

CORRECCIÓN DE ERRORES SISTEMÁTICOS EN EL ALINEAMIENTO DE AEROGENERADORES

Objeto de la invención.

5

La presente invención se refiere a un método de control para corregir cualquier tipo de error en el alineamiento en aerogeneradores mediante algoritmos matemáticos implementados en el controlador del aerogenerador basado en variables operacionales para minimizar las pérdidas de producción de energía anual (AEP) del aerogenerador.

10

Antecedentes de la invención.

Los aerogeneradores de eje horizontal constan de una torre fija que eleva sobre el suelo una góndola que porta un generador eléctrico conectado a un rotor por medios mecánicos. El rotor está conformado por un buje que une al menos una pala que se encarga de transformar la energía cinética del viento en movimiento de rotación del rotor.

15

Es conocido en el estado de la técnica que el punto de funcionamiento óptimo de un aerogenerador de eje horizontal se obtiene cuando el eje del rotor es paralelo a la dirección del viento, afirmando que se maximiza la energía producida y se minimizan las cargas. Sin embargo, el óptimo de producción y la máxima perpendicularidad al viento no coinciden en general, debido cualquier condición de viento que genere asimetrías de velocidad en el plano del rotor. Esto es dependiente del viento y diferente en cada aerogenerador.

20

25

La góndola es capaz de tener movimiento respecto a la torre que la sustenta, de modo que permite al rotor orientarse en la dirección del viento mediante un sistema mecánico que lo mueve a una orientación deseada (sistema de guiñada) con objeto de aprovechar al máximo el viento y producir el máximo de potencia. Este sistema de guiñada gira la góndola del aerogenerador alrededor de un eje vertical de guiñada, coincidente con el eje vertical de la torre, hasta que el eje de rotación de las palas queda

30

35

aproximadamente alineado con la dirección del viento. Cuando esta posición óptima no se alcanza, el aerogenerador tiene un error de guiñada determinado por el ángulo de desviación con respecto a dicha posición óptima.

5

Sin embargo, dada la variabilidad natural de la dirección del viento se hacen necesarios sistemas que constantemente detecten la dirección del viento y en consecuencia, ajusten la posición del aerogenerador de cara a un máximo aprovechamiento del viento que permita producir el máximo de potencia. Por otro lado, un desalineamiento importante respecto a la

10 dirección del viento provoca también el aumento de cargas en los componentes del aerogenerador que deriva en un deterioro de los mismos.

En este sentido, el sistema de guiñada dispone de un sistema de medición de la dirección del viento compuesto por sensores, ubicados

15 habitualmente en la parte superior de la góndola del aerogenerador, detrás del rotor.

Sin embargo, hay varios factores a tener en cuenta en la medición de la dirección del viento que hacen que no se obtenga un valor correcto de las mediciones; la influencia del rotor sobre las corrientes de aire descendentes, el funcionamiento deficiente de los sensores por una instalación y/o configuración errónea, el flujo ascendente derivado de la ubicación de cada aerogenerador y por último, la evolución de los diseños de las secciones

20 interiores de las palas que han evolucionado hacia una mayor efectividad aerodinámica y que producen una mayor deflexión de la corriente. Todo ello provoca que el aerogenerador no opere en las condiciones deseadas.

25

El documento US2015086357A1 describe un procedimiento de barrido de la guiñada identificando el posible desalineamiento y la medición de potencia de salida del aerogenerador durante el funcionamiento en condiciones de funcionamiento. Este proceso es difícilmente automatizable, requiriendo un proceso posterior manual.

30

35 Se encuentran soluciones en el estado de la técnica que abordan la

problemática del desalineamiento posicionando los sensores delante del rotor del aerogenerador, como las que se describen en el documento EP2626549A1.

5 El documento US2013114067A1 describe un sistema de control óptico para un aerogenerador que comprende la incorporación de unos sensores, por delante del rotor del aerogenerador, que proporcionan unas mediciones en base a las que, en combinación con las obtenidas en los sensores de la góndola del aerogenerador, se intenta posicionar el aerogenerador en la
10 posición óptima.

Se conocen del Estado de la técnica otras soluciones como las expuestas en la patente EP2267301B1 que describe un sistema de control de la guiñada de un aerogenerador que incorpora un canal de viento que
15 pasa a través del buje del aerogenerador y que comprende un dispositivo de medición del flujo de aire pasante para, mediante un sistema de control, determinar el error de guiñada. Sin embargo esta solución no puede aplicarse a aerogeneradores ya instalados.

20 Las soluciones existentes en el Estado de la Técnica están basadas en la misma idea: medir el viento en el rotor y su comparación con la medida del sensor en la góndola. Esto requiere el uso de sensores adicionales a los existentes en un aerogenerador (sensores de medición de velocidad, de medición de dirección de viento, de medición de potencia y medición de giro
25 del rotor) con el coste que conlleva, además de la instalación, retirada y calibración de cada dispositivo de medida de cada aerogenerador que necesita ser ajustado.

A la vista de los inconvenientes de las soluciones anteriores, se prevé
30 la necesidad de implementar una solución que no necesite la instalación de sensores adicionales para una correcta medición del error de guiñada y permita posicionar la góndola del aerogenerador en el punto óptimo de funcionamiento para maximizar la eficiencia. Las características del algoritmo de optimización permiten la automatización completa del proceso, lo que
35 supone una ventaja técnica frente a numerosos procedimientos manuales del

estado de la técnica.

Descripción de la invención

5 La presente invención tiene por objeto superar los inconvenientes del estado de la técnica utilizando únicamente variables básicas como potencia, velocidad de viento, dirección del viento o velocidad de giro del motor para la correcta medición del error de guiñada mediante un sistema de control del error sistemático en el alineamiento de la góndola de un aerogenerador con
10 respecto a la dirección del viento que optimiza la producción, siendo general y automático, de forma que pueda ser aplicado a cualquier tipo de aerogenerador de eje horizontal instalado en cualquier localización de un parque eólico y que no implica añadir dispositivos de medición adicionales a los ya existentes (sensores de medición de velocidad y dirección de viento,
15 potencia y giro del rotor). El objetivo de la invención es detectar la desviación sistemática del dispositivo existente de orientación con respecto al punto que maximiza la eficiencia energética.

 Por lo tanto la presente invención conlleva, una automatización del método de alineamiento sin necesidad de sensores adicionales a los
20 convencionalmente existentes en los aerogeneradores de eje horizontal, un método numérico que dirige la búsqueda del resultado óptimo reduciendo drásticamente el tiempo necesario para obtener resultados estables, y un procedimiento de filtrado de bajas frecuencias y criterio estadístico automático de convergencia.

25 Se conoce del Estado de la Técnica que la pérdida de potencia generada por el aerogenerador, derivada de un error de guiñada, sigue una curva basada en la ley del $\cos^2$ (ver figura 2), pudiendo estimarse las pérdidas de potencia partiendo de diferentes ángulos de desalineamiento.

30 En este sentido, es objeto de la invención que el sistema de control determine la necesidad de realizar mediciones del ángulo de guiñada, así como que el sistema de control cuantifique el valor del desalineamiento, no solo mediante la directa medición de la dirección del viento, sino también
35 mediante un conjunto de valores que sean función de la velocidad del viento.

La invención también mitiga los efectos del desalineamiento mediante medidas correctivas que apliquen los valores obtenidos en las mediciones, bien en el PLC o bien en el hardware de adquisición de datos.

5

Para ello se hace oscilar la góndola a un ritmo constante en el que no haya influencias de las variaciones meteorológicas (ráfagas, turbulencia, cambios de cortadura, oscilaciones diurnas y estacionales) ni de variaciones de la máquina (resonancia de la torre, giro del rotor o modos de vibración). Dichas oscilaciones tienen unos rangos de frecuencia inferiores a cualquier modo de operación de la máquina y superiores a cualquier variación de tipo meteorológico.

10

Adicionalmente se asocia un algoritmo de análisis numérico de entre los algoritmos de optimización de eficiencia que tiene como objetivo encontrar una función $y = f(\theta)$ que maximice la eficiencia del aerogenerador donde θ^* es el alineamiento óptimo, la solución en cada instante es proporcional al cambio o derivada de la función analizada f y que incorpora una etapa de filtrado para atenuar bajas frecuencias de los componentes que generan las características de viento y meteorológicas y altas frecuencias de los componentes del aerogenerador.

15

20

El objeto de la invención radica en la asociación del método de análisis numérico a las variaciones de la eficiencia provocadas por las oscilaciones de la góndola. Siendo la eficiencia la potencia producida en cada instante con respecto al viento.

25

Para ello se prevé la implementación de un algoritmo de análisis numérico de optimización de eficiencia (Fig 4B), basado en la influencia del desalineamiento en la curva de potencia del aerogenerador (Fig 2) y que comprende una etapa de filtrado donde se atenúan las altas y las bajas frecuencias de los componentes. Este tipo de algoritmos puede implementarse en cualquier tipo de aerogenerador convencional actual.

30

Las ventajas del sistema de control respecto a las existentes en el

35

Estado de la Técnica son:

- el algoritmo de optimización permite la automatización completa del proceso
- no necesita sensores adicionales a los existentes en el aerogenerador (sensor de medición del viento, sensor de medición de la velocidad del viento, sensor de velocidad de giro del rotor y sensor de medición de potencia)
- utilización de variables básicas como son potencia, velocidad de viento, velocidad de giro del rotor
- tiempos mínimos de convergencia del algoritmo y baja incertidumbre de los resultados.

Estos algoritmos de análisis numéricos de optimización permiten la búsqueda de una condición óptima (ángulo de alineamiento θ^*) sin un conocimiento a priori de la planta, y requieren tan solo como información de entrada la función de coste para optimizar. Este algoritmo de análisis numérico de optimización debe de llevar una etapa de filtrado de bajas y altas frecuencias de los componentes del aerogenerador y puede ser un algoritmo del siguiente tipo:

- algoritmo ESC: Extremum Seeking Control (IEEE control systems. 26(1):70 - 79.).
- algoritmo HOO :Hierarchical Optimistic Optimization (Bubeck,S et al. "Online Optimization in x-armed bandits". OPT 2008 Optimization for Machine Learning.<https://opt2008.kyb.tuebingen.mpg.de/papers/bubeck.pdf> basado en barridos de guiñada.
- algoritmo de la Secante Modificada, basado en el método de Brent (International Conference on Mechatronics & Automation, 2005, pp 248-253)

La invención también tiene como objeto que el sistema de control sea capaz de anticiparse a cualquier fallo que pueda ocasionarse en los

sensores de medición, para ello el sistema de control realiza mediciones redundantes de la dirección del viento.

Estos y otros aspectos de la invención se describirán de una forma
5 más detallada con ayuda de los dibujos que se describen a continuación.

Breve descripción de los dibujos.

La invención y su modo de operación se entenderán de manera más
10 completa a partir de la siguiente descripción detallada junto con las siguientes figuras esquemáticas:

La figura 1 muestra una vista en perspectiva de un aerogenerador
convencional.
15

Las figura 2 muestra una curva de la relación existente entre la potencia generada y el ángulo de guiñada del aerogenerador según el Estado de la Técnica.

20 Las figuras 3a y 3b muestran respectivamente una vista en planta de un aerogenerador cuya góndola desviada de la dirección del viento y un aerogenerador con su góndola alineada con la dirección del viento.

La figura 4A muestra un esquema del sistema de control implementado
25 en el aerogenerador según la invención.

La figura 4B muestra un esquema del algoritmo implementado en el sistema de control.

30 La figura 5 muestra un diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de control.

Modos de realización de la invención

35 La figura 1 es una vista en perfil que muestra un aerogenerador (1) de

acuerdo con una realización preferente de la invención. El aerogenerador (1) incluye una torre (2) que se eleva verticalmente sobre una cimentación (3), una góndola (4) montada en la parte superior de la torre (2), y un rotor (5) montado en el final frontal de la góndola (4) de forma que se soporta de forma rotativa con respecto a un eje sustancialmente horizontal X1-X1.

El rotor (5) tiene al menos una pala (6), como se muestra en la figura 1, montada en un patrón radial con respecto a su eje de rotación. Por lo tanto, la energía del viento al soplar contra las palas (6) del aerogenerador desde la dirección del eje de rotación del rotor (5) se convierte en energía de movimiento que hace girar el rotor (5) con respecto al eje de rotación. Un anemómetro (7) mide la velocidad del viento en la vecindad y un anemoscopio (7) mide la dirección del viento, y para ello se disponen en localizaciones adecuadas de la superficie externa periférica (por ejemplo, en la parte superior) de la góndola (4) del aerogenerador.

El flujo de viento que pasa por el rotor (5) adquiere un momento rotacional en la dirección opuesta al giro del rotor (5). La corriente de viento medida por el sensor de dirección de viento (7) que está colocado en la góndola es desviada de su dirección original contracorriente del aerogenerador. Este efecto depende del perfil de la raíz de pala, de la forma de la góndola y del posicionamiento del sensor en la góndola (4). Este fenómeno se puede ver en la figura 3a.

Se entiende como desalineamiento del aerogenerador, la condición en la que la góndola del aerogenerador se encuentra desviada un ángulo (α) con respecto a la dirección real (γ) del viento en instantes puntuales, ver figura 3a. Esta desviación (α) de la góndola (4) con respecto a la dirección (γ) del viento puede sospecharse por diferentes motivos; por la obtención de una curva de potencia generada menor de la estimada para condiciones óptimas de funcionamiento, mediante una comparación de la posición real (α) de la góndola (4) y de la posición que debería de tener en función de los datos de la dirección real (γ) del viento obtenidos del anemoscopio (7) o visualmente al observar una alineación diferente a la que determinan los aerogeneradores de alrededor.

La figura 3a muestra un aerogenerador cuya góndola (4) muestra una desviación (α) con respecto a la dirección del viento (v), de forma que el viento no incide en las palas de forma correcta disminuyendo la producción de potencia, mientras que la figura 3b, muestra un aerogenerador correctamente orientado respecto a la dirección del viento (v). En la Figura 3b, el sensor está desalineado respecto a la viento incidente en el rotor, pero la referencia mandada a la lógica de alineación incluye una corrección y por tanto la góndola es alineada correctamente.

Por otro lado, se conoce del Estado de la Técnica que la pérdida de potencia generada por el aerogenerador, derivada de un error de guiñada, sigue una curva basada en la ley del $\cos^2$ (ver figura 2), pudiendo estimarse las pérdidas de potencia partiendo de diferentes ángulos (α_i) de desalineamiento.

En este sentido, resulta imperativo conocer el valor real de la desviación de la góndola (4) del aerogenerador (1) con respecto de la dirección del viento (v) de manera que ésta pueda ser corregida. Sin embargo, se sabe que debido al ruido, las turbulencias, la oscilación de la góndola (4) y otros factores, la medida de la dirección del viento (v) por parte del anemómetro (7) puede verse afectada, por lo que se precisa relacionar el desvío en el ángulo (α) de guiñada con respecto a otra variable, como la velocidad del viento.

Para ello, el sistema de control de la invención (Figura 4A) hace oscilar la góndola realizando movimientos periódicos en la guiñada de la góndola (4) con respecto a la dirección del viento, a un ritmo constante en el que no haya influencias de variaciones meteorológicas como pueden ser ráfagas, turbulencias o cambios de cortaduras entre otros. Las oscilaciones tienen unos rangos de frecuencia preferiblemente inferiores a cualquier modo de operación de la máquina, por tanto inferiores a 0.1 Hz y preferiblemente superiores a cualquier variación del tipo meteorológico, por tanto superiores a 0.0005Hz. Cuando se hace oscilar la góndola tampoco debe haber

interferencias del funcionamiento de la máquina como resonancia de la torre, giro del rotor u otros modos de vibración. Se extrae los datos de variación de potencia con técnicas de modulación y filtrado conocidas, lo cual se combina con un algoritmo de análisis numérico de optimización de potencia (figura 4B) que se basa en la obtención del valor óptimo de una función de eficiencia f obtenida del modelo de potencia aerodinámica de cada aerogenerador (1) y que debe de llevar una etapa de filtrado atenuando bajas (filtro k/s) y altas frecuencias ($s/s+h$) de los componentes del aerogenerador.

El algoritmo mostrado en la fig 4B fuerza oscilaciones sinusoidales de baja frecuencia y alta amplitud en la góndola. Estas oscilaciones deben de ser invisibles frente al resto de control del aerogenerador para evitar que el control de guiñada intente contrarrestarlas. Siendo $f(\theta)$ la eficiencia, k la ganancia del algoritmo, h el parámetro característico del filtro, s la variable de Laplace, a y w la amplitud y la frecuencia respectivamente, θ^* es el valor óptimo de alineamiento de la góndola que maximiza la $f(\theta)$, por lo que $f(\theta^*)$ será f^* . k/s es el filtro que atenúa frecuencias bajas y $s/s+h$ el filtro que atenúa frecuencias altas.

El valor θ^* es el correspondiente a la máxima potencia medida en la oscilación forzada de la góndola causada por el algoritmo.

El objetivo es encontrar un valor óptimo θ^* que haga máxima la función de eficiencia f^* .

El algoritmo de optimización asegura estabilidad y convergencia del resultado. Este algoritmo de análisis numérico de optimización de eficiencia puede ser del tipo: el denominado ESC (Extremum Seeking Control), el denominado algoritmo HOO (Hierarchical Optimistic Optimization) basado en barridos de guiñada o el algoritmo de la Secante Modificada, basado en el método de Brent.

Esta función de eficiencia $y = f(\theta)$ es el ratio entre la potencia medida por los sensores del aerogenerador y la potencia disponible en el viento. La guiñada de la góndola (4) se orienta progresivamente hacia las posiciones

que maximizan esa función de eficiencia, hasta que se alcanza el máximo f^* y se mantiene estable en un valor de desviación predeterminado.

El algoritmo de optimización es implementado en una composición modular, de tal modo que no afecte al controlador. La figura 4A muestra cómo se integra el algoritmo en el software existente en el aerogenerador. El algoritmo es compatible con el funcionamiento normal del aerogenerador, incluyendo las acciones de mantenimiento, alarmas entre otros. La señal de desalineamiento del sensor de dirección del viento es mandada a la unidad de lógica de alineación que posteriormente orienta la góndola del aerogenerador. La señal de salida del algoritmo de optimización también se manda a la unidad de lógica de alineación para calcular el error y la señal de modulación

El sistema de control (20) de la invención, tal y como se muestra en la figura 4A comprende una unidad de adquisición (8) de parámetros que relacionan la dirección del viento (γ) con la desviación (α) de la góndola (4) del aerogenerador, una unidad de cálculo (9) de la función de eficiencia del aerogenerador (1) y una unidad de comparación (10) de desviación de la góndola (4) y que mediante un algoritmo de optimización de potencia orienta progresivamente la góndola (4) del aerogenerador hacia posiciones que maximizan la función de eficiencia.

Tal y como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 5 el sistema de control sigue los siguientes pasos:

- Obtención de valores de diferentes parámetros mediante el hardware (21) existente en el aerogenerador, pudiendo ser estos parámetros la dirección de viento, la velocidad de viento, la posición de góndola, la potencia producida, las condición de desenrolle del cableado entre la torre y la góndola, la condición de orientación de la

góndola y/o el estado de operación del aerogenerador, siendo estos estados de operación; emergencia, stop, pausa y producción

5 - Comprobación del estado de operación del aerogenerador, verificando la producción de energía en funcionamiento normal, es decir en producción, dentro de los rangos de viento predefinidos y sin que se detecten alarmas.

10 a) Si el estado de operación no es el adecuado, se vuelve a comprobar hasta que el aerogenerador se encuentre en estado producción.

b) Si el estado de operación es el adecuado, se comprueba que las condiciones de orientación y/o de desenrolle están activadas.

15 - Si las condiciones de orientación y/o de desenrolle están activadas se inhiben las oscilaciones de la guiñada de cálculo de la función de eficiencia., por lo que no se hace oscilar la góndola.

20 - Si las condiciones de orientación y/o de desenrolle están desactivadas se lanza el algoritmo de optimización de potencia (Fig 4B) del cual se obtiene una señal denominada desviación externa que hace oscilar la góndola.

25 En el algoritmo de optimización (Fig 4B), se siguen los siguientes pasos;

30 a. Adecuación de la integridad de las variables de entrada, comprobación de que se encuentran dentro límites mediante un filtrado que atenúa altas y bajas frecuencias, siendo los límites de estos parámetros determinados en función de las características particulares del aerogenerador (1).

- 5 b. Obtención de una función de eficiencia $y=f(\theta)$ mediante el cálculo de ratio entre la potencia generada obtenida por los sensores correspondientes y la potencia teóricamente producible, que se obtiene a partir de la multiplicación de un parámetro configurable que es función de las constantes propias que dependen de cada aerogenerador (1), incluyendo el diámetro del rotor y el coeficiente de potencia máximo y de la velocidad viento. Dicho parámetro es el producto de la densidad de aire (kg/m^3), la superficie del rotor (m^2) y el coeficiente de potencia máximo ($C_{p\text{máx}}$). (Para condiciones atmosféricas: $\text{parámetro}_= 0.5 \cdot 1.225 \cdot \pi \cdot (\text{diámetro}/2)^2 \cdot C_{p\text{máx}}$)
- 10 c. Filtrado de la función de eficiencia y obtenida del paso anterior mediante $(s/s+h)$.
- 15 d. Demodulación de la señal obtenida en el paso anterior, multiplicándola por el valor actual que tenga la señal de la oscilación de la guiñada ($\sin wt$), obteniendo ξ .
- e. Filtrado de la señal obtenida mediante k/s y obtención de una señal denominada gradiente, $\hat{\theta}$
- 20 f. Acumulación de todos los valores obtenidos de la señal gradiente desde que se iniciaron los cálculos e integración obteniéndose una señal denominada desviación externo θ .
- 25 2. Envío de la señal desviación externo θ al sistema de control de guiñada (11).
3. Comparación entre el valor de desviación externo calculado y el valor de desviación (α) determinado por los sensores de viento (7).
- 30 -Si el valor obtenido excede de unos valores predeterminados dependientes de las particulares características del aerogenerador (1), el sistema de orientación de guiñada

moverá la góndola (4) siguiendo la referencia que hayan acumulado la suma de la orientación y la desviación externa.

- Si el valor obtenido no excede los valores predeterminados, el sistema de control (20) impondrá un movimiento oscilatorio al sistema de guiñada adicional al movimiento del paso anterior, siempre que las condiciones de viento estén dentro de los límites de seguridad prefijados.

La suma de los movimientos de guiñada descritos, junto con las variaciones propias del viento determinará un nuevo estado de operación y funcionamiento del aerogenerador (1) que será registrado por el hardware (21) del mismo, y con estos datos se comenzará un nuevo ciclo.

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

Reivindicaciones

1.- Sistema de control para corregir errores sistemáticos en el alineamiento del aerogenerador (1) de eje horizontal provisto de
5 un sistema de orientación de guiñada de la góndola (4) con respecto a la dirección del viento que comprende una unidad de adquisición (8) que adquiere valores de parámetros que relacionan la dirección del viento (γ) con una desviación real (α) de la góndola (4) del aerogenerador utilizando el hardware existente en el propio aerogenerador (1), una unidad de cálculo (9)
10 de una función de eficiencia del aerogenerador $y=f(\theta)$ y una unidad de comparación (10) de desviación de la góndola (4)

caracterizado porque siendo

general,

automático,

15 instalado en cualquier localización y

que no implica añadir dispositivos adicionales de medida a los ya existentes en el aerogenerador (sensor de medición del viento, sensor de medición de la velocidad del viento, sensor de velocidad de giro del rotor y sensor de medición de potencia),

20 el sistema de control está caracterizado porque puede detectar y evitar situaciones de desalineamiento de la góndola en aerogeneradores mediante la implementación de un algoritmo de análisis numérico de optimización de la función de eficiencia que tiene como objetivo encontrar una función $y=f(\theta)$ que maximice la eficiencia del aerogenerador, donde θ^*
25 es el alineamiento óptimo, incorporando dicho algoritmo una etapa de filtrado para atenuar bajas frecuencias (k/s) de los componentes que generan las características de viento y meteorológicas y altas frecuencias (s/s+h) de los componentes del aerogenerador y porque mediante dicho algoritmo se generan comandos que permiten al sistema de orientación de guiñada
30 orientar la góndola (4) del aerogenerador (1) hacia posiciones que maximizan la función de eficiencia $f(\theta^*)$.

2.- Sistema de control según la reivindicación 1 caracterizado porque la unidad de cálculo (9) calcula la función de eficiencia mediante un ratio
35 entre una potencia generada obtenida por los sensores y una potencia

teóricamente producible, incluyendo el diámetro del rotor y el coeficiente de potencia máximo y de la velocidad viento.

3.- Sistema de control, según la reivindicación 2, caracterizado porque la potencia teórica se calcula mediante la multiplicación de un parámetro configurable, que es función de las constantes propias de cada aerogenerador (1), incluyendo el diámetro del rotor y el coeficiente de potencia máximo, y de la velocidad del viento, siendo dicho parámetro configurable el producto de la densidad de aire, la superficie del rotor y el coeficiente de potencia máximo (C_{pmax})

4.- Sistema de control, según la reivindicación 1, caracterizado porque la unidad de comparación (10) de desviación de la góndola (4) calcula la desviación entre el valor de desviación calculado por el algoritmo de optimización θ y el valor de desviación (α) determinado por al menos un sensor de viento (7), de forma que cuando este valor de desviación exceda valores configurados (desorientación entre 5 y 10°), el sistema de orientación de la góndola moverá la góndola siguiendo la referencia que han acumulado la suma de la orientación y la desviación externo.

5.- Sistema de control para corregir errores sistemáticos en el alineamiento del aerogenerador, caracterizado porque, empleando la disposición de control de la reivindicación 1, se realizan las siguientes etapas;

- obtención de valores de los parámetros a través del hardware (21) existente en el aerogenerador (1), estando los valores de los parámetros seleccionados en parámetros de la dirección de viento, la velocidad de viento, la posición de góndola, la potencia producida, las condiciones de desenrolle del cableado entre la torre y la góndola, la condición de orientación de la góndola y/o el estado de operación del aerogenerador;

- comprobación del estado de operación del aerogenerador (1) en funcionamiento normal de producción;

- comprobación de activación de las condiciones de orientación y/o desenrolle de la góndola (4);

- lanzamiento de un algoritmo de optimización de potencia;

- obtención de la desviación real de la góndola (4) con respecto a la dirección del viento;

- comparación del valor desviación real obtenido con valores de desviación predeterminados en función de las características particulares del aerogenerador (1);

- orientación de la góndola (4) hacia una posición que maximice la función de eficiencia.

6.- Sistema de control, según la reivindicación 5, caracterizado porque la etapa de comprobación del estado del aerogenerador (1) es iterativa hasta obtener como resultado un funcionamiento normal de producción de energía definido en función del punto de operación del aerogenerador (1): en producción, y en ausencia de alarmas.

7.- Método de control, según la reivindicación 5, caracterizado porque la etapa de comprobación es iterativa hasta que las funciones de orientación y/o desenrolle de góndola (4) estén verificadas.

8.- Método de control, según la reivindicación 5, caracterizado porque si las funciones de orientación y/o desenrolle de góndola (4) están activadas, el sistema de control (20) inhibe oscilaciones de la góndola (4) para el cálculo de la función de eficiencia $f(\theta)$.

9.- Método de control, según la reivindicación 1, caracterizado porque el algoritmo de optimización de potencia comprende una etapa de filtrado que atenúa las bajas y altas frecuencias de los componentes del aerogenerador.

10.- Método de control, según la reivindicación 5, caracterizado porque el algoritmo de optimización de potencia basado en la obtención del valor óptimo de una función de eficiencia $f(\theta^*)$ obtenida del modelo de potencia aerodinámica de cada aerogenerador comprende las siguientes etapas:

- comprobación y adecuación mediante un filtrado paso bajo de la

integridad de los parámetros obtenidos del hardware (21) del aerogenerador (1) con respecto a unos rangos predeterminados en función de sus características particulares.

5 - obtención de la función de eficiencia del aerogenerador (1) mediante el cálculo del ratio entre la potencia generada obtenida y la potencia teórica obtenible calculada a partir de las características particulares del aerogenerador (1).

 - filtrado paso alto de la función de eficiencia y demodulación de la señal obtenida

10 - obtención de la señal de gradiente mediante la multiplicación de la señal obtenida del paso anterior por el valor actual de la desviación de la góndola (4) y filtrado de paso bajo de la señal obtenida

 - acumulación del valor de la señal de gradiente en una variable que integra los pasos anteriores hasta obtener un valor estabilizado de la desviación con respecto a un valor predeterminado

15 - obtención de la desviación real de la góndola (4) con respecto a la dirección del viento.

11.- Método de control, según una cualquiera de las reivindicaciones 5 y 9, caracterizado porque el algoritmo de cálculo numérico de optimización de potencia es un algoritmo ESC (Extremum Seeking Control).

12.- Método de control, según una cualquiera de las reivindicaciones 5 y 9, caracterizado porque el algoritmo de optimización de potencia es un algoritmo HOO (Hierarchical Optimistic Optimization) basado en barridos de guiñada.

13.- Método de control, según una cualquiera de las reivindicaciones 5 y 9, caracterizado porque el algoritmo de optimización de potencia es un algoritmo de la Secante Modificada, basado en el método de Brent.

14.- Método de control, según la reivindicación 5, caracterizado porque en la etapa de comparación del valor desviación real obtenido con unos valores de desviación predeterminados en función de las

características particulares del aerogenerador (1), en el caso de que dicho valor no exceda los valores predeterminados, el sistema de control (20) activará el sistema de oscilación de la góndola (4).

1/5

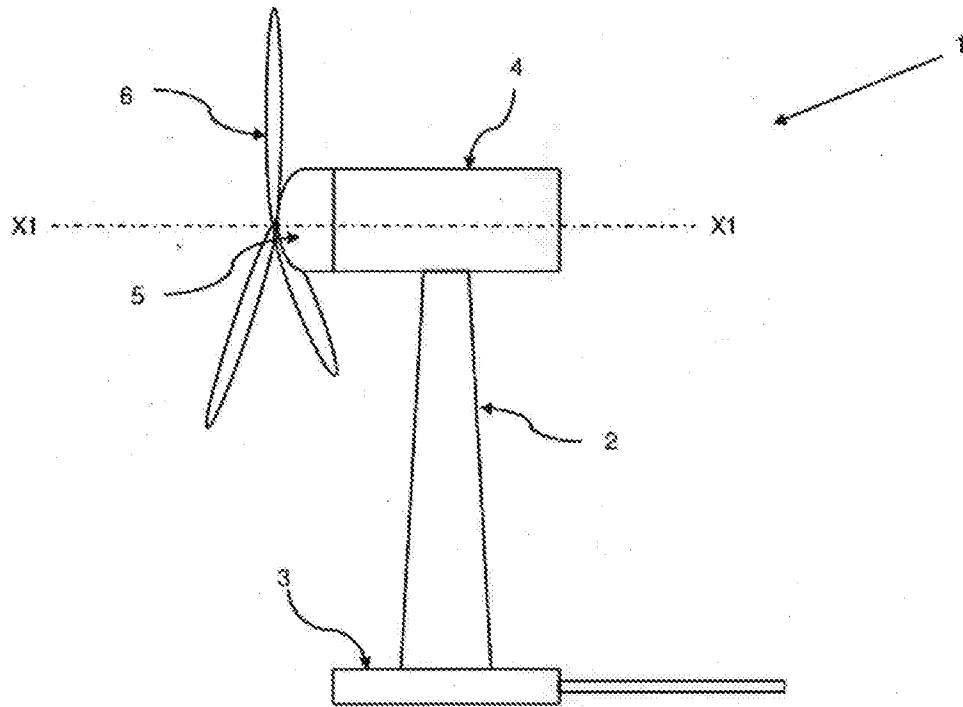


Fig. 1

2/5

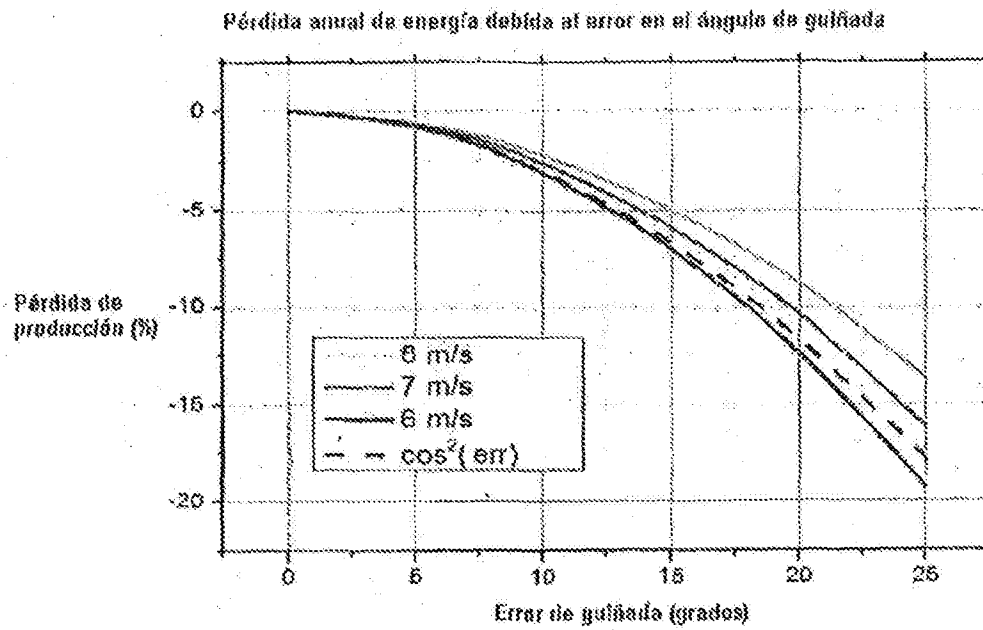


Fig. 2

3/5

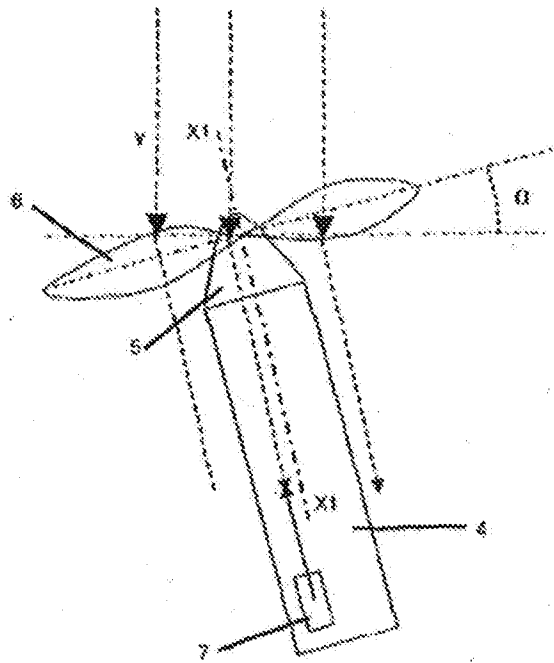


Fig. 3a

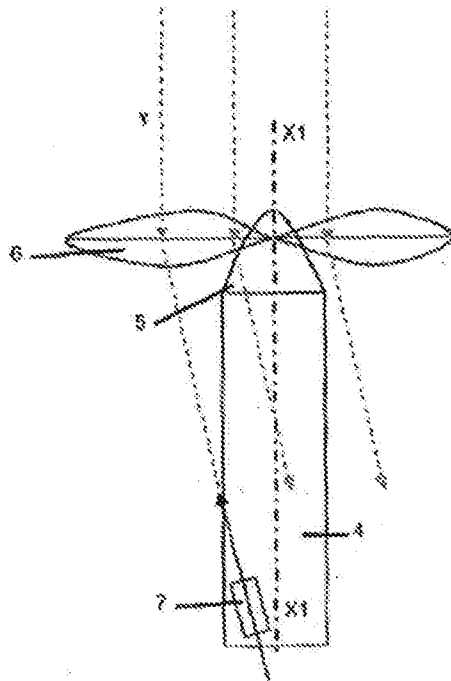


Fig. 3b

4/5

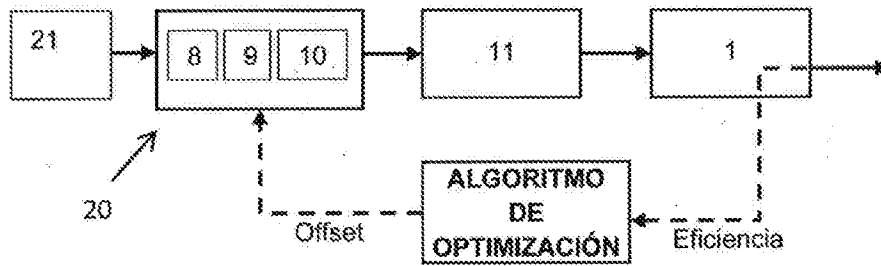


Fig 4A

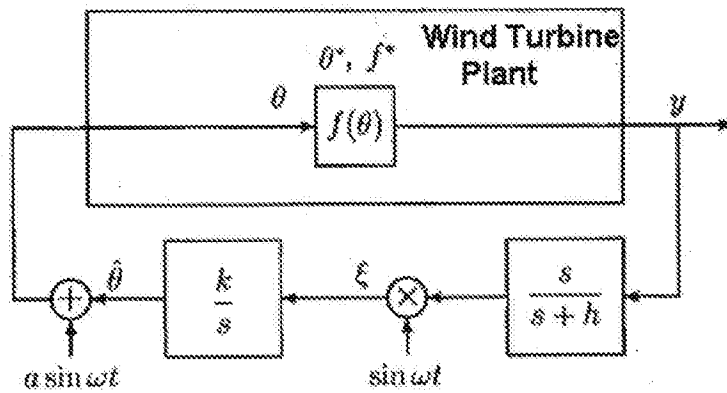


Fig 4B

5/5

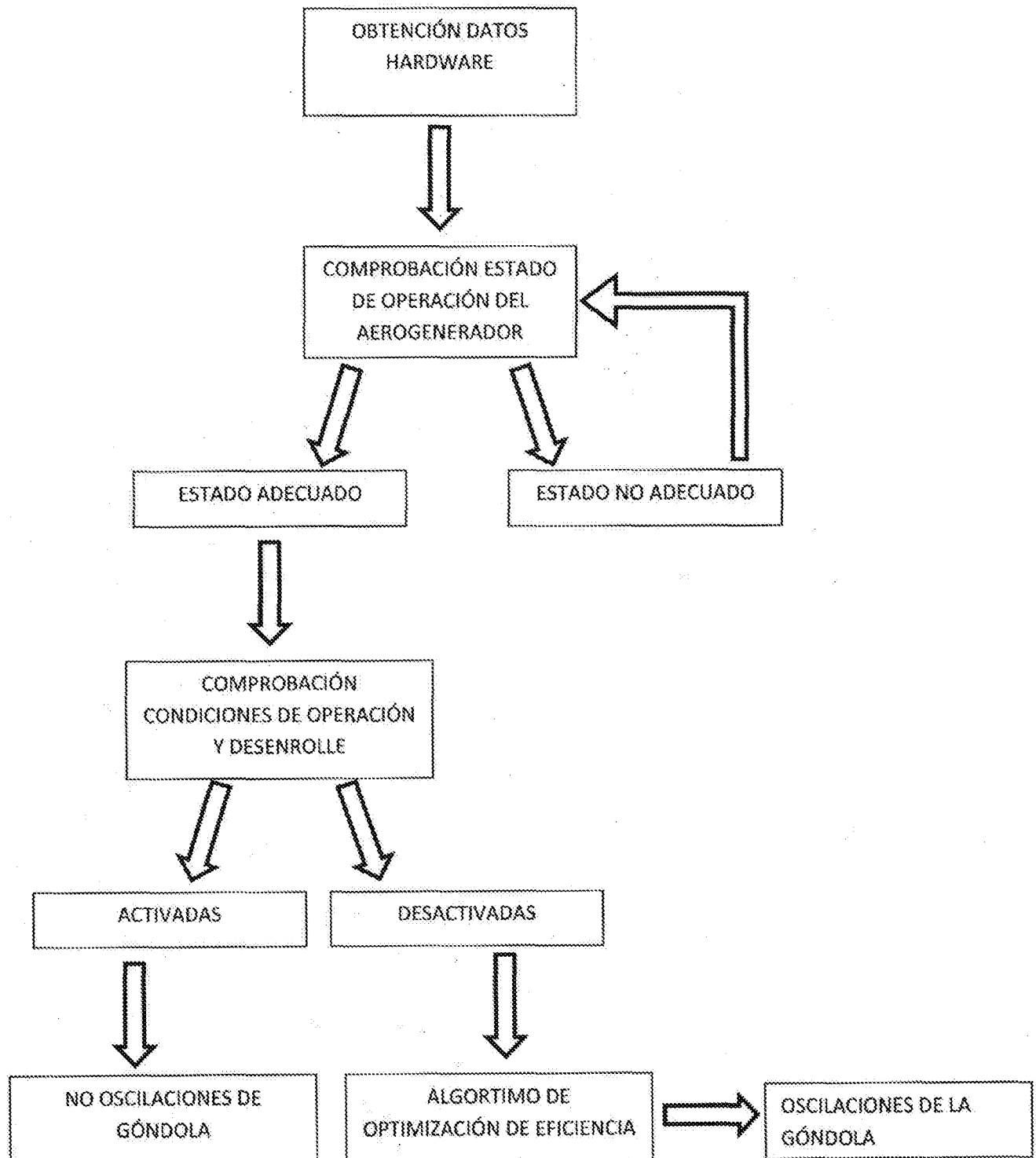


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2016/000073

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F03D7/02 (2006.01)

F03D7/04 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F03D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	MX 2013009285 A (XZERES CORP) 06/02/2014, page 9, lines 2 - 13; page 12, lines 4 - 17; page 13, line 5 - page 14, line 11; page 5, lines 12 - 23; page 16, lines 10 - 12; figures.	1-14
A	US 2015086357 A1 (GREGG PETER ALAN) 26/03/2015, figure 5, paragraphs[0023 - 0037].	1-14
A	WO 2013027127 A2 (CONDOR WIND ENERGY LTD ET AL.) 28/02/2013, claims, figure 12.	1, 5
A	EP 2159416 A2 (GEN ELECTRIC) 03/03/2010, paragraphs[0008 - 0027]; figures.	1,5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.	
"E" earlier document but published on or after the international filing date	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
23/09/2016

Date of mailing of the international search report
(26/09/2016)

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer
P. Sarasola Rubio

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Facsimile No.: 91 349 53 04

Telephone No. 91 3495549

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

Information on patent family members

PCT/ES2016/000073

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
MX2013009285 A	06.02.2014	US2014203562 A1 JP2014508247 A CN103477070 A CA2827036 A1 EP2673501 A2 EP2673501 A4 WO2012109616 A2 WO2012109616 A3	24.07.2014 03.04.2014 25.12.2013 16.08.2012 18.12.2013 13.04.2016 16.08.2012 06.12.2012
----- US2015086357 A1 -----	----- 26.03.2015 -----	----- NONE -----	----- ----- -----
----- WO2013027127 A2 -----	----- 28.02.2013 -----	----- US2014241882 A1 JP2014513768 A CN103857904 A EP2712402 A2 -----	----- 28.08.2014 05.06.2014 11.06.2014 02.04.2014 -----
----- EP2159416 A2 -----	----- 03.03.2010 -----	----- CN101660494 A US2010054941 A1 -----	----- 03.03.2010 04.03.2010 -----

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ES2016/000073

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

F03D7/02 (2006.01)

F03D7/04 (2006.01)

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

F03D

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

EPODOC, INVENES, WPI

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
X	MX 2013009285 A (XZERES CORP) 06/02/2014, página 9, líneas 2 - 13; página 12, líneas 4 - 17; página 13, línea 5 - página 14, línea 11; página 5, líneas 12 - 23; página 16, líneas 10 - 12; figuras.	1-14
A	US 2015086357 A1 (GREGG PETER ALAN) 26/03/2015, figura 5, párrafos [0023 - 0037].	1-14
A	WO 2013027127 A2 (CONDOR WIND ENERGY LTD ET AL.) 28/02/2013, reivindicaciones, figura 12.	1, 5
A	EP 2159416 A2 (GEN ELECTRIC) 03/03/2010, párrafos[0008- 0027]; figuras.	1,5

☐ En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos

☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T"	documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&"	documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.		
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.		

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
23/09/2016

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
26 de septiembre de 2016 (26/09/2016)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado
P. Sarasola Rubio
Nº de teléfono 91 3495549

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

Solicitud internacional nº

PCT/ES2016/000073

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
MX2013009285 A	06.02.2014	US2014203562 A1 JP2014508247 A CN103477070 A CA2827036 A1 EP2673501 A2 EP2673501 A4 WO2012109616 A2 WO2012109616 A3	24.07.2014 03.04.2014 25.12.2013 16.08.2012 18.12.2013 13.04.2016 16.08.2012 06.12.2012
----- US2015086357 A1 -----	----- 26.03.2015 -----	----- NINGUNO -----	----- ----- -----
----- WO2013027127 A2 -----	----- 28.02.2013 -----	----- US2014241882 A1 JP2014513768 A CN103857904 A EP2712402 A2 -----	----- 28.08.2014 05.06.2014 11.06.2014 02.04.2014 -----
----- EP2159416 A2 -----	----- 03.03.2010 -----	----- CN101660494 A US2010054941 A1 -----	----- 03.03.2010 04.03.2010 -----