópicas que actúan sobre las palas (132) del rotor (130). Además, la colocación bien elegida de la masa del generador (120) alejada del eje de giro (151) de la góndola (150) puede limitar igualmente la oscilación de la góndola (150) al introducir un mayor momento de inercia.

Con respecto al ángulo de conicidad (132) y al curvado de la pala, los gráficos de la fig. 3, fig. 4 y fig. 5 ilustran cómo los dos factores combinados pueden aumentar la capacidad de la turbina (100) para girarse a sí misma para alinearse con la dirección (200) del viento. Para medir esto, se modeló una turbina (100) con un sistema de guiñada fijo, y la fuerza que actuaba para girar la turbina (100) para alinearla con el viento (200) se midió a diferentes ángulos de incidencia del viento. Ángulos de incidencia de 0 (línea discontinua y triángulos), +10 (línea mixta y estrellas) y -10 (línea continua y círculos) grados se muestran en la fig. 3, la fig. 4 y la fig. 5, representando las líneas sin marcar resultados cuando se incluyen uno o ambos de los factores (ángulo de conicidad (135) y/o palas (132) de curvado).

Los dos factores actúan de diferente manera para conseguir el mismo objetivo, y por tanto cuando se combinan tienen efectos beneficiosos suplementarios. El ángulo de conicidad (135) causa que las palas (132) en un lado de la turbina (100) se alineen más directamente con el flujo, mientras que las palas (132) en el otro lado de la turbina (100) están todavía menos alineadas con el flujo de lo que estarían de otro modo. Esto aumenta el momento de recuperación aerodinámica por encima de lo que sería sin el ángulo de conicidad (135). La fig. 3 demuestra que, a medida que la pala (132) que está más próxima al viento entra en la transición entre pre y post pérdida y las fuerzas de sustentación declinan ligeramente, hubo una caída en el momento de recuperación (siendo la caída de, aproximadamente, 13 m/s).

Una consecuencia de un curvado de la pala (132) es la inducción de un paso de bandera de la porción exterior (por ejemplo, la punta (133)) de la pala (132), debido a la forma geométrica de la pala (132). Este paso de bandera causa que la pala en flecha (132) entre en pérdida a velocidades del viento más altas, y se dispersen los efectos de la pérdida radialmente a lo largo de la pala (132), ya que la pérdida se induce más tarde en la punta (133) de la pala (132) que en la raíz (134) de la pala (132). Debido a este paso de bandera dinámico, una consecuencia directa del curvado, se observó una estabilidad de la guiñada estática mejorada en la fig. 4.

Como la entrada en pérdida se retrasa con la pala en flecha (132), esto dio como resultado un suavizado significativo de la caída en el momento de recuperación que se evidencia en la gráfica de solo conicidad de la fig. 3, dando como resultado finalmente una estabilidad global del sistema aumentada, como se ilustra en la fig. 5. Adicionalmente, la pala en flecha (132) aumenta la solidez del rotor, y cuando esto se combina con un ángulo de conicidad (135), se mejora el efecto de conicidad todavía más ya que hay más superficie de pala para que las fuerzas aerodinámicas actúen sobre la misma.

Una reducción tanto de la velocidad de guiñada de la turbina (100) como de la inestabilidad de la góndola (150) conduce a una mayor optimización, de modo que se pueden evitar cargas excesivas en las palas (132) debido a fuerzas giroscópicas que se inducen por la guiñada. Esto se puede conseguir pasivamente seleccionando la colocación del centro de gravedad de la góndola (150) y amortiguando el movimiento de guiñada.

El uso de una máquina de transmisión directa permite la colocación del centro de gravedad del generador (120) alejado del eje de giro (151) de la góndola (150), causando que la inercia inducida ralentice el movimiento de la góndola (150). Además, la transmisión directa permite que la turbina eólica (100) sea tan ligera como sea posible, excluyendo una caja de cambios pesada. Un diseño integrado en el buje de acuerdo con un modo de realización de la invención puede mejorar todavía más esta característica al evitar un árbol pesado. Tal tren de accionamiento directo integrado en el buje puede dar como resultado la ventaja única de tener una turbina eólica (100) ligera (que tiene una tendencia mayor a seguir el viento incluso a velocidades de viento bajas y por lo tanto una menor estabilidad (150)), aunque al mismo tiempo se tiene una turbina (100) que tiene un momento de inercia grande (lo que a su vez da como resultado una velocidad de guiñada menor y una góndola (150) más estable) ya que el peso se sitúa alejado del eje de giro (151) de la góndola (150). La velocidad de guiñada se puede reducir asimismo pasivamente por medio de un motor de imanes permanentes y una caja de cambios, permitiendo así que el motor actúe como un generador (112) en lugar de un motor tradicional.

Ambos medios como se describió en lo que antecede pueden limitar, especialmente cuando se combinan de acuerdo con un modo de realización preferido de la invención, la velocidad de giro de la góndola (150) hasta un valor aceptable. De la fig. 6 se puede ver que el uso de un amortiguador de guiñada (110) tiene un efecto más suave en la limitación de la velocidad de giro, ya que actúa sobre la velocidad directamente, mientras que la inercia inducida por el centro de gravedad alterado impide cualquier aceleración, lo que a su vez se traduce en una velocidad más constante. Sin embargo, el efecto deseado no se obtendría utilizando cualquiera de estos medios tan sólo, ya que o bien el tamaño y la colocación del generador (120) o el tamaño del amortiguador de guiñada (110) (y las fuerzas reactivas que impartiría así a la torre (140)) se volverían prohibitivas. Gracias a la combinación de acuerdo con la invención, se obtiene una velocidad de guiñada aceptable sin ninguna de las consecuencias adversas en las estructuras circundantes.

De estos ejemplos, queda claro que el amortiguador de guiñada (110) y la colocación del generador (120) actúan para disminuir y estabilizar la velocidad de guiñada (es decir, la velocidad a la cual gira la góndola (150)) en el grado de libertad guiñada, haciendo el sistema de guiñada más estable. El ángulo de conicidad (135) y la pala en flecha (132) actúan para reducir el error de guiñada de la góndola (150) (es decir, la diferencia entre la dirección del viento (200) y la dirección en la cual apunta la góndola (150)), aumentando así todavía más la estabilidad del sistema de guiñada. De estos ejemplos queda claro que la combinación selectiva de los parámetros anteriormente mencionados da como resultado características mejoradas para una turbina (100) de guiñada pasiva a sotavento, particularmente

debido al modo en que estos parámetros interaccionan entre sí. Esta combinación hace posible evitar el uso de un sistema de seguimiento activo del viento, y evitar un sistema de accionamiento para forzar a la correcta orientación (200) de la góndola (150) con el viento.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una turbina a sotavento de eje horizontal (100), que comprende una góndola (150) que tiene un rotor (130) que comprende un buje y por lo menos una pala en flecha (132), góndola (150) que es adecuada para su fijación con giro a una torre (140) que define así un eje de giro (151) alrededor del cual guiña la góndola (150), comprendiendo además dicha turbina (100):
- un generador (120) integrado en el buje; y
 - un amortiguador de guiñada (110); caracterizado porque
- dicho amortiguador de guiñada (110) comprende un generador de imanes permanentes (112).
- 10 2. La turbina a sotavento de eje horizontal (100) de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el generador (120) integrado en el buje se sitúa alejado del eje de giro (151) de la góndola (150), aumentando así el momento de inercia de giro de la góndola (150) alrededor del eje de giro (151).
3. La turbina a sotavento de eje horizontal (100) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en la que el generador (120) integrado en el buje se acopla al rotor (130) mediante una conexión de transmisión directa.
- 15 4. La turbina a sotavento de eje horizontal (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la por lo menos una pala en flecha (132) presenta un ángulo de conicidad (135) con respecto a un plano perpendicular al eje de giro (131) del rotor (130).
5. La turbina a sotavento de eje horizontal (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que por lo menos una pala en flecha (132) es flexible.
- 20 6. La turbina a sotavento de eje horizontal (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que el generador de imanes permanentes (112) alimenta sistemas auxiliares de la turbina (100).
7. La turbina a sotavento de eje horizontal (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que el amortiguador de guiñada (110) comprende además un amortiguador hidráulico, un amortiguador neumático, un amortiguador eléctrico, y/o un amortiguador de fricción.
- 25 8. La turbina a sotavento de eje horizontal (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que el amortiguador de guiñada (110) comprende además un engranaje dentado y/o una caja de cambios.
9. La turbina a sotavento de eje horizontal (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en la que el amortiguador de guiñada (110) comprende además un freno de seguridad.
10. La turbina a sotavento de eje horizontal (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que además comprende la torre (140).
- 30 11. Un procedimiento para optimizar un control de guiñada libre pasivo de turbinas eólicas a sotavento (100), comprendiendo dicho procedimiento las etapas:
- emplear un amortiguador de guiñada (110), en el que el amortiguador de guiñada (110) comprende un generador de imanes permanentes (112);
 - emplear un generador (120) integrado en el buje; y
- 35 – emplear un rotor (130), que comprende por lo menos una pala en flecha (132).
12. El procedimiento para optimizar un control de guiñada libre de turbinas eólicas a sotavento (100) de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende además:
- emplear un generador (120) integrado en el buje que se sitúa alejado del eje de giro (151) de la góndola (150), aumentando así el momento de inercia de giro de la góndola (150) alrededor del eje de giro (151).
- 40 13. El procedimiento para optimizar un control de guiñada libre de turbinas eólicas a sotavento (100) de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, que comprende además:
- emplear una conexión de transmisión directa para acoplar el generador (120) integrado en el buje con el rotor (130).
- 45 14. El procedimiento para optimizar un control de guiñada libre de turbinas eólicas a sotavento (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, que comprende además:
- emplear un rotor (130) que comprende al menos una pala en flecha (132) que forma un ángulo de conicidad (135) con respecto al plano perpendicular al eje de giro (131) del rotor (130).

15. El procedimiento para optimizar un control de guiñada libre de turbinas eólicas a sotavento (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, que además comprende:

- emplear el generador de imanes permanentes (112) para alimentar sistemas auxiliares de la turbina eólica (100).

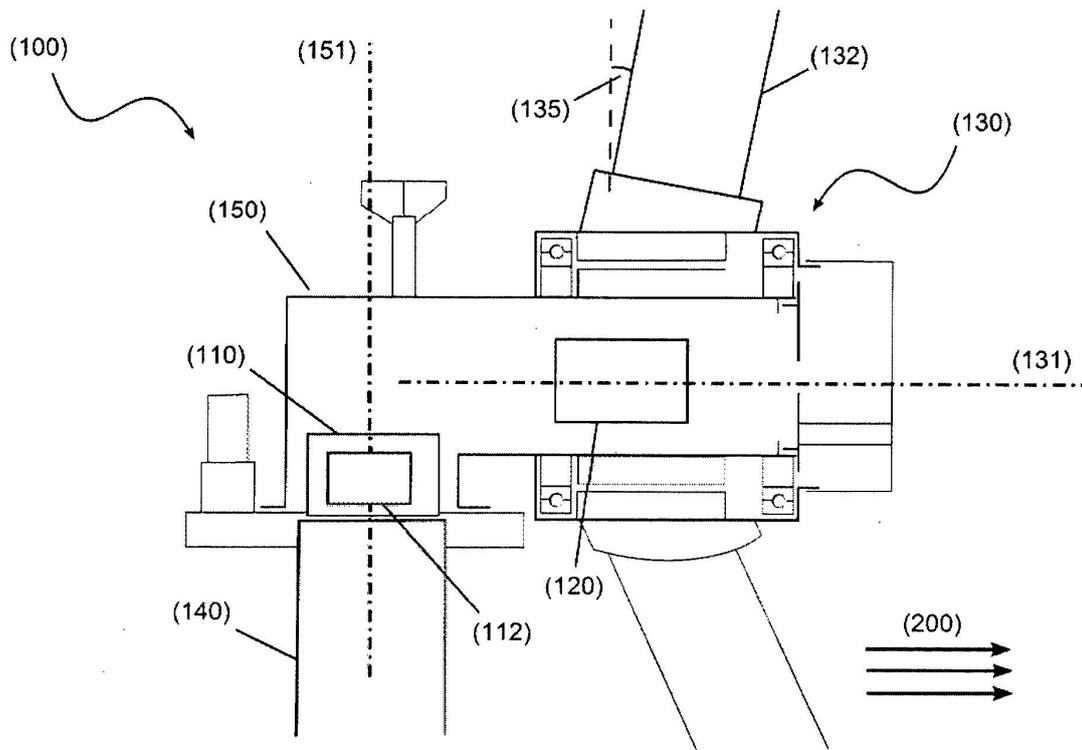


FIG. 1

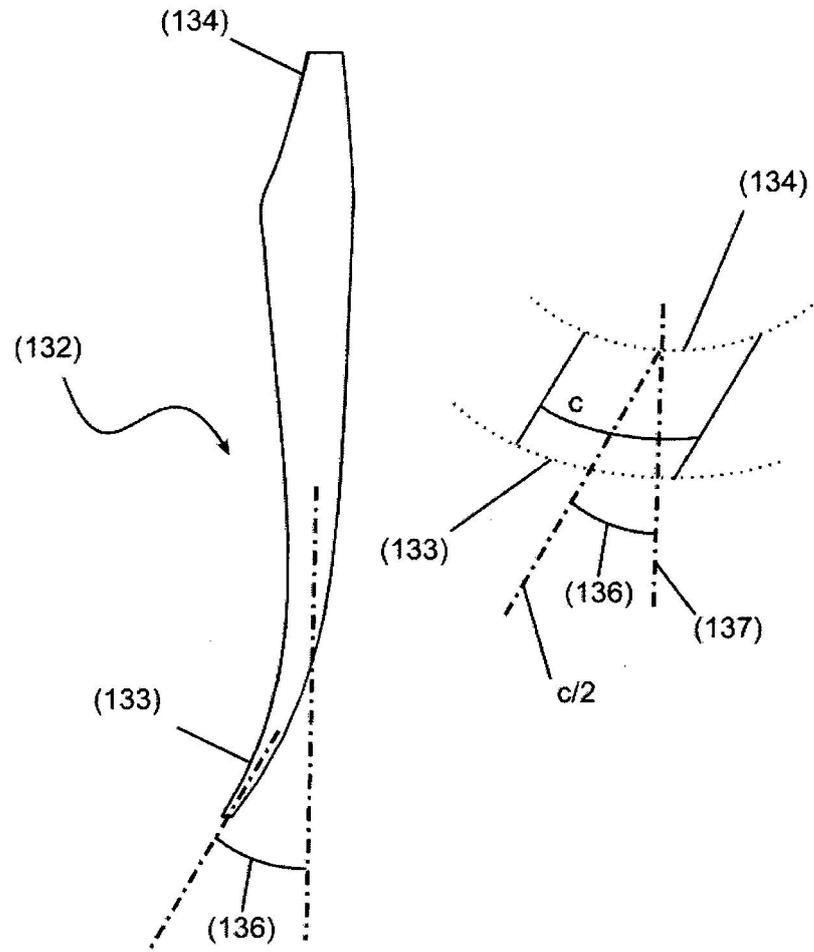


FIG. 2

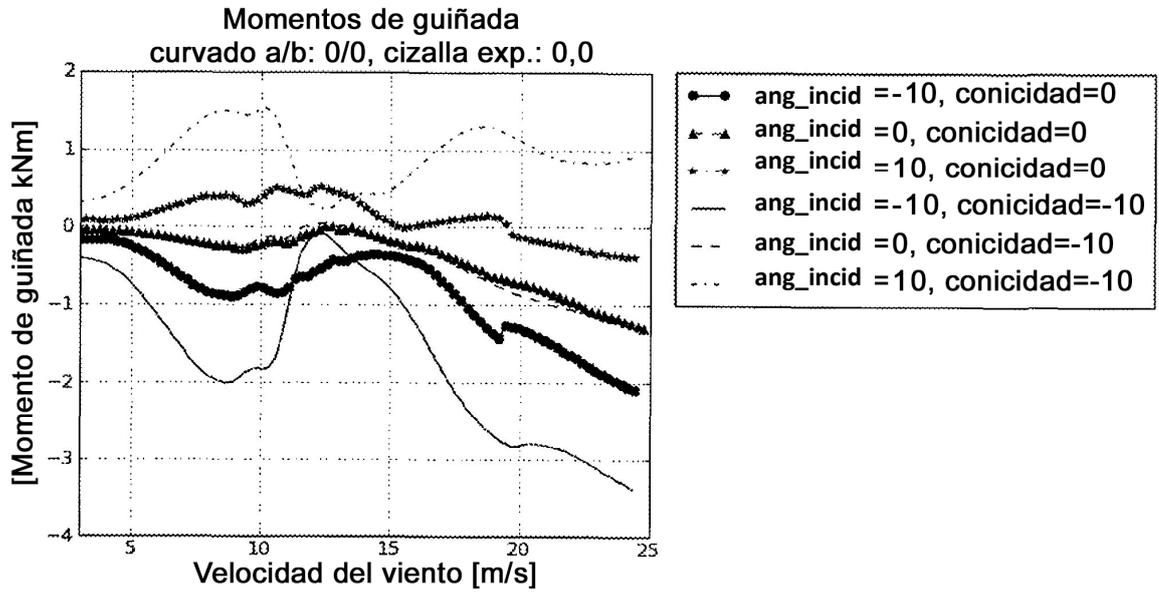


FIG. 3

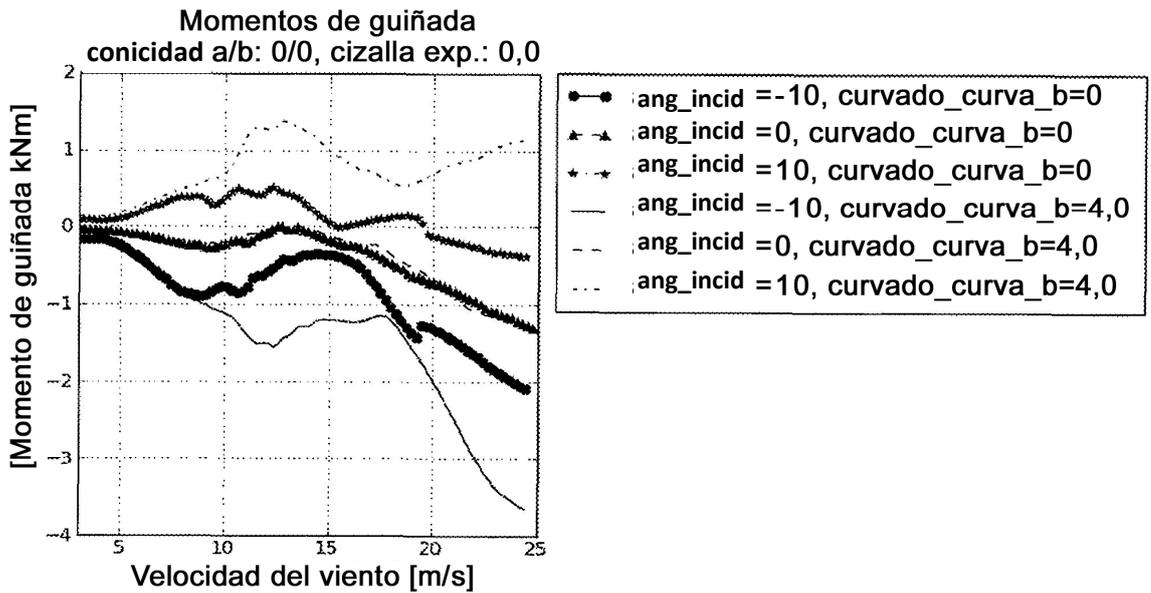


FIG. 4

Momentos de guiñada

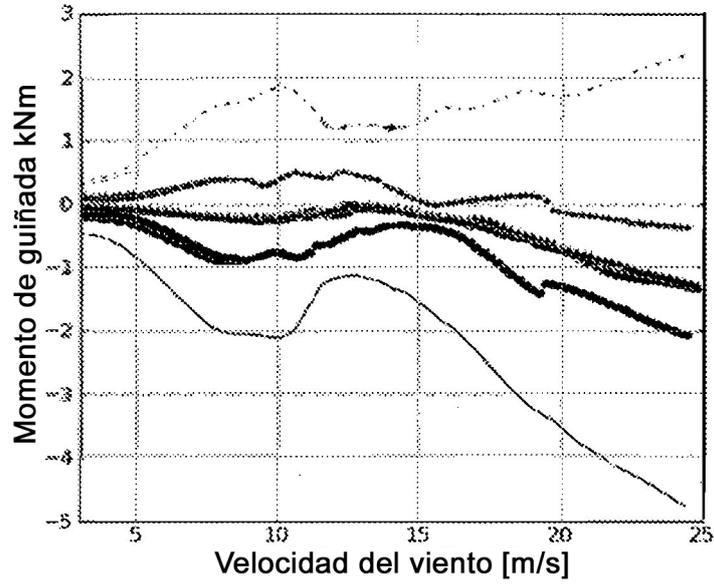


FIG. 5

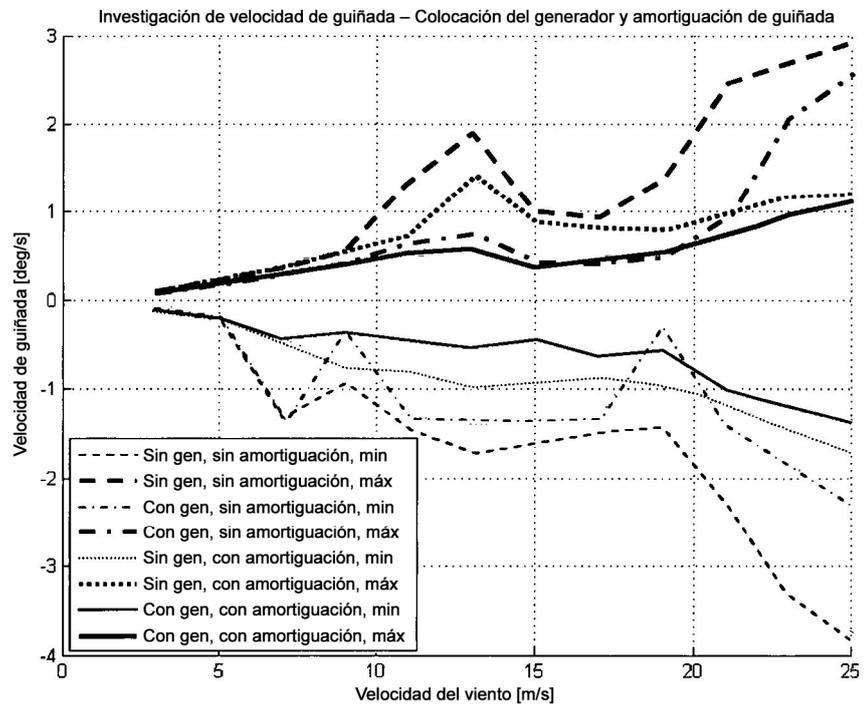


FIG. 6

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 Esta lista de referencias citada por el solicitante es solamente para conveniencia del lector. No forma parte del documento de la patente europea. Aun habiendo puesto gran cuidado en recopilar las referencias, los errores u omisiones no pueden ser excluidos y la EPO queda exime de toda responsabilidad en este aspecto.

Documentos de patente citados en la descripción:

- US 4674954 A [0004]
- DE 10212467 A [0008]
- 10 • US 4522564 A [0008]