

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 563 092**

21 Número de solicitud: 201431304

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

10.09.2014

43 Fecha de publicación de la solicitud:

10.03.2016

71 Solicitantes:

**ACCIONA WINDPOWER, S.A. (100.0%)
Avd. Ciudad de la Innovación, 5
31621 Sarriguren (Navarra) ES**

72 Inventor/es:

**ARLABÁN GABEIRAS, Teresa;
OTAMENDI CLARAMUNT, Diego;
GARCÍA SAYÉS, José Miguel;
RUIZ ALDAMA, Alfonso;
GARCÍA BARACE, Alberto;
LUQUÍN HERMOSO DE MENDOZA, Óscar;
GONZÁLEZ MURUA, Alejandro y
NÚÑEZ POLO, Miguel**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **Método de control de un aerogenerador**

57 Resumen:

Método de control de un aerogenerador.
La presente invención se refiere a un método de control de un aerogenerador que permite detectar situaciones en las que la máquina no esté trabajando en su punto de máximo rendimiento, donde además, una vez detectadas estas situaciones, el método de control de la presente invención permite llevar a cabo una corrección automática de los parámetros de control y retornar al aerogenerador a su punto de funcionamiento óptimo.

ES 2 563 092 A1

MÉTODO DE CONTROL DE UN AEROGENERADOR

DESCRIPCION

5 **OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a un método de control de un aerogenerador que permite detectar situaciones en las que la máquina no esté trabajando en su punto de máximo rendimiento.

10

Además, una vez detectadas estas situaciones, el método de control de la presente invención permite llevar a cabo una corrección automática de los parámetros de control y retornar al aerogenerador a su punto de funcionamiento óptimo.

15 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Hoy en día es habitual el empleo de energías renovables para la generación eléctrica, siendo entre ellas la energía eólica una de las más eficientes. La energía eólica permite generar electricidad a partir del viento mediante aerogeneradores. Dichos
20 aerogeneradores constan básicamente de una torre, una góndola que alberga el generador eléctrico, un rotor formado a su vez por al menos dos palas, y un tren de potencia que transmite potencia del rotor hacia el generador eléctrico. El tren de potencia puede comprender una multiplicadora con un eje de baja velocidad conectado al rotor y un eje de alta velocidad conectado al generador eléctrico.

25

En aerogeneradores multimégawatio, existe una tendencia hacia rotores mayores, que proporcionan energía a un coste menor. En dichas configuraciones existe una importancia creciente del sistema de control. Dicho sistema permite maximizar la producción de energía a la par que limita las cargas mecánicas producidas por el
30 viento. Para ello, el sistema de control actúa sobre el ángulo de paso de pala (frecuentemente denominado ángulo de pitch) y sobre el par demandado al generador.

Por una parte, el ángulo de pitch se controla mediante actuadores dispuestos en la raíz de cada pala, que hacen girar la pala en torno a su eje longitudinal. Dicha
35 actuación consigue variar el comportamiento aerodinámico de la pala, mientras que

por otra parte, el sistema de control modula el par demandado al generador desde el convertidor.

5 La capacidad de producción de un aerogenerador ante distintas condiciones de viento comienza su producción energética por encima de cierta velocidad de viento habitualmente conocida como V_{cut-in} , de modo que con vientos superiores el aerogenerador comienza a girar produciendo energía, y con vientos inferiores el aerogenerador permanece en pausa con un ángulo de pitch de seguridad de 90° , lo que provoca que la velocidad de giro del rotor sea sustancialmente nula. Además hay
10 una velocidad del viento para la que el aerogenerador alcanza la potencia nominal V_{rated} .

La gráfica de la demanda de par eléctrico T en función de la velocidad del generador eléctrico ω , muestra un tramo de velocidad variable en el que un sistema de control del estado de la técnica determina la demanda de par eléctrico T en función de la
15 velocidad de giro del generador ω , con el objetivo de mantener el ratio de velocidad de punta de pala (*Tip Speed Ratio* o λ) constante en un óptimo que maximiza la captura de potencia aerodinámica del viento.

20 $\lambda = (\omega \times R) / v$, donde
 ω : velocidad de giro del rotor
 R: radio del rotor
 v: velocidad de viento incidente

25 Para llevar a cabo el control anterior de mantener el ratio de velocidad de punta de pala constante en un valor óptimo que maximice la captura de potencia aerodinámica del viento, existen antecedentes que plantean un control en lazo cerrado de λ actuando sobre el par del generador.

30 Es el caso de la solicitud internacional WO2008119994A2, que describe un controlador que modifica la velocidad de rotación del rotor por medio de la actuación sobre el par eléctrico dependiendo de la velocidad local medida del viento para mantener el ratio de velocidad de punta de pala dentro de unos límites predeterminados. Si se observa por ejemplo que la máxima eficiencia energética se da para un $\lambda = 3.5$, se programa el
35 controlador para mantener el ratio de velocidad de punta de pala entre 3.5 y 4.5 (valor

preestablecido u óptimo). Un anemómetro mide la velocidad del viento instantánea en la frecuencia de 2 a 4 Hz y se envía al controlador, que calcula el λ instantáneo respecto al valor preestablecido u óptimo.

5 Sin embargo, no es óptimo emplear directamente una medida de λ , pues requiere una medida de la velocidad del viento de un anemómetro colocado en la góndola, que es una señal muy ruidosa y sensible a efectos ambientales como cortadura de viento (windshear), inclinación de flujo (upflow), etc. Además, la ubicación habitual del anemómetro en la parte trasera de la góndola hace que su medida este perturbada por
10 el rotor.

Para evitar dicho inconveniente, lo habitual es realizar un control de la velocidad de giro del aerogenerador por medio de la actuación sobre el par eléctrico para que el aerogenerador opere en la zona de velocidad variable según la relación T/ω
15 establecida.

Debido a diversos efectos relacionados con el aerogenerador o las condiciones ambientales del entorno que lo rodea, la máquina puede pasar a trabajar en condiciones no óptimas, ya sea desde el punto de vista de producción de energía o
20 desde la integridad estructural de la máquina, de manera que la potencia generada por el aerogenerador para una velocidad de viento determinada sea menor que la que se tendría en condiciones ideales con esa misma velocidad de viento.

Entre los efectos relacionados con el aerogenerador, se encuentran:

- 25 - desalineación con respecto a la dirección del viento. Esto se puede deber a errores de montaje del sensor de dirección (veleta), distorsión del flujo de viento en la veleta originado por el rotor, etc...
- suciedad, hielo o degradación de las palas. Reduce la eficiencia del aerogenerador.
 - degradación de componentes. Disminuye el rendimiento de componentes afectando
30 a la eficiencia total de la máquina.

Entre los efectos relacionados con el entorno de la máquina que afectan a su funcionamiento, se encuentran:

- 35 - variaciones de densidad.
- flujo inclinado.

- perfil de cortadura.

En el estado de la técnica, los parámetros de control del sistema de control de los aerogeneradores se calculan de forma teórica o con la ayuda de herramientas de simulación. Además, los métodos de detección de condiciones anómalas están basados en la comparación de la potencia generada con un determinado viento y la potencia teórica que se debería generar con ese viento. Estos métodos tienen el inconveniente de que, para que las comparaciones sean válidas, solo se pueden considerar datos correspondientes a velocidades de viento comprendidas en intervalos de viento relativamente pequeños (0,5 m/s – 1 m/s).

Tanto en el caso de la solicitud internacional WO2008119994A2 como en el de la patente con número de publicación CA1245283A1, que describe un sistema de conversión de energía eólica que describe un sistema de un control en lazo cerrado en base a una señal de error que es una medida de la diferencia entre un valor deseado o de referencia del ratio de velocidad de punta de pala (λ_{opt}) y el λ asociado a cuando el aerogenerador recibe una ráfaga de viento, cuando se modifica la velocidad de giro en base a la comparación de valores instantáneos del ratio de velocidad de punta de pala con el ratio de velocidad de punta de pala óptimo, dichos controles asumen que las diferencias instantáneas en λ se deben a que la velocidad de viento ha variado, por ejemplo debido a una ráfaga de viento, con lo que hay que modificar la velocidad de giro para estar en esa zona óptima. Sin embargo, como se ha explicado, existen condiciones del entorno o del propio aerogenerador que hacen que éste opere fuera de su punto de máximo rendimiento, que no se corrigen con una modificación de la velocidad de giro el rotor.

La presente invención tiene por objeto un método de control para detectar situaciones en las que la máquina no esté trabajando en su punto de funcionamiento óptimo superando los inconvenientes del estado de la técnica anteriormente citados.

Además, una vez detectadas estas situaciones, el método de control de la presente invención permite llevar a cabo una corrección automática de los parámetros de control y retornar al aerogenerador a su punto de funcionamiento óptimo.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un método de control de un aerogenerador comprendiendo el aerogenerador:

- un sistema de control,
- 5 - un rotor con al menos una pala,
- una góndola, y

donde el sistema de control está configurado para regular la velocidad de giro del rotor (ω) dentro de una zona de velocidad variable comprendida entre un valor mínimo (ω_{\min}) y un valor máximo (ω_{\max}) de velocidad de giro de rotor (ω) de manera que un
 10 ratio de velocidad de punta de pala, λ , se mantenga sustancialmente igual a un valor objetivo (λ_{opt}) del ratio de velocidad de punta de pala, y

donde el método comprende:

- una etapa de cálculo del valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de
 15 velocidad de punta de pala, λ , en la zona de velocidad variable, a partir de una señal de la velocidad de giro del rotor ω y una señal de la velocidad del viento, v ,
- una etapa de comparación del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable con el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, y
- 20 - una etapa de modificación de al menos un parámetro del sistema de control en función del resultado de la etapa de comparación entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala.

25 El valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, λ , en la zona de velocidad variable de λ se puede calcular a partir de valores instantáneos del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, λ , calculados a partir de la señal de la velocidad de giro del rotor ω y la señal de la
 30 velocidad del viento, v , o bien a partir de valores medios, por ejemplo minutales o diezminutales, de velocidad de giro del rotor ω y de la velocidad del viento, v .

De esta manera, y mediante la etapa de comparación del valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad
 35 variable con el valor objetivo (λ_{opt}), se determina si el aerogenerador está o no

trabajando en su punto de máximo rendimiento, no estando asociada esta etapa a que instantáneamente haya una ráfaga de viento, como en el estado de la técnica, sino a que el aerogenerador no está trabajando en su punto de funcionamiento óptimo de manera sostenida, para posteriormente modificar al menos un parámetro del sistema de control en función del resultado de la etapa de comparación.

Opcionalmente, la etapa de comparación del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable con el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala comprende una subetapa de cálculo de una diferencia entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, y donde la etapa de modificación de al menos un parámetro del sistema de control se lleva a cabo si el valor de la diferencia calculada entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala está por encima de un primer valor umbral, ya que debido a la incertidumbre de la medida es recomendable tener una banda muerta de dispersión del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable en la que no se modifique ningún parámetro de control.

Opcionalmente el método de control de la presente invención comprende una etapa de filtrado de los valores del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, λ , previa a la etapa de cálculo del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable.

Por tanto, en las etapas anteriormente descritas, el método de control detecta que existe al menos un parámetro de control inadecuado para las condiciones ambientales o de máquina existentes.

Opcionalmente, la etapa de modificación de al menos un parámetro del sistema de control comprende además una subetapa de identificación de al menos un parámetro de control a modificar, donde se identifica el parámetro inadecuado.

35

Esta subetapa de identificación de al menos un parámetro de control a modificar comprende a su vez una subetapa de comparación de al menos un parámetro operacional del aerogenerador relacionado con al menos un parámetro de control, con el mismo parámetro operacional de al menos un aerogenerador adyacente.

5

El valor del parámetro de control no es el adecuado porque tiene un valor diferente del que proporcionaría la mayor generación de energía eléctrica o menores cargas. Es por ello que se compara al menos un parámetro operacional relacionado con el parámetro de control de un aerogenerador con el parámetro operacional equivalente de un aerogenerador adyacente.

10

Con mayor probabilidad, los parámetros de control susceptibles de ser mejorados son:

- la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable, y
- la relación entre el ángulo de pitch y la potencia eléctrica generada,
- el offset de orientación de la góndola,

15

por dejar de ser adecuados y que por tanto sea necesario modificar como consecuencia de variaciones en la densidad, la suciedad o degradación de las palas, etc.

20

Como alternativa a la subetapa de identificación, se puede establecer que se modifica un parámetro predeterminado de control, que puede ser entre otros la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable o incluso una modificación secuenciada predeterminada de parámetros de control: por ejemplo, la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable primero y después la relación entre el ángulo de pitch y la potencia eléctrica generada.

25

Opcionalmente, si el sistema de control determina que el aerogenerador no está trabajando en su punto de funcionamiento óptimo, es decir, no está capturando la mayor energía posible para las condiciones ambientales y de aerogenerador existentes debido a que un parámetro de control no tiene su valor adecuado, el método de control comprende opcionalmente una etapa de identificación automática del valor correcto del parámetro de control a modificar.

30

35

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

5 La Figura 1 muestra un diagrama de flujo del método de control de un aerogenerador de la presente invención.

10 La Figura 2 muestra un gráfico de la curva de par demandado al generador eléctrico del aerogenerador en función de la velocidad de giro del generador, donde se define el intervalo de velocidad variable del aerogenerador de la presente invención.

La figura 3 muestra diferentes curvas C_p/λ para distintos valores del ángulo de pitch.

15 La Figura 4 muestra una gráfica de la evolución temporal del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable en un aerogenerador que incorpora el método de control de la invención.

La Figura 5 muestra una curva de potencia de un aerogenerador.

20 La Figura 6 muestra la relación entre el ángulo de paso de pala y la potencia eléctrica generada antes de aplicar el método de control de un aerogenerador de la presente invención.

25 La Figura 7 muestra la relación entre el ángulo de paso de pala y la potencia eléctrica generada antes de aplicar, en línea a trazos, y después de aplicar, en línea continua, el método de control de un aerogenerador de la presente invención.

La Figura 8 muestra un diagrama de flujo de la etapa de modificación de al menos un parámetro del sistema de control.

30 La Figura 9 muestra un diagrama de bloques de un regulador empleado para el cálculo del nuevo valor de la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable.

La Figura 10 muestra un diagrama de bloques de un regulador empleado para la regulación de la orientación de góndola.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

5

La Figura 1 muestra el diagrama de flujo del método de control de la presente invención. La invención se refiere a un método de control de un aerogenerador comprendiendo el aerogenerador:

- un sistema de control,
- 10 - un rotor con al menos una pala,
- una góndola, y

donde el sistema de control está configurado para regular la velocidad de giro del rotor (ω) dentro de una zona de velocidad variable comprendida entre un valor mínimo (ω_{\min}) y un valor máximo (ω_{\max}) de velocidad de giro de rotor (ω), que en este ejemplo de realización preferente mostrado en la Figura 2, se corresponden con los valores de 1,2 ω_{\min} y 0,8 ω_{nom} respectivamente, de manera que un ratio de velocidad de punta de pala, λ , se mantenga sustancialmente igual a un valor objetivo (λ_{opt}) del ratio de velocidad de punta de pala, donde el método comprende:

15

- una etapa de cálculo del valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, λ (2) en la zona de velocidad variable, a partir de la señal de la velocidad de giro del rotor, ω , y la señal de la velocidad del viento, v , que en este ejemplo de realización preferente se lleva a cabo según la fórmula $\lambda = (\omega \times R)/v$, siendo R el radio del rotor,

20

- una etapa de comparación (3) del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable con el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, y

25

- una etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de control en función del resultado de la etapa de comparación entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del ratio de velocidad de punta de pala.

30

El valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable se corresponde con el valor del ratio de velocidad de

punta de pala que proporciona mayor generación de energía eléctrica en la zona de velocidad variable.

En la zona de velocidad variable, el sistema de control regula el par demandado al generador (T) en función de la velocidad de giro del generador (ω), de modo que el valor de λ este lo más próximo posible al valor de λ_{opt} .

La figura 2 muestra la relación entre T/ ω en toda la zona de trabajo del aerogenerador, en ella se identifican los siguientes tramos:

- un primer tramo vertical de la curva en el que la velocidad de giro del generador se mantienen sustancialmente constante e igual a ω_{min}
- un segundo tramo en el que la velocidad de giro del aerogenerador varía entre los valores ω_{min} y ω_{nom}
- un tercer tramo vertical en el que la velocidad de giro del generador se mantienen sustancialmente constante e igual a ω_{nom}

En una posible realización, la relación entre T y ω en la zona de velocidad variable se rige por la expresión:

$$T = K_{opt} \cdot \omega^2$$

donde,

$$K_{opt} = \frac{\rho \cdot \pi \cdot R^5 \cdot Cp_{max}}{2 \cdot \lambda_{opt}^3 \cdot G^3}$$

siendo:

ρ : densidad del aire

R: radio del rotor

Cp_{max} : coeficiente de potencia máximo

G: relación entre velocidades de giro de generador y rotor

25

Como puede verse en la Figura 3, donde se muestran diferentes curvas del coeficiente de potencia (C_p) del aerogenerador cuando éste está perfectamente orientado con respecto a la dirección de viento, C_p depende del ratio de velocidad de punta de pala (λ) y del ángulo de paso de pala. El coeficiente de potencia (C_p) y por tanto la generación de energía eléctrica, alcanzan su valor máximo para un valor determinado del ángulo de paso de pala y un valor determinado del ratio de velocidad de punta de pala (λ) que en el caso de $C_{p\ max}$ será λ_{opt} . Por tanto, en la zona de velocidad variable, la

30

máquina varía la velocidad de giro del rotor para tratar de trabajar con valores de λ cercanos al valor objetivo (λ_{opt}).

5 Para llevar a cabo el método descrito, el sistema de control guarda registro del valor medio del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, λ , en la zona de velocidad variable en los periodos en que el aerogenerador no está funcionando en dicha zona. Una vez que el aerogenerador vuelva a operar en la zona de velocidad variable se rescata el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala registrado para llevar a cabo la etapa de cálculo del valor medio (2), a partir de la señal de la velocidad de giro del rotor, ω y la señal de la velocidad del viento, v . El sistema de control impone un tiempo mínimo de medición en la zona de velocidad variable antes de calcular un primer valor de λ_{med} que se emplee en la comparación con λ_{opt} .

15 La etapa de comparación (3) del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable con el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala comprende una subetapa de cálculo (5) de una diferencia entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, y donde la etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de control se lleva a cabo si el valor de la diferencia calculada entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala está por encima de un primer valor umbral (primer valor umbral respecto valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala). De esta forma, tras detectar una situación en la que la máquina no está trabajando en su punto de máximo rendimiento, el método de control lleva a cabo una modificación de al menos un parámetro de control que permite retornar al aerogenerador a su punto de funcionamiento óptimo.

En la figura 4 se aprecia la evolución temporal del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable (línea continua), el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala (línea punteada) y el primer valor umbral empleado para iniciar la

etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de control. Se puede ver como en el instante A, el valor de la diferencia calculada entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala está por encima de un primer valor umbral. Es en dicho instante cuando se inicia una subetapa de identificación (7) de al menos un parámetro de control a modificar y una etapa de identificación automática (10) del valor correcto de dicho parámetro que se describirán más adelante. Una vez identificados el parámetro de control a modificar y su valor correcto, en el instante B tiene lugar la modificación (4) del parámetro de control a su valor adecuado. Como consecuencia de ello, se observa cómo a partir del instante B el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable se aproxima de nuevo al valor objetivo (λ_{opt}) del ratio de velocidad de punta de pala.

El método de control de la presente invención comprende además una etapa de filtrado (6) de los valores del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, λ , previa a la etapa de cálculo del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala (2) en la zona de velocidad variable.

Preferentemente, la etapa de cálculo del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, λ , (2) en la zona de velocidad variable, se realiza con valores del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala correspondientes a velocidades de giro del rotor (ω) mayores que 1,1 veces la velocidad de giro mínima (ω_{min}) de la zona de velocidad variable del rotor y menores que 0,9 veces la velocidad de giro máxima (ω_{max}) de la zona de velocidad variable del rotor, acotando el rango de datos empleados en la etapa de cálculo del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala (2) en la zona de velocidad variable.

Preferentemente, el parámetro de control a modificar en la etapa de modificación es al menos uno de los siguientes:

- una relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable,
- un offset de orientación de góndola, o

- una relación entre el ángulo de pitch (β) y la potencia eléctrica generada (P).

Una desviación del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable con respecto al valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en dicha zona de operación puede deberse entre otros factores a una modificación de las condiciones ambientales, i.e. la densidad del aire o a una variación en las características aerodinámicas de la pala y por tanto del C_p y de la potencia eléctrica producida para unas determinadas condiciones ambientales (temperatura, densidad y presión). Dicha variación de las características aerodinámicas de la pala puede ser a su vez consecuencia de la deposición de partículas sobre la superficie de la pala, tanto suciedad como hielo o deberse al desgaste por fricción de la superficie. En esas circunstancias, el método de control descrito establece que se requiere una modificación de al menos el parámetro de control que da la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable, pasando de un valor inicial (K_{opt1}) de la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) que resultaba inadecuado a un nuevo valor (K_{opt2}) que hace que el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable (línea continua) vuelva a aproximarse al valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en dicha zona de operación tras la actualización del parámetro de control al nuevo valor seleccionado.

En una realización, se descarta que la diferencia del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable con respecto al valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en dicha zona de operación se deba a un error en la orientación de la góndola del aerogenerador (por haberse calibrado la veleta por ejemplo en la puesta en marcha del aerogenerador) y se asume que la diferencia es debida a una variación del C_p o de las condiciones ambientales. Según dicha realización, se preestablece que el parámetro de control a modificar es al menos la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable.

35

La Figura 5 muestra la curva de potencia del aerogenerador, en ella se distinguen dos zonas diferenciadas:

- la zona de potencia parcial correspondientes a velocidades de viento en que la potencia generada está por debajo de la potencia nominal, y
- 5 - la zona de potencia nominal, correspondiente a velocidades de viento en las que la potencia generada por el aerogenerador es sustancialmente igual a la potencia nominal.

En aerogeneradores del estado de la técnica, en la zona de potencia parcial, se
10 calcula el ángulo de paso de pala o ángulo de pitch óptimo, que es el que proporciona mayor generación de energía, para cada valor de potencia eléctrica generada, donde el sistema de control mide la potencia eléctrica generada y aplica en cada momento el ángulo de pitch correspondiente. La Figura 6 muestra la relación entre ángulo de pitch y la potencia eléctrica generada. En la zona de potencia nominal, el sistema de control
15 regula el ángulo de pitch para mantener la potencia generada sustancialmente igual a la potencia nominal.

Opcionalmente, cuando el parámetro de control a modificar es la relación (K_{opt}) entre el
20 par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable, la relación entre el ángulo de pitch y la potencia eléctrica generada se modifica proporcionalmente a la modificación de la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable.

25 Una modificación de la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable como consecuencia del método descrito es indicativa de una variación en C_p y por tanto de la potencia eléctrica producida para unas determinadas condiciones ambientales. La variación de la potencia eléctrica producida para unas determinadas
30 condiciones también afecta a la relación entre el ángulo de pitch y la potencia eléctrica generada, de modo que el ángulo fijado por el sistema de control ya no sería el adecuado a las condiciones ambientales existentes. Es por esto que para tratar de compensar este efecto, la presente invención aplica una modificación a la relación entre el ángulo de pitch y la potencia eléctrica generada proporcional a la obtenida
35 para la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la

velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable, ya que la causa de la desviación es la misma para ambos parámetros. La Figura 7 muestra la relación entre el ángulo de pitch y la potencia eléctrica generada antes y después de la modificación.

5

Alternativamente, si no se puede descartar que la diferencia del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable con respecto al valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en dicha zona de operación se deba a un error en la orientación de la góndola del aerogenerador, la etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de control comprende además una subetapa de identificación (7) de al menos un parámetro de control a modificar, donde se identifica el parámetro inadecuado, tal y como se aprecia en el diagrama de flujo de la Figura 8.

10

15

Esta subetapa de identificación (7) de al menos un parámetro de control a modificar comprende a su vez una subetapa de comparación (8) de al menos un parámetro operacional del aerogenerador relacionado con al menos un parámetro de control, con el mismo parámetro operacional de al menos un aerogenerador adyacente.

20

Preferentemente, el parámetro operacional es uno de los siguientes:

- el valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, donde el parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala puede ser el mismo que el empleado en la etapa de comparación con el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, u otro diferente,
- la orientación de la góndola,
- una señal indicativa de la eficiencia del aerogenerador, que puede ser el coeficiente de potencia (C_p) en la zona de velocidad variable.

25

30

En caso de que el parámetro operacional a comparar entre dos aerogeneradores sea la orientación de la góndola, la subetapa de comparación (8) de al menos un parámetro operacional del aerogenerador relacionado con al menos un parámetro de control, con el mismo parámetro operacional de al menos un aerogenerador adyacente comprende:

- calcular una diferencia entre la orientación de la góndola del aerogenerador y la orientación de la góndola de un aerogenerador adyacente, y
- comparar la diferencia entre la orientación de la góndola del aerogenerador con la orientación de la góndola del aerogenerador adyacente con un segundo valor umbral.

5

En una realización preferente, la subetapa de comparación (8) del al menos un parámetro operacional del aerogenerador con el mismo parámetro operacional de al menos un aerogenerador adyacente comprende los siguientes pasos:

10

- los al menos dos aerogeneradores cuyos parámetros operacionales se van a comparar, envían al sistema de control del parque los valores de los parámetros operacionales,
- el control de parque realiza las comparaciones de los parámetros operacionales e identifica la máquina y el al menos un parámetro de control a modificar,
- el sistema de control de parque envía al sistema de control de las máquinas indicaciones sobre si deben modificar algún parámetro del sistema de control y cual.

15

20

En una realización alternativa, la subetapa de comparación (8) del al menos un parámetro operacional del aerogenerador con el mismo parámetro operacional de al menos un aerogenerador adyacente comprende los siguientes pasos:

25

- el al menos un aerogenerador adyacente envía al sistema de control del parque los valores de los parámetros operacionales
- el sistema de control del parque envía los valores de los parámetros operacionales del al menos un aerogenerador adyacente al aerogenerador cuyo sistema de control está ejecutando la subetapa de identificación (7) de al menos un parámetro de control a modificar
- el sistema de control del aerogenerador cuyo sistema de control está ejecutando la subetapa de identificación (7) de al menos un parámetro de control a modificar realiza las comparaciones de los parámetros operacionales e identifica el parámetro a modificar en primer lugar en la etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de control.

30

Si al llevar a cabo la comparación entre la diferencia entre la orientación de la góndola del aerogenerador con la orientación de la góndola del aerogenerador adyacente y el segundo valor umbral, dicha diferencia está por debajo del segundo valor umbral, en la subetapa de identificación (7) de al menos un parámetro de control a modificar se
 5 identifica que el parámetro a modificar en la etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de control es al menos la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable.

10 Por el contrario, si la diferencia entre la orientación de la góndola del aerogenerador y la orientación de la góndola del aerogenerador adyacente está por encima del segundo valor umbral, la subetapa de comparación (8) de al menos un parámetro operacional del aerogenerador relacionado con al menos un parámetro de control, con el mismo parámetro operacional de al menos un aerogenerador adyacente comprende
 15 además:

- calcular una diferencia entre una señal indicativa de la eficiencia del aerogenerador y una señal indicativa de la eficiencia de un aerogenerador adyacente, o calcular una diferencia entre el valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador y el valor
 20 medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador adyacente,

donde si la diferencia entre la señal indicativa de la eficiencia del aerogenerador con la señal indicativa de la eficiencia de un aerogenerador adyacente está por encima de un tercer valor umbral o la diferencia entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo
 25 del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador con el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador adyacente está por encima de un cuarto valor umbral, en la subetapa de identificación (7) de al menos un parámetro de control a modificar se identifica que el parámetro a modificar en la etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de
 30 control es al menos un offset de orientación de la góndola que tiene el menor valor de la señal indicativa de la eficiencia del aerogenerador o el menor valor del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala.

El parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala empleado en esta etapa puede ser el mismo que el empleado en la etapa de comparación con el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, u otro diferente,

5 Como alternativa, la subetapa de comparación (8) de al menos un parámetro operacional del aerogenerador relacionado con al menos un parámetro de control, con el mismo parámetro operacional de al menos un aerogenerador adyacente comprende:

- calcular una diferencia entre una señal indicativa de la eficiencia del aerogenerador y una señal indicativa de la eficiencia de un aerogenerador adyacente, o calcular una diferencia entre el valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador y el valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador adyacente,

15 donde si la diferencia entre la señal indicativa de la eficiencia del aerogenerador con la señal indicativa de la eficiencia de un aerogenerador adyacente está por debajo de un tercer valor umbral o la diferencia entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador con el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador adyacente está por debajo de un cuarto valor umbral, en la subetapa de identificación (7) de al menos un parámetro de control a modificar se identifica que el parámetro a modificar en primer lugar en la etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de control es la relación (K_{opt}) entre el par demandado al generador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del rotor (ω^2) en la zona de velocidad variable.

25

En este último caso, el método detecta que existe un parámetro de control inadecuado y por comparación con un aerogenerador adyacente, se ve que la situación afecta por igual a los dos aerogeneradores, con lo que se asocia a causas tales como variación en la densidad del aire, suciedad o hielo en las palas, etc... ya que estas causas afectarían de manera similar a aerogeneradores adyacentes. Todas estas causas producen desviaciones de λ con respecto a λ_{opt} que se corrigen modificando la relación (K_{opt}) entre el par demandado al generador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del rotor (ω^2) en la zona de velocidad variable.

30

Si el sistema de control determina que el aerogenerador no está trabajando en su punto de funcionamiento óptimo, es decir, no está capturando la mayor energía posible para las condiciones ambientales y de aerogenerador existentes y se ha identificado el parámetro de control a modificar para corregir esta situación, el método de control
 5 comprende una etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar, que comprende las siguientes subetapas:

- una subetapa de funcionamiento (12) del aerogenerador alternando periodos de duración similar en los que el parámetro de control toma distintos valores y
 10 en la que se procede al registro, para cada uno de los periodos, de datos de velocidad de viento y parámetros operacionales del aerogenerador, y
- una subetapa de selección (13) del valor del parámetro de control a modificar teniendo en cuenta los datos de velocidad de viento y parámetros operacionales del aerogenerador.

15

El nuevo valor seleccionado del parámetro de control a modificar es el que proporciona la mayor eficiencia del aerogenerador o el valor indicativo de cargas en el aerogenerador más adecuado.

20

En la subetapa de funcionamiento (12) se definen unos modos de funcionamiento en los que el parámetro de control toma un valor para cada modo de funcionamiento. Estos modos de funcionamiento se alternan secuencialmente durante periodos de duración similar hasta que se dispone de información suficiente para cada periodo.

25

Para un primer ejemplo de realización, la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar adicionalmente comprende:

- una subetapa de cálculo de una diferencia (14) entre el valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de
 30 velocidad de punta de pala en los periodos en los que el parámetro de control toma cada uno de los distintos valores, y
- donde la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar se repite hasta que al menos una diferencia entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de
 35 punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del

parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en los periodos en los que el parámetro de control toma cada uno de los distintos valores esté por debajo de un quinto valor umbral, y

- donde en cada etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar, al menos parte de los valores que toma el parámetro de control son diferentes a los de la etapa anterior de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar.

En este ejemplo de realización el parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala es el mismo que el empleado en la etapa inicial de comparación con el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, aunque podría ser otro diferente,

Para un segundo ejemplo de realización, en la subetapa de funcionamiento (12) del aerogenerador alternando periodos de duración similar en los que el parámetro de control toma distintos valores, y en la que se procede al registro, para cada uno de los periodos, de datos de velocidad de viento y parámetros operacionales del aerogenerador de la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar, el parámetro de control toma al menos tres valores, y la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar adicionalmente comprende:

- una subetapa de cálculo de un valor indicativo (15) de la eficiencia del aerogenerador o de un valor indicativo de cargas en el aerogenerador en los periodos en los que el parámetro de control toma cada uno de los distintos valores,
- donde la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar se repite hasta que el valor del parámetro de control que proporciona el valor indicativo de la eficiencia del aerogenerador mayor o un valor indicativo de cargas en el aerogenerador preestablecido, es uno de los valores centrales del parámetro de control, es decir, no es uno de los dos valores extremos de los al menos tres valores que toma el parámetro de control, y

donde en cada etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar, al menos parte de los valores que toma el parámetro de control son diferentes a los de la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del

parámetro de control a modificar anterior, siendo el valor del parámetro de control que proporciona el valor indicativo de la eficiencia del aerogenerador mayor o el valor indicativo de cargas en el aerogenerador preestablecido en la repetición de la etapa de identificación automática (10) anterior, uno de los valores centrales de los valores del parámetro de control en la nueva repetición de la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar,

En el segundo ejemplo de realización, en la etapa de identificación automática de un nuevo valor del parámetro de control a modificar, el parámetro de control toma preferentemente tres valores.

Cuando el valor del parámetro de control que proporciona el valor indicativo de la eficiencia del aerogenerador mayor o el valor indicativo de cargas en el aerogenerador preestablecido es uno de los valores centrales del parámetro de control, la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar adicionalmente comprende:

- una subetapa de cálculo del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala (16) en la zona de velocidad variable en los periodos en los que el parámetro de control toma el valor del parámetro de control que proporciona el valor indicativo de la eficiencia del aerogenerador mayor o un valor indicativo de cargas en el aerogenerador preestablecido, y
- una subetapa de asignación (17) al valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable en los periodos en los que el parámetro de control toma el valor del parámetro de control que proporciona el valor indicativo de la eficiencia del aerogenerador mayor o un valor indicativo de cargas en el aerogenerador preestablecido.

En un tercer ejemplo de realización, la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar comprende una subetapa de cálculo analítico (18) del nuevo valor del parámetro de control que se lleva a cabo a partir del valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, λ , en la zona de velocidad variable, o a partir de un valor indicativo de la eficiencia del aerogenerador o de un valor indicativo de cargas en el aerogenerador.

Cuando el parámetro de control a modificar es la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable, el cálculo analítico del nuevo valor de K_{opt} (K_{opt_nuevo}) se realiza a partir del valor anterior de K_{opt} ($K_{opt_anterior}$) según la siguiente expresión:

$$K_{opt_nuevo} = K_{opt_anterior} \cdot \left(\frac{\lambda_{med}}{\lambda_{opt}} \right)^3$$

En un cuarto ejemplo de realización, la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar comprende un lazo de regulación que monitoriza el valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y regula el parámetro de control en función de la diferencia entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala.

15

La Figura 9 muestra un lazo de regulación para el caso en el que el parámetro de control a modificar es la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable.

20

Tras la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar, el método de control comprende adicionalmente una etapa de actualización (11) del parámetro de control al valor seleccionado en la etapa de identificación automática.

25

La Figura 10 muestra un diagrama de bloques de un regulador empleado para la regulación de la orientación de góndola.

La invención se refiere también al sistema de control de un aerogenerador que comprende un método de control de aerogenerador según lo detallado anteriormente y un aerogenerador comprendiendo dicho sistema de control.

30

REIVINDICACIONES

- 1.- Método de control de un aerogenerador comprendiendo el aerogenerador:
- un sistema de control,
 - 5 - un rotor con al menos una pala,
 - una góndola, y
- donde el sistema de control está configurado para regular la velocidad de giro del rotor (ω) dentro de una zona de velocidad variable comprendida entre un valor mínimo (ω_{\min}) y un valor máximo (ω_{\max}) de velocidad de giro de rotor (ω) de manera que un
- 10 ratio de velocidad de punta de pala, λ , se mantenga sustancialmente igual a un valor objetivo (λ_{opt}) del ratio de velocidad de punta de pala, y
- estando el método caracterizado por que comprende:
- una etapa de cálculo del valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de
 - 15 velocidad de punta de pala, λ , (2) en la zona de velocidad variable, a partir de una señal de la velocidad de giro del rotor, ω y una señal de la velocidad del viento, v ,
 - una etapa de comparación (3) del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable con el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, y
 - una etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de control en
 - 20 función del resultado de la etapa de comparación entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala.
- 25 2.- Método de control de un aerogenerador según reivindicación 1 caracterizado por que el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala se corresponde con el valor del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala que proporciona mayor generación de energía eléctrica en la zona de velocidad variable.
- 30
- 3.- Método de control de un aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que la etapa de comparación (3) del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable con el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de
- 35 punta de pala, comprende una subetapa de cálculo (5) de una diferencia entre el valor

medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, y donde la etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de control se lleva a cabo si el valor de la diferencia calculada entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala está por encima de un primer valor umbral.

4.- Método de control de un aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que comprende una etapa de filtrado (6) de los valores del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, λ , previa a la etapa de cálculo del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala (2) en la zona de velocidad variable.

5.- Método de control de un aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que la etapa de cálculo del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, λ , (2) en la zona de velocidad variable, se realiza con valores del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala correspondientes a velocidades de giro del rotor (ω) mayores que 1,1 veces la velocidad de giro mínima (ω_{min}) de la zona de velocidad variable del rotor y menores que 0,9 veces la velocidad de giro máxima (ω_{max}) de la zona de velocidad variable del rotor.

6.- Método de control de un aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala se calcula a partir de una señal de la velocidad de giro del rotor, ω , y una señal de la velocidad del viento, v , según la fórmula $\lambda = (\omega \times R)/v$, siendo R el radio del rotor.

7.- Método de control de un aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el parámetro de control a modificar en la etapa de modificación (4) es al menos uno de los siguientes:

- una relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable,

- un offset de orientación de góndola,
- una relación entre el ángulo de pitch y la potencia eléctrica generada.

8.- Método de control de un aerogenerador según reivindicación 7 caracterizado por que cuando el parámetro de control a modificar es la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable, la relación entre el ángulo de pitch y la potencia eléctrica generada se modifica proporcionalmente a la modificación de la relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable.

9.- Método de control de un aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que la etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de control comprende además una subetapa de identificación (7) de al menos un parámetro de control a modificar.

10.- Método de control de un aerogenerador según reivindicación 9 caracterizado por que la subetapa de identificación (7) de al menos un parámetro de control a modificar comprende a su vez:

- una subetapa de comparación (8) de al menos un parámetro operacional del aerogenerador relacionado con al menos un parámetro de control, con el mismo parámetro operacional de al menos un aerogenerador adyacente.

11.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 10 caracterizado por que el parámetro operacional es uno de los siguientes:

- el valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala,
- la orientación de la góndola,
- una señal indicativa de la eficiencia del aerogenerador.

12.- Método de control de un aerogenerador según reivindicación 11 caracterizado por que la subetapa de comparación (8) de al menos un parámetro operacional del aerogenerador relacionado con al menos un parámetro de control, con el mismo parámetro operacional de al menos un aerogenerador adyacente comprende:

- calcular una diferencia entre la orientación de la góndola del aerogenerador y la orientación de la góndola de un aerogenerador adyacente, y
- comparar la diferencia entre la orientación de la góndola del aerogenerador con la orientación de la góndola del aerogenerador adyacente con un segundo valor umbral.

5

13.- Método de control de un aerogenerador según reivindicación 12 caracterizado por que si la diferencia entre la orientación de la góndola del aerogenerador y la orientación de la góndola del aerogenerador adyacente está por debajo del segundo valor umbral, en la subetapa de identificación (7) de al menos un parámetro de control a modificar se identifica que el parámetro a modificar en la etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de control es al menos una relación (K_{opt}) entre el par demandado al aerogenerador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del aerogenerador (ω^2) en la zona de velocidad variable.

10

15

14.- Método de control de un aerogenerador según reivindicación 12 caracterizado por que si la diferencia entre la orientación de la góndola del aerogenerador y la orientación de la góndola del aerogenerador adyacente está por encima del segundo valor umbral, la subetapa de comparación (8) de al menos un parámetro operacional del aerogenerador relacionado con al menos un parámetro de control, con el mismo parámetro operacional de al menos un aerogenerador adyacente comprende además:

20

- calcular una diferencia entre una señal indicativa de la eficiencia del aerogenerador y una señal indicativa de la eficiencia de un aerogenerador adyacente, o calcular una diferencia entre el valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador y el valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador adyacente,

25

donde si la diferencia entre la señal indicativa de la eficiencia del aerogenerador con la señal indicativa de la eficiencia de un aerogenerador adyacente está por encima de un tercer valor umbral o la diferencia entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador con el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador adyacente está por encima de un cuarto valor umbral, en la subetapa de identificación (7) de al menos un parámetro de control a modificar se identifica que el parámetro a modificar en la etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de

30

35

control es al menos un offset de orientación de la góndola que tiene el menor valor de la señal indicativa de la eficiencia del aerogenerador o el menor valor del valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala.

5 15.-- Método de control de un aerogenerador según reivindicación 11 caracterizado por que la subetapa de comparación (8) de al menos un parámetro operacional del aerogenerador relacionado con al menos un parámetro de control, con el mismo parámetro operacional de al menos un aerogenerador adyacente comprende:

- 10 • calcular una diferencia entre una señal indicativa de la eficiencia del aerogenerador y una señal indicativa de la eficiencia de un aerogenerador adyacente, o calcular una diferencia entre el valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador y el valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador adyacente,

15 donde si la diferencia entre la señal indicativa de la eficiencia del aerogenerador con la señal indicativa de la eficiencia de un aerogenerador adyacente está por debajo de un tercer valor umbral o la diferencia entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador con el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala del aerogenerador adyacente está por debajo de un cuarto valor umbral, en la subetapa de identificación (7) de al menos un parámetro de control a modificar se identifica que el parámetro a modificar en primer lugar en la etapa de modificación (4) de al menos un parámetro del sistema de control es una relación (K_{opt}) entre el par demandado al generador (T) y el cuadrado de la velocidad de giro del rotor (ω^2) en la zona de velocidad variable.

25 16.- Método de control de un aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que adicionalmente comprende una etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar.

30 17.- Método de control de un aerogenerador según reivindicación 16 caracterizado por que la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar que comprende a su vez:

- 35 • una subetapa de funcionamiento (12) del aerogenerador alternando periodos de duración similar en los que el parámetro de control toma distintos valores y

en la que se procede al registro, para cada uno de los periodos, de datos de velocidad de viento y parámetros operacionales del aerogenerador, y

- una subetapa de selección (13) del valor del parámetro de control a modificar teniendo en cuenta los datos de velocidad de viento y parámetros operacionales del aerogenerador registrados con cada uno de los valores del parámetro de control a modificar.

18.-- Método de control de un aerogenerador según reivindicación 17 caracterizado por que la etapa de identificación automática del valor correcto (10) del parámetro de control a modificar adicionalmente comprende:

- una subetapa de cálculo de una diferencia (14) entre el valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en los periodos en los que el parámetro de control toma cada uno de los distintos valores, y
- donde la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar se repite hasta que al menos una diferencia entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en los periodos en los que el parámetro de control toma cada uno de los distintos valores esté por debajo de un quinto valor umbral, y
- donde en cada etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar, al menos parte de los valores que toma el parámetro de control son diferentes a los de la etapa anterior de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar.

19.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 17 caracterizado por que en la subetapa de funcionamiento (12) del aerogenerador alternando periodos de duración similar en los que el parámetro de control toma distintos valores, y en la que se procede al registro, para cada uno de los periodos, de datos de velocidad de viento y parámetros operacionales del aerogenerador, el parámetro de control toma al menos tres valores, y por que la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar adicionalmente comprende:

- una subetapa de cálculo de un valor indicativo (15) de la eficiencia del aerogenerador o de un valor indicativo de cargas en el aerogenerador en los periodos en los que el parámetro de control toma cada uno de los distintos valores,
 - 5 • donde la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar se repite hasta que el valor del parámetro de control que proporciona el valor indicativo de la eficiencia del aerogenerador mayor o un valor indicativo de cargas en el aerogenerador preestablecido, es uno de los valores centrales del parámetro de control, y
- 10 donde en cada etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar, al menos parte de los valores que toma el parámetro de control son diferentes a los de la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar anterior, siendo el valor del parámetro de control que proporciona el valor indicativo de la eficiencia del aerogenerador mayor o el valor
- 15 indicativo de cargas en el aerogenerador preestablecido en la repetición de la etapa de identificación automática (10) anterior, uno de los valores centrales de los valores del parámetro de control en la nueva repetición de la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar.
- 20 20.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 19 caracterizado por que cuando el valor del parámetro de control que proporciona el valor indicativo de la eficiencia del aerogenerador mayor o el valor indicativo de cargas en el aerogenerador preestablecido es uno de los valores centrales del parámetro de control, la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar adicionalmente comprende:
- 25 • una subetapa de cálculo del valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala (16) en la zona de velocidad variable en los periodos en los que el parámetro de control toma el valor del parámetro de control que proporciona el valor indicativo de la eficiencia del aerogenerador mayor o un valor indicativo de cargas en el aerogenerador preestablecido, y
- 30 • una subetapa de asignación (17) al valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable en los periodos en los que el parámetro de control toma el valor del parámetro de control que proporciona el valor indicativo de la eficiencia del
- 35

aerogenerador mayor o un valor indicativo de cargas en el aerogenerador preestablecido.

21.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 16
5 caracterizado por que la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar comprende una subetapa de cálculo analítico (18) del nuevo valor del parámetro de control.

22.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 21
10 caracterizado por que la subetapa de cálculo analítico (18) del nuevo valor del parámetro de control se lleva a cabo a partir del valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala, λ , en la zona de velocidad variable.

23.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 21
15 caracterizado por que la subetapa de cálculo analítico (18) del nuevo valor del parámetro de control se lleva a cabo a partir de un valor indicativo de la eficiencia del aerogenerador o de un valor indicativo de cargas en el aerogenerador.

24.- Método de control de un aerogenerador según la reivindicación 16
20 caracterizado por que la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar comprende un lazo de regulación que monitoriza el valor medio (λ_{med}) de un parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala en la zona de velocidad variable y regula el parámetro de control en función de la diferencia entre el valor medio (λ_{med}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de
25 punta de pala en la zona de velocidad variable y el valor objetivo (λ_{opt}) del parámetro indicativo del ratio de velocidad de punta de pala.

25.- Método de control de un aerogenerador según reivindicación 16 caracterizado
por que comprende adicionalmente una etapa de actualización (11) del parámetro de
30 control al valor seleccionado en la etapa de identificación automática (10) del valor correcto del parámetro de control a modificar.

26.- Sistema de control de un aerogenerador caracterizado por que comprende un
método de control de aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

35

27.- Aerogenerador caracterizado por que comprende un sistema de control según reivindicación 26.

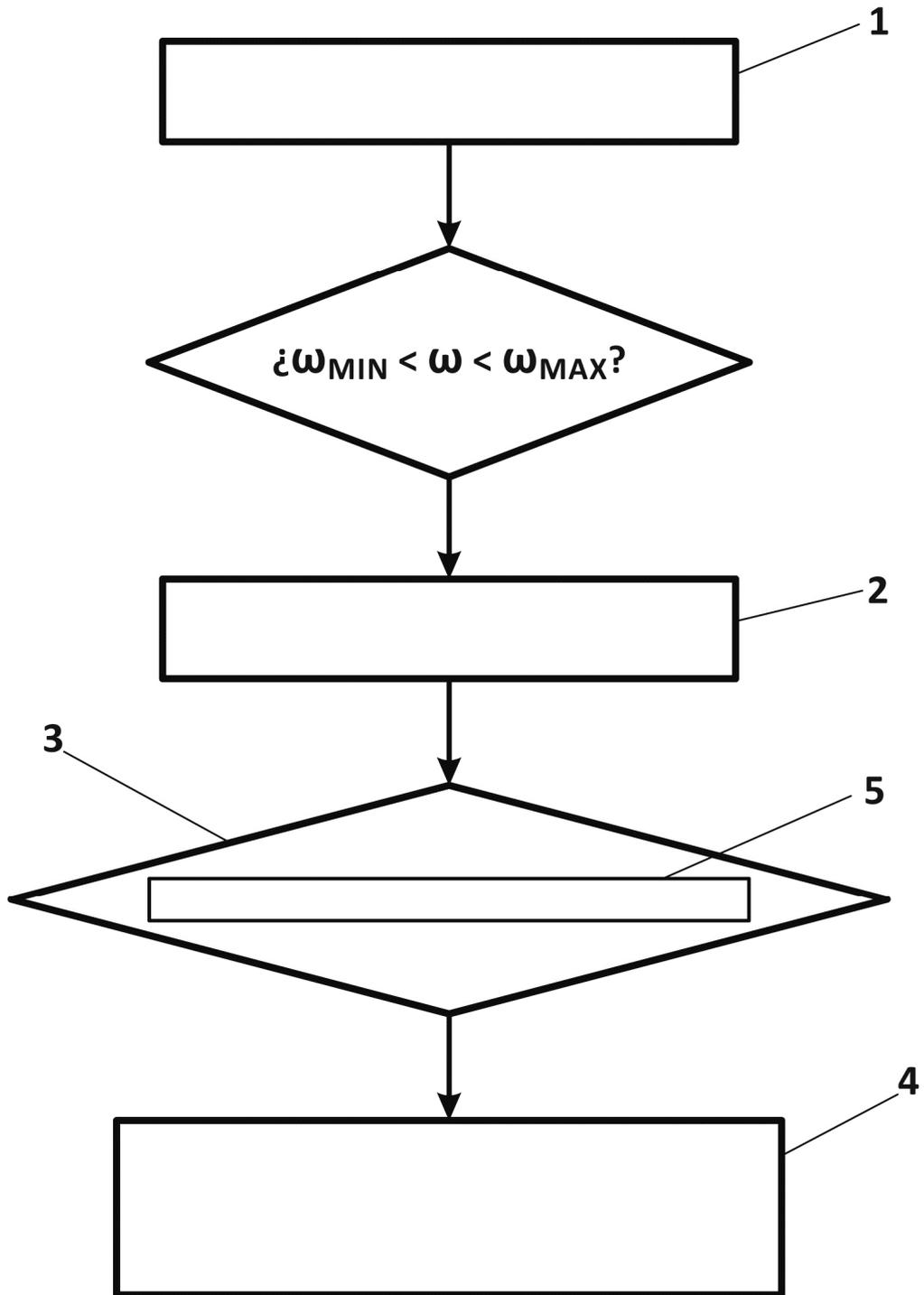


FIG. 1

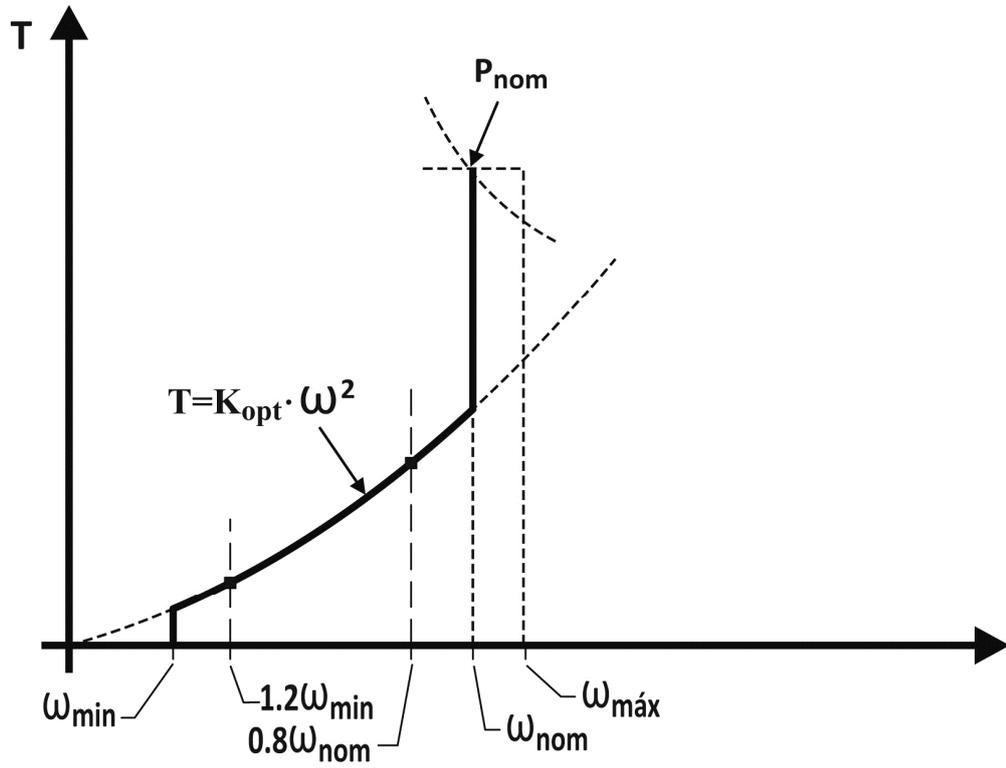


FIG. 2

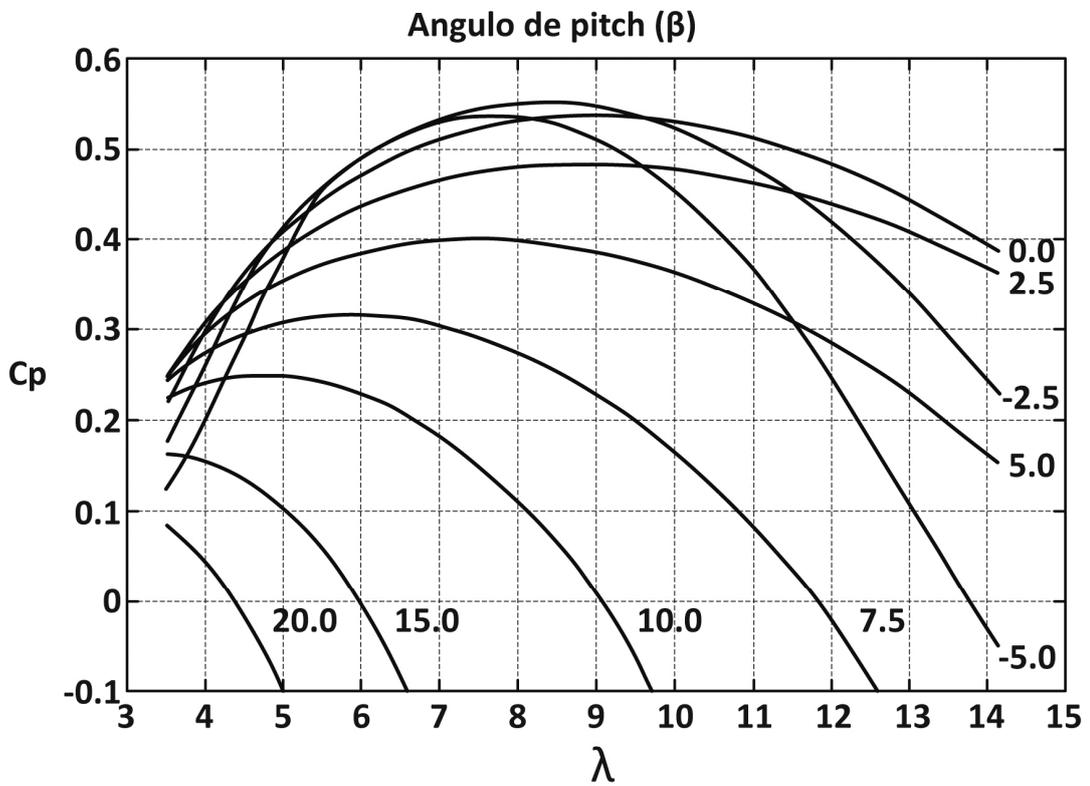


FIG. 3

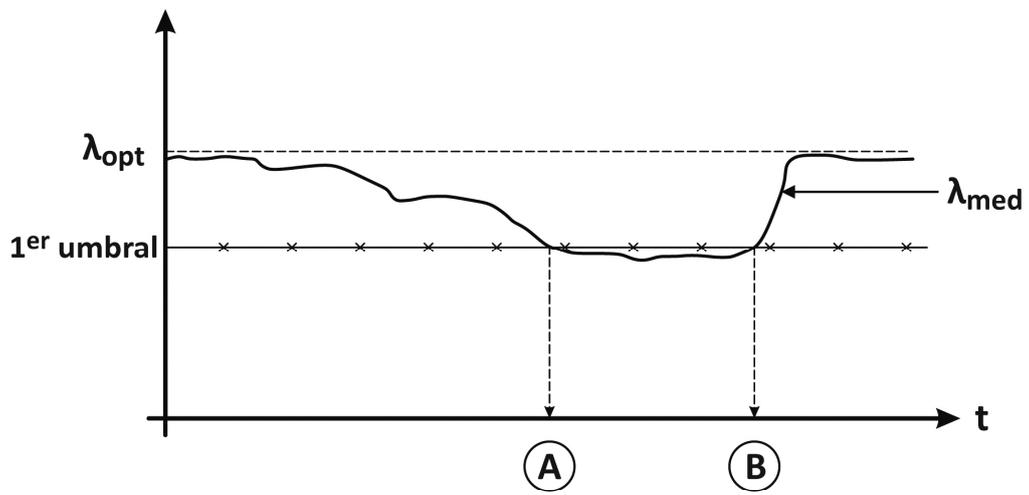


FIG. 4

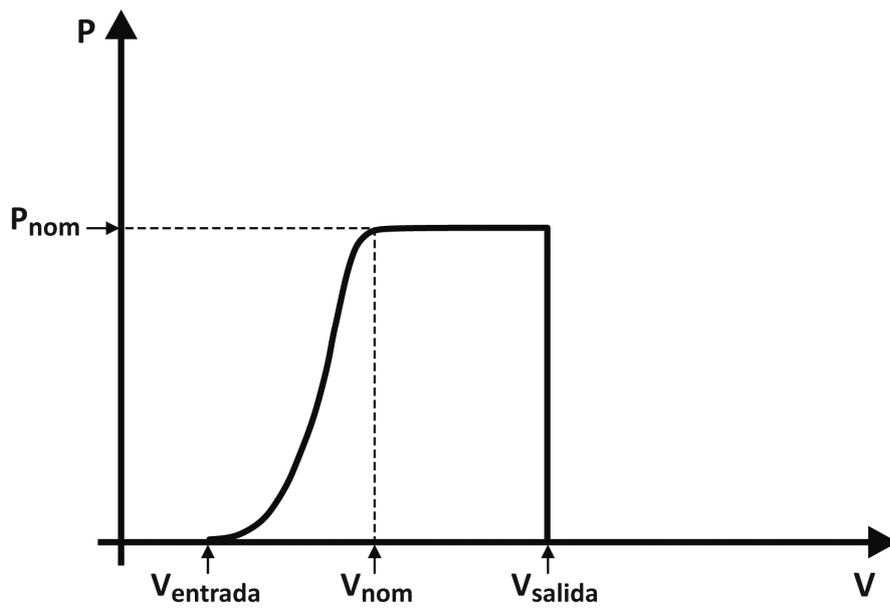


FIG. 5

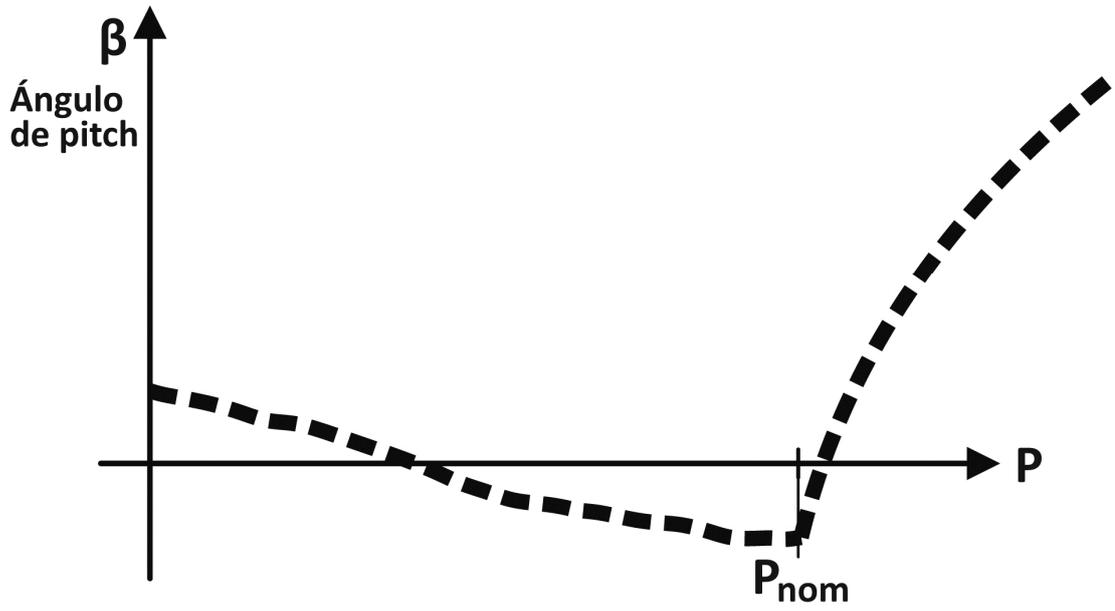


FIG. 6

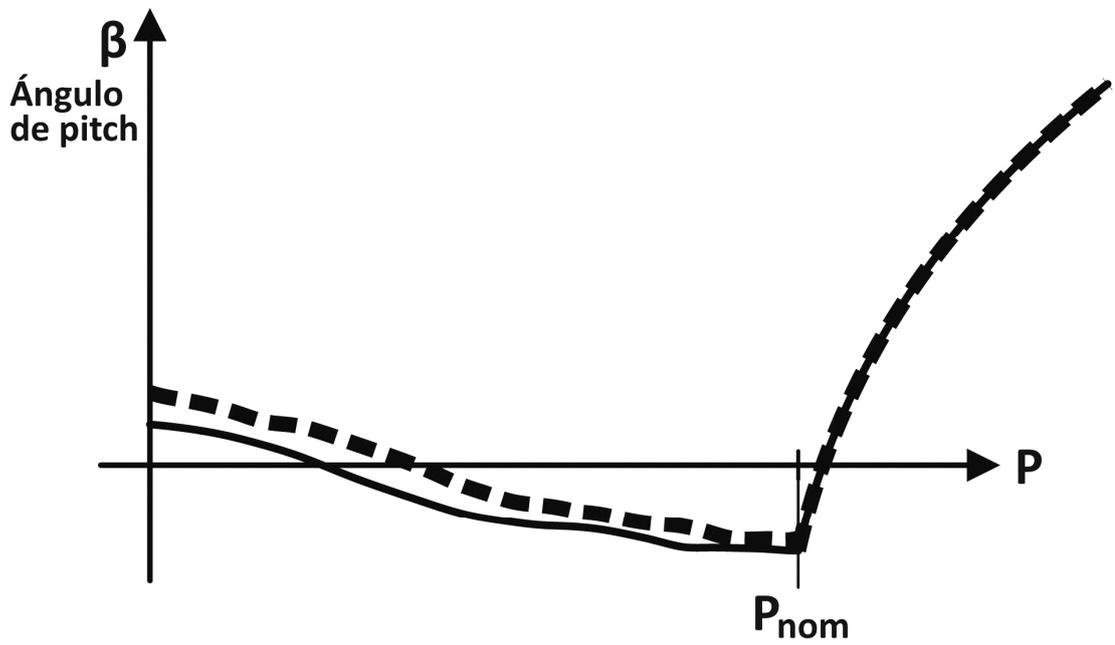


FIG. 7

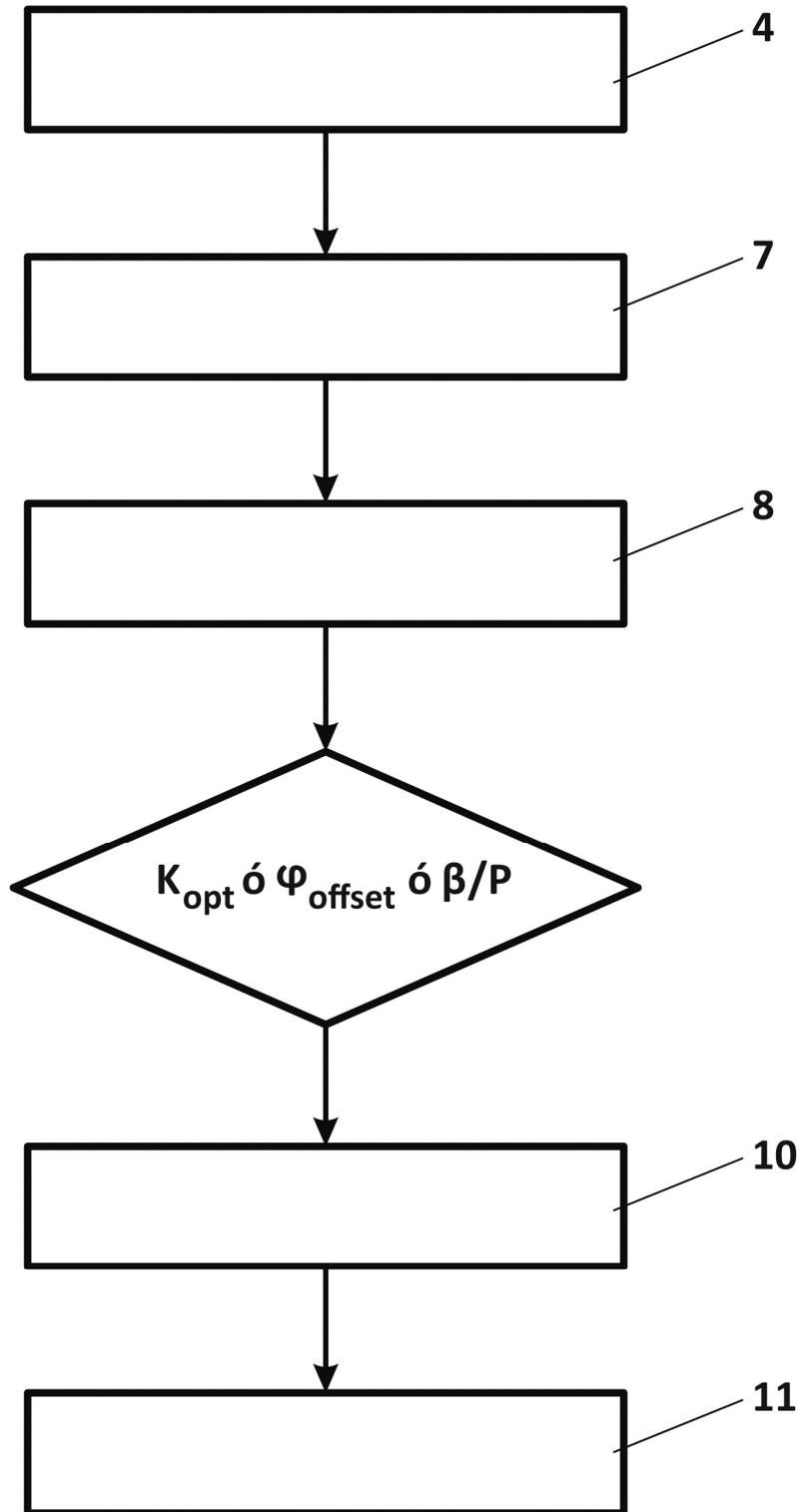


FIG. 8

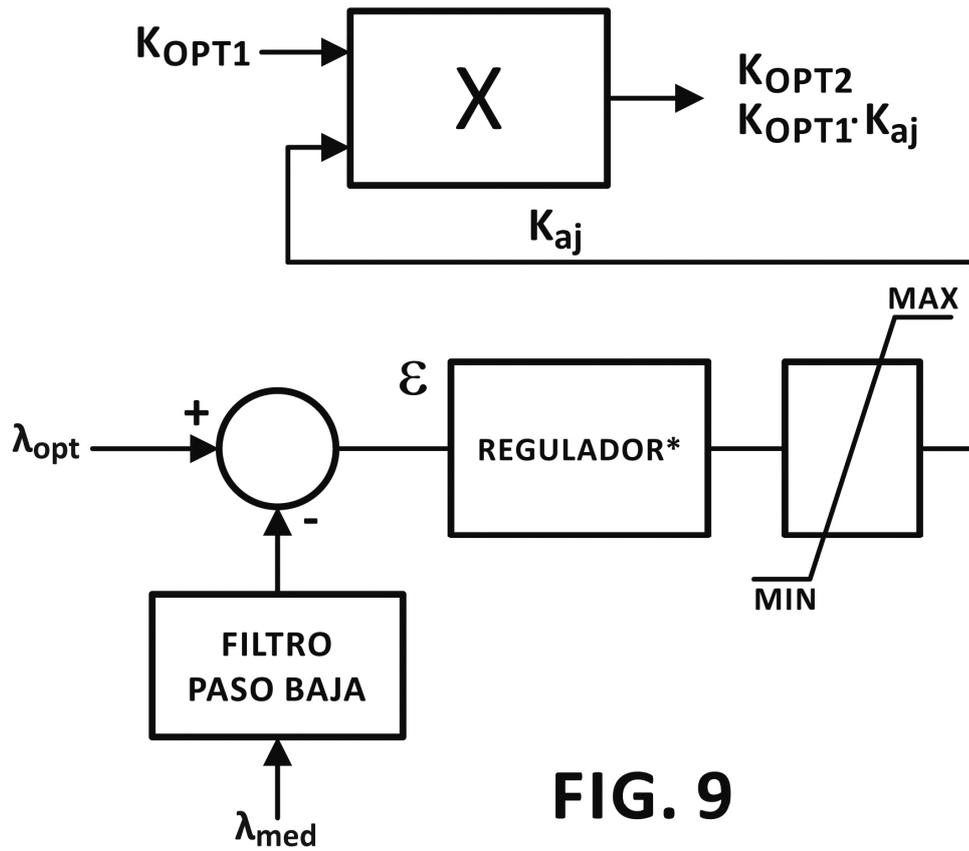
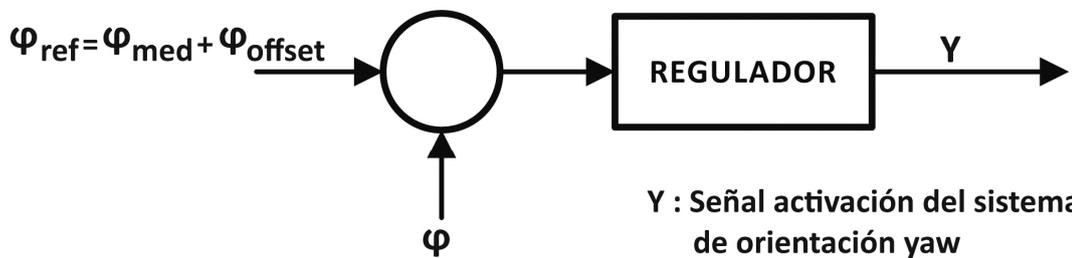


FIG. 9



- Y : Señal activación del sistema de orientación yaw
- φ_{ref} : Referencia de dirección de viento
- φ_{med} : Dirección de viento medida por anemo
- φ_{offset} : Offset de orientación
- φ : Orientación de góndola

FIG. 10



- ②① N.º solicitud: 201431304
②② Fecha de presentación de la solicitud: 10.09.2014
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **F03D7/02** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	CN 103244350 A (NARI TECHNOLOGY DEV CO LTD) 14.08.2013, resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE.	1-6,9,26-27
A	US 2010133817 A1 (KINZIE KEVIN et al.) 03.06.2010, reivindicaciones 1-4.	1-9
A	US 2004041405 A1 (SEKI KAZUICHI) 04.03.2004, reivindicaciones 1-5.	1-9
A	CN 103147918 A (SHENZHEN FENGFA TECHNOLOGY DEV CO LTD) 12.06.2013, resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE.	1-9

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
19.11.2015

Examinador
P. Sarasola Rubio

Página
1/4

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

F03D

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

INVENES, EPODOC, WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 19.11.2015

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-27	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 7, 8, 10-25	SI
	Reivindicaciones 1-6, 9, 26-27	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	CN 103244350 A (NARI TECHNOLOGY DEV CO LTD)	14.08.2013

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El documento objeto del informe se refiere a un método de control de un aerogenerador para regular la velocidad de giro del rotor dentro de la zona de velocidad variable, de manera que el ratio de velocidad de punta de pala se mantenga sustancialmente igual a un valor objetivo.

La **reivindicación 1** detalla las etapas del método siendo estas:

- calcular el valor medio del ratio de la velocidad de punta de pala,
- comparar dicho valor medio con un valor objetivo,
- en base a la diferencia obtenida modificar al menos un parámetro del sistema de control.

El documento D01 es un documento del estado de la técnica muy próximo al objeto de la invención. Dicho documento divulga un método para el seguimiento y control del ratio de velocidad de punta de pala, de manera que se va corrigiendo para mantenerlo en su valor óptimo. El método de funcionamiento reflejado en el organigrama de la figura 3 comienza calculando la velocidad del viento, luego el ratio de velocidad de punta de pala, luego compara este valor con un valor óptimo, con el resultado de esa comparación calcula el valor que ha de tener la velocidad de rotación cuando esta se puede ajustar o el ángulo de paso de pala cuando no es posible, modifican lo necesario para lograr el ratio de velocidad de punta de pala correcto y vuelve a empezar.

A la vista del documento comentado anteriormente, se comprueba que las características esenciales de la reivindicación 1 están anticipadas en el documento D01. En dicho documento sin embargo no especifica que el control se lleve a cabo dentro de la zona de velocidad variable comprendida entre un valor mínimo de velocidad de giro del rotor y un valor máximo, como sí dice la solicitud, sin embargo sí especifica en uno de los casos que se puede modificar la velocidad de rotación, de lo que se deduce que el método puede trabajar en dicha zona de funcionamiento. Por lo tanto se considera que la reivindicación 1 contaría con novedad pero carecería de actividad inventiva a la vista del documento D01 (Ley 11/1986, Art. 6.1, 8.1.).

En las **reivindicaciones 2-6** se describen características que se pueden considerar obvias para un experto en la materia y que no aportan ningún efecto inesperado a la invención, por lo que carecerían de actividad inventiva a la vista del documento D01.

La **reivindicación 7** detalla el tipo de parámetro de control a modificar, siendo uno entre la relación entre el par y la velocidad de rotación al cuadrado, el offset de orientación de góndola y la relación entre el ángulo de pitch y la potencia generada. Ninguno de los tres parámetros se describe en el documento D01, así pues la **reivindicación 7 y sus dependientes**, tendrían novedad y actividad inventiva.

Las **reivindicación 9** es una reivindicación muy general que quedaría anticipada por el documento D01 (Ley 11/1986, Art. 8.1.).

La **reivindicación 10** describe que la etapa de comparación incluye el comparar con un aerogenerador adyacente, algo que no se encuentra divulgado en el documento D01. Así pues, la **reivindicación 10 y todas sus dependientes** contarían con novedad y actividad inventiva (Ley 11/1986, Art. 6.1, 8.1.).

La **reivindicación 16** describe una etapa de identificación automática del valor correcto del parámetro a modificar. Este tipo de etapa automática no queda descrita en el documento D01, ni sería deducible a partir de lo que en él se describe, por lo que la **reivindicación 16 y todas sus dependientes** contarían con novedad y actividad inventiva (Ley 11/1986, Art. 8.1., 6.1.).

Las **reivindicaciones 26 y 27** son dos reivindicaciones referentes al sistema de control y al aerogenerador que, por encontrarse anticipada la reivindicación 1, quedarían anticipadas a la vista del documento D01, careciendo de actividad inventiva (Ley 11/1986, Art. 8.1., 6.1.).