



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 327 488**

⑫ Número de solicitud: 200801073

⑬ Int. Cl.:
F03D 7/04 (2006.01)
G01W 1/02 (2006.01)
G01W 1/10 (2006.01)

⑭

PATENTE DE INVENCION

B1

⑮ Fecha de presentación: **15.04.2008**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **29.10.2009**

Fecha de la concesión: **07.06.2010**

⑰ Fecha de anuncio de la concesión: **18.06.2010**

⑱ Fecha de publicación del folleto de la patente:
18.06.2010

⑲ Titular/es:
GAMESA INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L.
Avenida Ciudad de la Innovación, 9-11
31621 Sarriena, Navarra, ES

⑳ Inventor/es: **Llombart Estopiñán, Andrés;**
Gutiérrez Ardanaz, Roberto;
Guerrero Campo, José Jesús;
Beltrán Martínez, Francisco Javier;
Sallán Arasanz, Jesús;
Pueyo Rufas, Carlos;
Talayero Navales, Ana Patricia;
Melero Estela, Julio Javier y
García Gracia, Miguel

㉑ Agente: **No consta**

㉒ Título: **Un sistema de evaluación y control del rendimiento de un aerogenerador.**

㉓ Resumen:

Un sistema de evaluación y control del rendimiento de un aerogenerador.

Un sistema de evaluación del rendimiento de un aerogenerador (3) cuyo sistema de gobierno incluye unos medios de medición (11, 15) de unos parámetros meteorológicos M1, M2 situados respectivamente en el aerogenerador (3) y en una torre meteorológica (5) y unos medios de medición (13) de su orientación y de la potencia producida Pr que comprende una unidad computerizada (21) conectada con dichos medios de medición (11, 13, 15) con un primer módulo de cálculo (23) que obtiene una potencia característica Pc como una función de dichos parámetros a partir de los datos obtenidos durante una primera etapa del funcionamiento y un segundo módulo de cálculo (25) que obtiene la desviación media Dm existente entre la potencia Pr realmente producida y la potencia característica Pc según la función obtenida con el primer módulo de cálculo (23) en el conjunto de una o más series de datos.

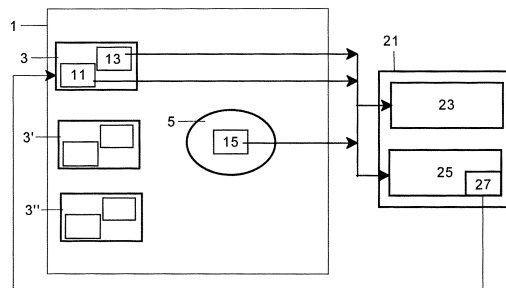


FIG. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Un sistema de evaluación y control del rendimiento de un aerogenerador.

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de evaluación y control del rendimiento de los aerogeneradores que forman parte de un parque eólico, de cara a optimizar la producción energética que se puede obtener de cada uno de ellos.

10 Antecedentes de la invención

El análisis del rendimiento de un aerogenerador pasa por conocer con exactitud la densidad del aire, la velocidad y otras características de la corriente fluida que incide sobre el rotor del mismo. Sin embargo, los datos de velocidad y características del viento incidente sobre las palas son imposibles de medir con exactitud, por lo que se debe trabajar con diferentes métodos de estimación para obtener la relación entre la potencia producida por el aerogenerador y el viento incidente sobre las palas.

Los métodos presentados en el ámbito científico no han demostrado su validez cuando la torre meteorológica está alejada de los aerogeneradores. Además, utilizan varias torres meteorológicas para controlar la producción de un número relativamente pequeño de aerogeneradores tal como 7 aerogeneradores.

El último método desarrollado para esta tarea es el patentado por MADE Tecnologías Renovables Patente N° ES2198212; Método para el control de producción en aerogeneradores eléctricos. Inventores: M. Sanz-Badía, F. J. Val, A. Llombart. Este método ha conseguido detectar anomalías de un 2% si se mantienen durante un periodo de, al menos, 8 semanas, pero presenta una serie de inconvenientes como son:

- Caracteriza la producción de todos los aerogeneradores de un parque eólico a través de los datos de velocidad y dirección de viento de un mástil meteorológico, que no representa el viento real recibido por el aerogenerador ya que el mástil puede encontrarse a distancia considerable de las máquinas.

- No considera los posibles efectos de la desviación típica de la velocidad del viento o la humedad relativa.

- No proporciona una estimación del rendimiento del aerogenerador.

- La división en sectores (dependientes de la dirección) de una forma fina y fija (cada 5° preferentemente) hace que muchos sectores no puedan ser caracterizados.

- El error máximo que se ha logrado detectar es de un 2%.

- El proceso de caracterización de los aerogeneradores no es automático.

La presente invención está orientada a la solución de esos inconvenientes.

45 Sumario de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema automatizado de evaluación y control de la producción de los aerogeneradores de un parque eólico que permita detectar eficientemente cualquier desviación anómala de la potencia producida por el aerogenerador para que puedan tomarse las medidas correspondientes para minimizar las posibles pérdidas de producción por indisponibilidad y mantener las características de funcionamiento de los aerogeneradores en un rango óptimo.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema automatizado de evaluación y control de la producción de los aerogeneradores de un parque eólico que permita proporcionar automáticamente instrucciones al sistema de gobierno del aerogenerador para cambiar su funcionamiento como consecuencia de la detección de una desviación anómala importante de la potencia producida por el aerogenerador.

Esos y otros objetos se consiguen proporcionando un sistema de evaluación y control del rendimiento de un aerogenerador situado en un parque eólico que comprende:

- Unos primeros medios de medición de unos parámetros meteorológicos M1 situados en el aerogenerador.

- Unos segundos medios de medición de la dirección de la orientación β del aerogenerador y de la potencia Pr realmente producida por el aerogenerador.

- Unos terceros medios de medición de unos parámetros meteorológicos M2 situados en una torre meteorológica ubicada en dicho parque eólico.

- Una unidad computerizada conectada con dichos primeros, segundos y terceros medios de medición que incluye:

- un primer módulo de cálculo que obtiene la potencia característica P_c del aerogenerador como una función de, al menos, los parámetros meteorológicos M_1 y M_2 y la dirección de la orientación β del aerogenerador a partir de los datos proporcionados periódicamente por dichos primeros, segundos y terceros medios de medición durante una primera etapa del funcionamiento del aerogenerador;
- un segundo módulo de cálculo que a partir de los datos proporcionados periódicamente por dichos primeros, segundos y terceros medios de medición durante el funcionamiento normal del aerogenerador obtiene la desviación media D_m existente entre la potencia P_r realmente producida por el aerogenerador y la potencia característica P_c correspondiente a los valores de los parámetros M_1 y M_2 y de la dirección de la orientación β del aerogenerador proporcionados conjuntamente con el valor de la potencia P_r , aplicando la función obtenida con el primer módulo de cálculo, en el conjunto de una o más series de datos correspondientes a un número predeterminado de períodos.

En una realización preferente de la presente invención los parámetros meteorológicos M_1 comprenden, al menos, la velocidad v y dirección α del viento y/o parámetros estadísticos derivados de ellos y los parámetros meteorológicos M_2 comprenden, al menos, la presión P_a , la temperatura T y la humedad relativa del aire H_r y/o parámetros estadísticos derivados de ellos. Se consigue con ello, por un lado, un sistema de evaluación y control del rendimiento de un aerogenerador que hace posible la utilización del anemómetro y la veleta situados en la góndola del aerogenerador al considerar satisfactoriamente las perturbaciones introducidas por el aerogenerador en las medidas proporcionadas por esos instrumentos y, por otro lado, un sistema de evaluación y control del rendimiento de un aerogenerador que permite la evaluación automática de la producción mediante la estimación numérica del rendimiento del aerogenerador.

En otra realización preferente de la presente invención dicho segundo módulo de cálculo incluye un sub-módulo conectado con el sistema de gobierno del aerogenerador para transmitirle directamente instrucciones a ejecutar por dicho sistema de gobierno en el caso de que la desviación media D_m de alguna de dichas series supere unos umbrales preestablecidos. Se consigue con ello un sistema de evaluación y control del rendimiento de un aerogenerador con medios directos de comunicación con el sistema de gobierno que permiten una actuación inmediata cuando tiene lugar alguna circunstancia que causa una desviación particularmente anómala del rendimiento del aerogenerador.

En otra realización preferente de la presente invención dichos primeros medios de medición, que son, típicamente, un anemómetro y una veleta situados en la góndola del aerogenerador, están duplicados existiendo pues unos medios principales y unos medios auxiliares y dicho segundo módulo de cálculo comprende medios de cálculo adicionales para obtener dicha desviación media D_m a partir de los datos proporcionados de los parámetros meteorológicos M_1 tanto por dichos medios principales como por dichos medios auxiliares al efecto de detectar eventuales fallos en ellos en caso de obtenerse resultados discrepantes. Se consigue con ello un sistema de evaluación y control del rendimiento de un aerogenerador que permite detectar automáticamente cualquier avería en alguno de dichos medios duplicados de medición y, en ese caso, instruir al sistema de gobierno para que utilice los datos proporcionados por el otro medio.

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la descripción detallada que sigue en relación con las figuras que se acompañan.

Descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La Figura 1 es un diagrama de bloques del sistema de evaluación y control de aerogeneradores según la presente invención.

Las Figuras 2 y 3 muestran sendas representaciones esquemáticas del resultado de la agrupación de datos en dirección para dos bins cualesquiera (i y k). En ellas se puede observar que, con carácter general, esta partición no va a ser uniforme; siendo los sectores más finos en las direcciones principales del viento y más anchos en las direcciones con menos frecuencia.

La Figura 4 muestra de manera esquemática el proceso de caracterización del funcionamiento de un aerogenerador. Partiendo de datos históricos brutos se realiza el filtrado de datos para obtener los datos históricos filtrados. Posteriormente, estos datos se dividen en n subgrupos en función de las variables meteorológicas. Estos subgrupos se agrupan siguiendo las reglas expuestas en el apartado anterior formando m grupos de datos, de manera que el conjunto de funciones f_{g-j} que relacionan la potencia y los parámetros meteorológicos para cada grupo de datos caracterizan el funcionamiento del aerogenerador.

La Figura 5 representa el proceso de determinación del rendimiento de un aerogenerador para un determinado marco temporal. Se parte de los datos disponibles en el marco a considerar que son válidos. Se asocian los datos en función del grupo de control al que pertenecen. Para cada conjunto de datos, se utiliza como base la función de caracterización f_{g-j} , y, basándose en técnicas de calibración, se obtiene el rendimiento del aerogenerador.

Realización preferente de la invención

Como es bien conocido el sistema de gobierno de un aerogenerador se lleva a cabo generalmente en dos niveles. En el primer nivel, el sistema de gobierno utiliza datos de parámetros meteorológicos proporcionados por medios de medición tales como, por ejemplo, la velocidad del viento y toma las medidas necesarias para adecuar el funcionamiento del aerogenerador a la situación meteorológica en cuestión y suministrar la potencia requerida en esas condiciones de trabajo tales como, por ejemplo, un cambio del ángulo de paso de las palas o un cambio de la orientación de la góndola. Por otro lado, en el segundo nivel, el sistema de gobierno del aerogenerador controla la conexión del aerogenerador a la red eléctrica tanto en lo relativo a maniobras de conexión y desconexión como en lo relativo a la generación de energía y la calidad de la energía suministrada a la red a cuyo efecto utiliza datos proporcionados por medios de medición internos tales como, por ejemplo, la potencia instantánea producida por el generador o el número de rpm del mismo.

El aerogenerador 3 ilustrado en la Figura 1 al que se refiere la presente invención y, análogamente, los aerogeneradores 3', 3'' que están situados en el mismo parque eólico 1, dispone por un lado de unos medios de medición 11 de parámetros meteorológicos situados en el propio aerogenerador, en particular, un anemómetro y una veleta para medir la dirección y la velocidad del viento y, por otro lado, de unos medios de medición 13 de la dirección de orientación de la góndola y de la potencia producida por el aerogenerador. Obviamente el aerogenerador 3 dispone de otros medios de medición pero los mencionados son los utilizados en el sistema objeto de la presente invención. Como hemos dicho, esos medios de medición 11, 13 están conectados al sistema de gobierno del aerogenerador 3.

Por su parte, la torre meteorológica 5 del parque 1 que presta servicio a los aerogeneradores 3, 3', 3'' dispone de medios de medición 15 de parámetros meteorológicos distintos de la velocidad y la dirección del viento y en particular de la presión, la temperatura y la humedad relativa del aire. Esos medios de medición 15 pueden estar o no estar conectados al sistema de gobierno del aerogenerador.

El sistema de evaluación y control del rendimiento del aerogenerador 3 según la presente invención comprende una unidad de evaluación 21 conectada a dichos medios de medición 11, 13, 15 con dos módulos de cálculo 23 y 25 implementados en ordenador que describiremos a continuación, incluyendo a título ilustrativo unas tablas con datos reales obtenidos aplicando el método a un aerogenerador G58 de GAMESA.

Primer módulo de cálculo 23

El primer módulo de cálculo 23 obtiene la potencia característica P_c del aerogenerador durante una primera etapa del funcionamiento del aerogenerador, según se describe seguidamente siguiendo la Figura 4.

La caracterización del funcionamiento del aerogenerador permite mitigar la perturbación del rotor y la góndola en los datos de viento tomados en la góndola del aerogenerador y, por tanto, permite obtener una relación precisa entre la potencia producida por el aerogenerador y las variables meteorológicas. Este proceso consta de los siguientes pasos:

a) Filtrado 33 de los datos originales 31 a partir de los cuales se realizará el proceso de caracterización.

Preferentemente se parte de los siguientes datos originales 31:

P : potencia producida por el aerogenerador.

v : módulo de la velocidad del viento, medido en la góndola del aerogenerador.

σ_v : desviación típica de la velocidad del viento.

α : dirección horizontal del viento medido en la góndola del aerogenerador.

β : dirección de orientación de la góndola del aerogenerador.

P_a : presión del aire medido en la torre meteorológica.

T : temperatura del aire medida en la torre meteorológica.

H_r : Humedad relativa medida en torre meteorológica.

Todos estos datos se refieren a medias obtenidas, preferentemente, cada diez minutos, excepto, obviamente la desviación típica, que corresponde a la desviación típica de las muestras consideradas para realizar la media de la velocidad de viento. El método de muestreo de datos preferente es el indicado en la norma IEC 61400 - 12.

En este paso se comprueba la calidad de los datos registrados descartando anómalos estadísticos correspondientes a errores en la captación de los mismos o al mal funcionamiento de cualquiera de los elementos del sistema. Las técnicas de filtrado utilizadas serán las típicas que se utilizan en el sector eólico, además de la técnica de filtrado robusto.

b) Normalización 37 de los datos 35 de potencia o velocidad de viento obtenidos en el paso anterior en función de la densidad. Para ello se utilizará, preferentemente, el método propuesto por la norma IEC 61400 - 12. Para simplificar la exposición, en esta memoria descriptiva el término potencia P_r realmente producida debe entenderse como potencia realmente producida y corregida en función de la densidad.

c) Agrupación 41 de los datos 39 en función de la velocidad y la dirección del viento obtenidos en el paso anterior formando subgrupos 43 con un número pequeño de datos que permita una caracterización estadística precisa, obtención para cada subgrupo, de una función del tipo $P = f_{\alpha, \beta}$; (parámetros meteorológicos, β) que mejor ajuste los datos de cada subgrupo y normalización de los datos de potencia de cada subgrupo al punto central del mismo utilizando, para cada subgrupo de datos (i), la función mencionada y obtención de las funciones estadísticas que mejor representen la variabilidad de los datos normalizados correspondientes a cada subgrupo.

Como la relación entre el viento libre (aguas arriba del aerogenerador) y el viento registrado en la góndola depende de la orografía, la relación entre la potencia y los parámetros que definen el viento varía con la dirección en la que sopla este último. De este modo parecería razonable obtener una caracterización de la potencia para sectores lo más finos posibles (como por ejemplo 5°). Sin embargo, este método tiene el problema de que muchos sectores se quedan por definir debido a la falta de datos. Por este motivo se ha desarrollado un método de agrupación de datos de manera que se minimicen las zonas para las cuales no existe una curva de caracterización.

La agrupación de los datos en función de la velocidad del viento se realiza, preferentemente, utilizando el método de los bins (IEC 61400 - 12), y, a continuación, se agrupan en función de la dirección de manera que en cada subgrupo final se obtengan entre 10 y 30 datos y/o que la anchura en grados del conjunto resultante sea, como mínimo de 4° , con objeto de disponer de subgrupos pequeños con un número de datos suficientemente grande como para poder ajustar una función con precisión. Se obtienen así n subgrupos de datos.

Para cada subgrupo (i de n) se obtendrá una función de ajuste, preferentemente de mínimos cuadrados, de la forma: $P_i = f(v, \sigma_v, \alpha, \beta, P, T, Hr)$. A partir de esta función se normalizarán todos los datos de potencia al punto central del subgrupo, de manera que, a partir de esa normalización se pueda obtener la variabilidad de los distintos datos con respecto al punto central. Esta variabilidad será caracterizada, preferentemente, mediante una función de distribución normal.

La Tabla 1 muestra un ejemplo de los datos obtenidos en este paso para el bin de velocidad 8 m/seg, es decir para datos obtenidos con velocidades comprendidas entre 7,75 y 8,25 m/seg.

TABLA 1a

Sec	n	P_{mi} [kW]	V_m [m/s]	σ_v [m/s]	α [°]	β [°]	P_a [mmHg]	T^a (°K)	H_r [%]
1	169	410.31	8.05	1.08	1.25	1.38	831.00	274.97	71.84
2	37	413.60	8.04	1.57	2.16	6.38	840.77	279.55	77.48
3	16	424.90	8.11	1.72	2.13	10.88	832.65	273.66	75.45
4	18	440.59	7.97	1.16	-0.30	16.73	834.67	279.00	76.13
5	10	410.75	7.96	1.13	0.62	22.25	832.95	280.53	48.97
6	10	400.50	7.98	0.89	-0.98	29.13	838.69	288.41	74.46
...									
25	15	392.26	8.01	0.98	1.00	139.45	827.43	280.87	71.84
26	6	376.00	8.02	1.12	2.53	143.51	824.47	278.70	80.55
27	80	400.45	8.01	1.16	1.62	149.92	817.68	277.60	82.74
28	56	439.61	8.01	1.22	-1.01	154.53	820.00	277.17	80.55
29	54	434.24	8.01	1.45	-1.27	158.85	822.51	277.09	79.90
30	135	434.18	8.01	1.45	1.11	163.37	827.83	276.95	78.68
31	122	472.14	8.01	1.57	0.83	167.79	825.08	275.74	77.63
32	174	451.53	8.01	1.19	0.66	172.65	825.80	276.30	77.54
...									
69	344	444.24	7.97	0.88	0.63	351.43	831.11	275.68	77.31
70	251	466.93	8.01	0.90	0.93	358.28	828.06	274.02	77.00

TABLA 1b

Sec	P_{mr} [kW]	D_m [%]
1	446.38	2.92%
2	442.93	2.12%
3	438.60	1.13%
4	444.67	2.53%
5	426.98	-1.55%
6	423.88	-2.27%
...		
25	423.95	-2.25%
26	438.25	1.05%
27	422.52	-2.58%
28	442.33	1.99%
29	443.26	2.20%
30	428.21	-1.27%
31	445.12	2.63%
32	442.17	1.95%
...		
69	425.21	-1.96%
70	428.31	-1.25%

Cada una de las filas de la primera parte de la Tabla 1 muestra para cada uno de los 70 sectores de dirección (Sec) considerados el resultado de la agrupación del número de datos (n) que se han obtenido para las variables indicadas siguiendo la metodología descrita.

Cada una de las filas de la segunda parte de la Tabla 1 muestra para cada uno de los 70 sectores de dirección la potencia media realmente producida (P_{mr}) y la desviación respecto a la media (D_m).

d) Agrupación 45 de los subgrupos de datos de cada bin obtenidos en el paso anterior de manera que los grupos finales 47 resulten homogéneos y de definición precisa y obtención para cada grupo de datos 47, de una función del tipo $P = f_{g-j}$ (parámetros meteorológicos, β) que mejor ajuste los datos del mencionado grupo.

Este paso permite obtener grupos de datos que, en general, pueden ser discontinuos en dirección. Es decir, que un grupo de datos podría estar formado, por ejemplo, por los subgrupos 1, 4, 8 y 10 del bin i .

La obtención de las funciones estadísticas que caracterizan la variabilidad de los datos de producción permite agrupar los distintos subgrupos en grupos más grandes 47 que sean la unión de subgrupos con similares características. Para ello en el paso 45 se agruparán los subgrupos que tengan la media de potencia dentro del $\pm 10\%$ de manera que los grupos resultantes tengan entre 30 y 100 datos y la anchura en grados del sector sea mayor de 8° siempre que la desviación típica del grupo resultante sea como máximo el doble de la mínima desviación típica de los subgrupos a partir de los cuales ha sido formado, obteniéndose m grupos de datos siendo $m < n$. Por último, para cada grupo de datos (j de m) se calcula una función de ajuste f_{g-j} del tipo mencionado anteriormente.

La Tabla 2 muestra como se agruparían los datos de la Tabla 1.

TABLA 2

Agrupación	Sectores dirección
A1	1,47
A2	4,31,46
A3	2,29,33,54,55
A4	28,32,34,35,51,53
...	
A10	7,8,9,41,68,69
A11	6,23,24,25,39
A12	27,40

En el momento en el que un parque se instala no se disponen de datos de producción de ninguno de sus aerogeneradores, por lo que resulta imposible realizar la caracterización de éstos según ha sido explicado. Conforme se va disponiendo de datos históricos se pueden hacer pruebas de caracterización, este proceso será más preciso cuantos más datos se utilicen para su realización, pero, por el contrario, cuantos más datos se utilicen mayor será el tiempo requerido en el proceso.

Se hace necesario disponer de un criterio que permita, de manera automática, determinar en qué momento se puede considerar si un aerogenerador está caracterizado con suficiente precisión.

Una situación ideal sería aquella en la que cada dato que fuera introducido en el sistema de control en el rango de velocidades de producción (generalmente entre 4 y 25 m/s) perteneciera a un grupo de control. Para conseguir esto el periodo de aprendizaje tendería a infinito pues, para cada parque, existen direcciones de viento muy poco probables para las que resulta muy difícil conseguir al menos 10 datos para cada intervalo de velocidad.

Para determinar el momento en el que el proceso de caracterización se ha terminado se deben realizar los siguientes pasos:

a) Cálculo de la probabilidad de que un dato cualquiera que entra en el sistema de control pertenezca a los grupos de control.

Se propone, en primer lugar, calcular las frecuencias relativas de cada grupo tomando como base, preferentemente, los datos históricos del periodo de evaluación de potencial del parque. Una vez que se tienen las frecuencias relativas de cada grupo, la probabilidad de que un dato que llega al sistema pertenezca a un grupo de control vendrá dada por la suma de las frecuencias relativas de los distintos grupos de control que se hayan formado hasta el momento en el que se esté calculando. Por frecuencia relativa se entiende el cociente entre el número de datos que pertenecen a un determinado grupo para el periodo de estudio y el número de datos total considerado para ese mismo periodo.

b) Cálculo de la probabilidad máxima de que un dato pertenezca a un grupo de control.

El método debe tener en cuenta que velocidades del viento con valores suficientemente bajos o altos no provocan producción de energía eléctrica, por lo que la probabilidad máxima a la que se puede aspirar es la suma de las frecuencias relativas de todos los sectores comprendidos entre las velocidades mínima y máxima de producción de energía, correspondientes a la velocidad de arranque y parada del aerogenerador.

c) Determinación del momento de fin de caracterización.

Para el cálculo del grado de aprendizaje se debe calcular, en primer lugar, el parámetro Fp = probabilidad de pertenencia/máxima probabilidad de pertenencia.

Entendiendo como probabilidad de pertenencia a la suma de las frecuencias relativas de cada grupo de control que se haya formado en el momento en el que se está verificando si el aerogenerador está caracterizado.

Por otro lado, se debe decidir el valor deseado de este parámetro. En este sentido se considera que se puede tomar un valor del parámetro Fp entre 0,55 y 0,95. De esta manera en el momento en el que se alcance ese valor se puede concluir que la caracterización se ha realizado con éxito.

La Tabla 3 ilustra la dinámica del proceso de caracterización de la que se deduciría que podría considerarse terminado una vez que se hubieran procesado 40000 datos ya que se tendría una probabilidad acumulada del 58,06% que estaría dentro del rango indicado.

TABLA 3

Datos	Número de agrupaciones caracterizadas	Número de agrupaciones de control	Probabilidad acumulada (Fp)
10000	16	16	11.48%
20000	37	35	22.95%
30000	74	67	37.57%
40000	112	98	58.06%
50000	124	108	61.71%

El resultado final obtenido con el primer módulo de cálculo 23 es, en definitiva, una función que permite obtener la potencia característica P_c del aerogenerador en cuestión en unas determinadas condiciones meteorológicas, es decir la potencia que cabe esperar que producirá el aerogenerador en esas mismas condiciones meteorológicas y que servirá de término de referencia para evaluar el funcionamiento del aerogenerador.

Segundo módulo de cálculo 25

El segundo módulo de cálculo 25 obtiene en primer término la potencia realmente producida P_r en períodos de tiempo predeterminados según se describe seguidamente siguiendo la Figura 5. Este proceso consta de los siguientes pasos:

a) Toma de datos

Una vez conocida la relación entre la potencia generada por el aerogenerador y el resto de variables consideradas para cada uno de los subgrupos se procede a la toma de datos durante el funcionamiento del aerogenerador de manera continua. De entre los datos recogidos se seleccionan aquellos en los que el funcionamiento del aerogenerador no ha sufrido incidencias que afecten a la energía producida tales como arranques y paradas u operaciones de mantenimiento.

Se utilizan los siguientes criterios de selección:

- Selección de los grupos de control: aquellos grupos con menor variabilidad serán los únicos considerados para realizar la estimación del rendimiento del aerogenerador.

- Selección de los marcos temporales para los cuales se calculará el rendimiento de los aerogeneradores.

Si, para un grupo dado, la variabilidad de los datos normalizados con respecto al punto central del mismo es muy elevada, el tratamiento de los datos del subgrupo añade mucho ruido al método de estimación del rendimiento. Es por este motivo que solo se consideran dentro del método aquellos grupos cuya variabilidad esté dentro de un determinado rango.

Para que un grupo de datos pueda ser considerado dentro del método de control se considera que debe contener más de 30 datos y, además, su variabilidad deberá ser inferior al 30%.

Por otro lado, el método necesita analizar un conjunto de datos, por lo que es necesario contemplar los datos de producción para un determinado periodo temporal, que bien puede estar definido por el número de datos total o el número de datos válidos. Así cuanto menor sea el periodo temporal más rápido se obtiene un resultado, pero, con carácter general, más incierta es la estimación obtenida. De este modo, se hace necesario contemplar varios marcos temporales para los que se realiza la estimación del rendimiento, en función de las cuales se determina si el funcionamiento del aerogenerador es correcto. Preferentemente se utilizarán tres marcos temporales definidos por un número de datos de control entre 100 y 20.000.

b) Agrupación 63 de los datos 61 a estudiar en los distintos subgrupos de control 65.

c) Obtención de la potencia característica para cada uno de los datos 61, utilizando la función f_{g-j} para cada grupo de control (j).

d) Cálculo de la variabilidad de los datos de potencia real 69 con respecto a la potencia característica que permite obtener la variabilidad de cada subgrupo de datos 69 para cada periodo de estudio. A partir de los datos de variabilidad de cada subgrupo y, utilizando preferentemente técnicas de calibración de equipos de medida se obtiene 71 la estimación del rendimiento 73 del aerogenerador para cada marco temporal considerado.

Se determinan tres niveles de alarma en función de la desviación del rendimiento que se obtiene de su evaluación media en diferentes marcos temporales. Para determinar los umbrales de alarma se realiza una evaluación estadística de la probabilidad de fallo en función de dicha desviación del rendimiento. Preferentemente se utilizarán los umbrales de probabilidad de fallo del 75%, 95% y 99%.

Si en algún momento se detecta una variación anómala de la producción de cualquiera de los aerogeneradores el sistema de control genera las alarmas y avisos pertinentes.

Los procesos de estimación del rendimiento y determinación de las características de funcionamiento de los aerogeneradores de un parque se deben realizar periódicamente. Preferentemente se debe realizar cada 10 minutos, es decir, cada vez que el sistema reciba un dato nuevo de uno de los aerogeneradores. Otros marcos temporales válidos pueden ser entre 10 minutos y 1 hora. (cambiado para que coincida con la reivindicación).

La Tabla 4 muestra un ejemplo de los resultados finales obtenidos aplicando el método objeto de la presente invención.

TABLA 4a

Dato	P [kW]	V [m/s]	σ_v [m/s]	α [°]	β [°]	Pa [mmHg]	T ^a [K]	H _r [mmHg]
4000	233	6.28	1.38	-2.15	295.00	821.24	279.11	90.00
4010	169	5.87	1.65	-2.15	301.00	821.38	279.11	91.00
4020	219	6.46	1.75	-2.05	298.00	821.36	279.31	92.00
4030	114	4.90	1.10	-2.12	299.00	821.42	279.31	92.00
...								
4500	139	5.60	1.01	-1.83	335.00	829.38	289.08	85.00
4510	82	4.80	1.01	-1.76	345.00	829.52	289.76	86.00
4520	95	4.97	1.02	-1.72	354.00	829.52	288.49	87.00

TABLA 4b

Dato	P _r [kW]	D _{cor300} [%]	D _{cor1000} [%]	D _{cor4000} [%]
4000	232.18	-6.32%	-2.39%	-0.76%
4010	167.36	-6.38%	-2.41%	-0.77%
4020	218.67	-6.48%	-2.44%	-0.77%
4030	111.53	-6.46%	-2.42%	-0.76%
...				
4500	145.36	2.19%	-1.31%	-0.19%
4510	89.71	2.12%	-1.30%	-0.19%
4520	102.04	2.09%	-1.28%	-0.19%

Cada una de las filas de la primera parte de la Tabla 4 muestra los valores de las variables indicadas que se reciben de los correspondientes medios de medición con una periodicidad determinada (cada 10 minutos). No se muestra toda la serie de datos sino solamente algunos comprendidos entre los números 4000 a 4520.

Cada una de las filas de la segunda parte de la Tabla 4 muestra el valor de la potencia P_r realmente producida correspondiente al dato en cuestión y las desviaciones medias D_{cor300}, D_{cor1000}, D_{cor4000} entre potencias P_r realmente producidas y las potencias características P_c correspondientes para los mismos valores de los parámetros meteorológicos (obtenidas utilizando la función resultante del módulo de cálculo 23 correspondiente al proceso de caracterización del aerogenerador) para grupos de los últimos 300, 1000 y 4000 datos de la serie. Así pues, se proporciona para cada dato de la serie considerada tanto el valor de la potencia P_r realmente producida (por ejemplo P_r=111,53 para el dato n° 4030) como la desviación media respecto a la potencia característica P_c para los grupos de los últimos 300, 1000 y 4000 datos (-6,46%, -2,42%, -0,76%).

Se observa claramente que la diferencia entre los valores de la potencia realmente producida P_r y la deducida de la potencia característica P_c es tanto menor cuando mayor sea el grupo de datos considerados y que, en todo caso, incluso con el grupo de 300 datos se obtiene una banda de desviación lo suficientemente estrecha como para poder considerar que existe una anomalía cuando se detecta una desviación fuera de esa banda.

Como ya indicamos anteriormente en una realización preferente de la presente invención el segundo módulo de cálculo 25 incluye un sub-módulo 27 conectado con el sistema de gobierno del aerogenerador 3 para transmitirle directamente instrucciones resultantes de la mencionada evaluación del rendimiento del aerogenerador en determinadas circunstancias como las siguientes.

a) Si se detecta una disminución del rendimiento superior a un determinado valor previamente establecido, el segundo módulo de cálculo enviará una señal al sistema de gobierno del aerogenerador 3 para que proceda a detener su producción de manera preventiva para evitar posibles daños mayores.

b) Si el aerogenerador 3 dispone, como sucede en buena parte de los aerogeneradores que se instalan actualmente, de una pareja principal y una pareja auxiliar de anemómetro y veleta, el sistema evaluará la producción del aerogenerador a partir de los datos proporcionados por las dos parejas, es decir realizará los mismos cálculos por duplicado.

Si utilizando los datos proporcionados por la pareja principal anemómetro-veleta se detecta un rendimiento superior al previsto se actúa como sigue:

- Si el resultado obtenido a partir de los datos de la pareja auxiliar no detecta ese rendimiento superior sino un rendimiento concordante con el previsto, se entiende que alguno de los elementos de la pareja principal no funciona correctamente y se instruye al sistema de gobierno del aerogenerador 3 para que utilice los datos de la pareja auxiliar.
- Si ambos resultados coinciden se procede a generar la correspondiente alarma.

Como bien comprenderá el experto en la materia, la unidad de evaluación 21 del sistema de evaluación y control de aerogeneradores objeto de la presente invención puede estar situada tanto en un centro de control ubicado en el parque eólico 1 como en un centro distante del mismo y puede evaluar y controlar un número grande de aerogeneradores y, en particular, la totalidad de los aerogeneradores de un parque eólico.

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. Un sistema de evaluación y control del rendimiento de, al menos, un aerogenerador (3) situado en un parque eólico (1), estando dotado el aerogenerador (3) de un sistema de gobierno de sus componentes que incluye unos primeros medios de medición (11) de unos parámetros meteorológicos M1 situados en el aerogenerador (3) y unos segundos medios de medición (13) de la dirección de la orientación β del aerogenerador (3) y de la potencia P_r realmente producida por el aerogenerador (3), estando dotado el parque eólico (1) de unos terceros medios de medición (15) de unos parámetros meteorológicos M2 situados en una torre meteorológica (5) situada en dicho parque eólico (1), **caracterizado** porque comprende una unidad computerizada (21) conectada con dichos primeros, segundos y terceros medios de medición (11, 13, 15) que incluye:

a) un primer módulo de cálculo (23) que obtiene la potencia característica P_c del aerogenerador (3) como una función de, al menos, los parámetros meteorológicos M1 y M2 y la dirección de la orientación β del aerogenerador (3), a partir de los datos proporcionados periódicamente por dichos primeros, segundos y terceros medios de medición (11, 13, 15) durante una primera etapa del funcionamiento del aerogenerador (3);

b) un segundo módulo de cálculo (25) que a partir de los datos proporcionados periódicamente por dichos primeros, segundos y terceros medios de medición (11, 13, 15) durante el funcionamiento normal del aerogenerador (3) obtiene la desviación media D_m existente entre la potencia P_r realmente producida por el aerogenerador (3) y la potencia característica P_c correspondiente a los valores de los parámetros M1 y M2 y de la dirección de la orientación β del aerogenerador (3) proporcionados conjuntamente con el valor de la potencia P_r , aplicando la función obtenida con el primer módulo de cálculo (23), en el conjunto de una o más series de datos correspondientes a un número predeterminado de períodos.

2. Un sistema de evaluación y control del rendimiento de, al menos, un aerogenerador (3) según la reivindicación 1, **caracterizado** porque los parámetros meteorológicos M1 comprenden, al menos, la velocidad v y dirección α del viento y/o parámetros estadísticos derivados de ellos y los parámetros meteorológicos M2 comprenden, al menos, la presión P_a , la temperatura T y la humedad relativa del aire H_r y/o parámetros estadísticos derivados de ellos.

3. Un sistema de evaluación y control del rendimiento de, al menos, un aerogenerador (3) según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, **caracterizado** en el primer módulo de cálculo (23) se obtiene la potencia característica P_c como una función discreta en relación con intervalos predeterminados de los parámetros meteorológicos M1 y M2 y la dirección de la orientación β del aerogenerador.

4. Un sistema de evaluación y control del rendimiento de, al menos, un aerogenerador (3) según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, **caracterizado** porque la primera etapa de funcionamiento del ordenador en la que se obtiene la potencia característica P_c como una función de, al menos, los parámetros meteorológicos M1 y M2 y la dirección de la orientación β del aerogenerador (3) se termina cuando se han obtenido datos representativos para un subconjunto preestablecido de intervalos de la velocidad v y de la dirección α del viento en base a datos históricos del parque (1).

5. Un sistema de evaluación y control del rendimiento de, al menos, un aerogenerador (3) según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, **caracterizado** porque la periodicidad de los datos proporcionados por dichos primeros, segundos y terceros medios de medición (11, 13, 15) está comprendida entre 10 y 60 minutos.

6. Un sistema de evaluación y control del rendimiento de, al menos, un aerogenerador (3) según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, **caracterizado** porque la serie mínima de datos para obtener dicha desviación media D_m abarca 100 períodos.

7. Un sistema de evaluación y control del rendimiento de, al menos, un aerogenerador (3) según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, **caracterizado** porque se obtienen desviaciones medias D_m para tres series de, como mínimo, 300, 1000 y 4000 períodos.

8. Un sistema de evaluación y control del rendimiento de, al menos, un aerogenerador (3) según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, **caracterizado** porque dicho segundo módulo de cálculo (25) incluye un sub-módulo (27) conectado con el sistema de gobierno del aerogenerador (3) para transmitirle instrucciones a ejecutar por dicho sistema de gobierno en el caso de que la desviación media D_m de alguna de dichas series supere unos umbrales preestablecidos.

9. Un sistema de evaluación y control del rendimiento de, al menos, un aerogenerador (3) según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, **caracterizado** porque dichos primeros medios de medición (11) comprenden unos medios principales y unos medios duplicados auxiliares y porque el segundo módulo de cálculo (25) comprende medios adicionales para obtener dicha desviación media D_m a partir de los datos proporcionados de los parámetros meteorológicos M1 tanto por dichos medios principales como por dichos medios auxiliares al efecto de detectar eventuales fallos en ellos en caso de obtenerse resultados discrepantes.

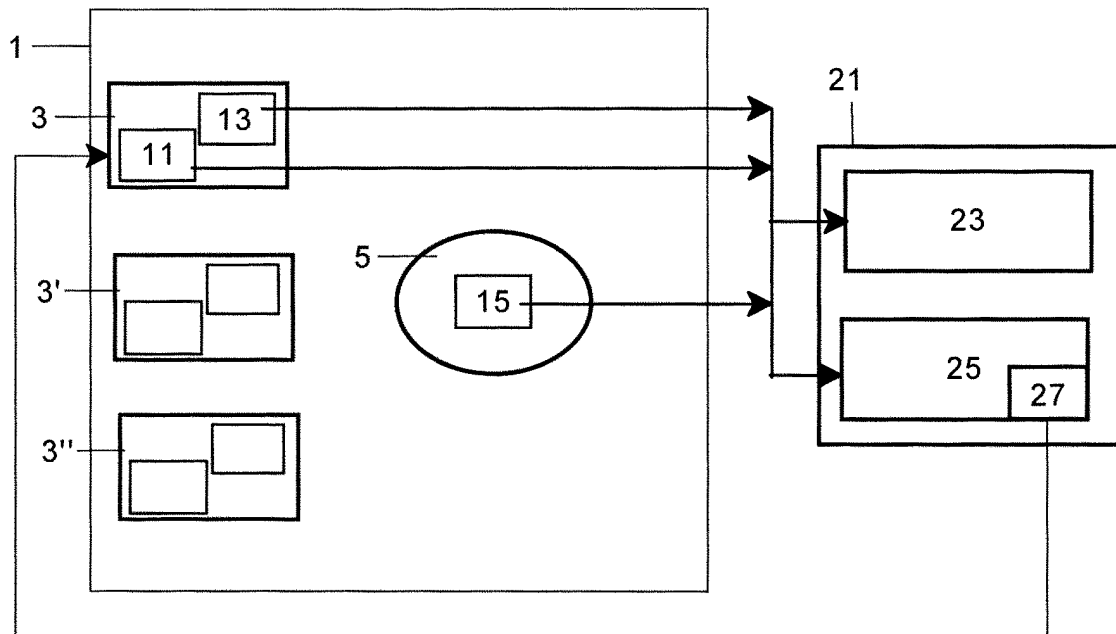


FIG. 1

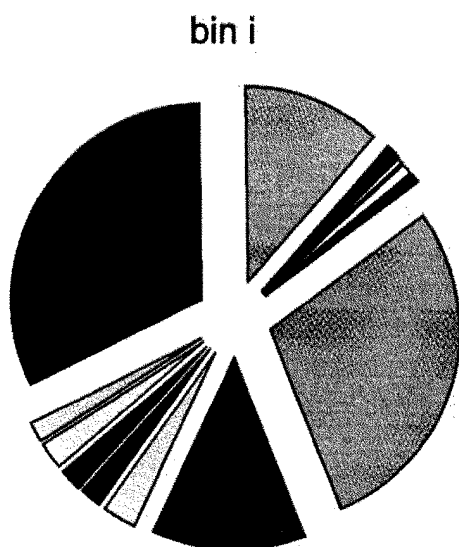


FIG. 2

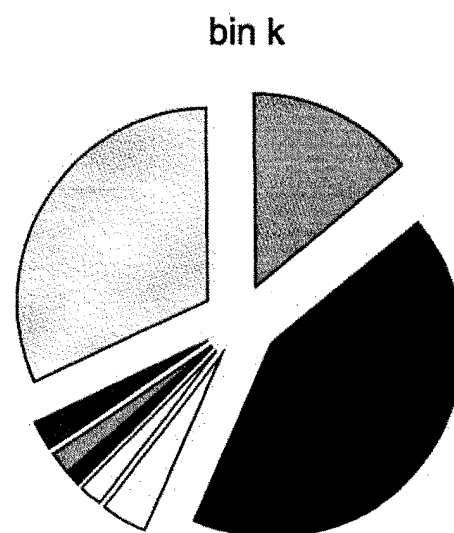


FIG. 3

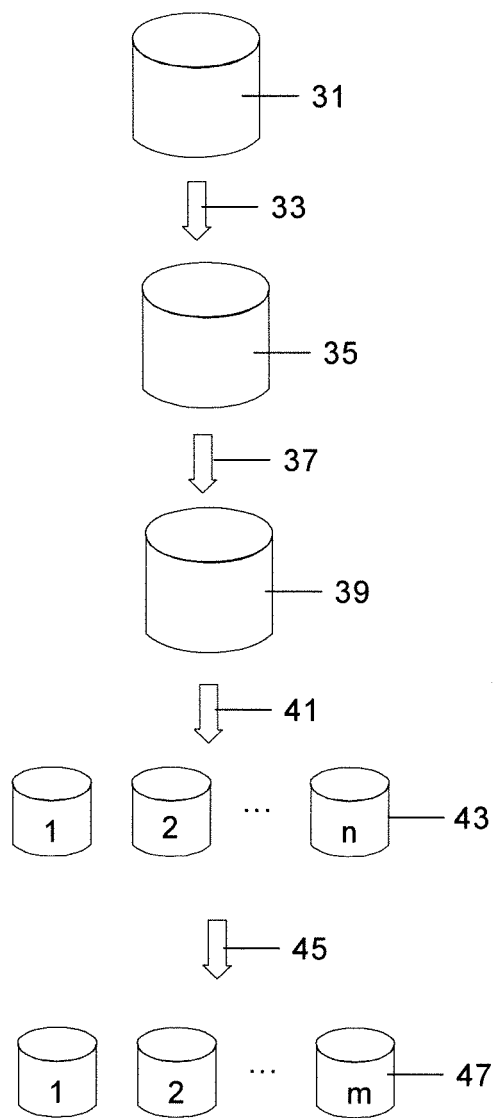


FIG. 4

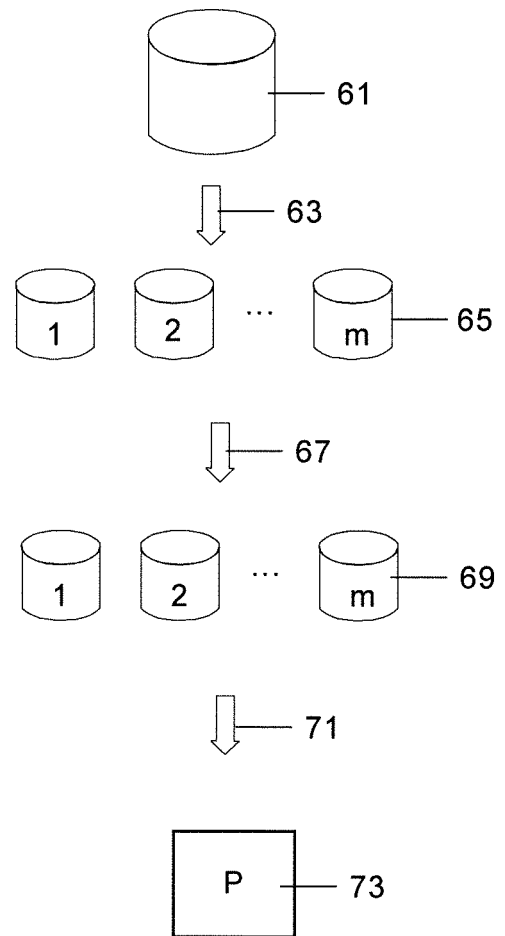


FIG. 5



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 327 488

⑫ Nº de solicitud: 200801073

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 15.04.2008

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: Ver hoja adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑯ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	CABEZÓN, I. et al. Comparison of methods for power curve modeling. Global Windpower 31.03.2004, Chicago, Illinois, EEUU. [recuperado el 15.07.2009]. Recuperado de internet: <URL: http://anemos.cma.fr/download/publications/pub_2004_paper_GlobalWINDPOWER_PowerCurve.pdf >	1-9
X	GIEBEL, Gregor. The State-Of-The-Art in Short-Term Prediction of Wind Power. A Literature Overview. Version 1.1. Project ANEMOS. 17.10.2003. [recuperado el 15.07.2009] Recuperado de internet: http://web.archive.org/web/20031017051121/http://anemos.cma.fr/download/ANEMOS_D1.1_StateOfTheArt_v1.1.pdf >	1-9
A	KARINIOTAKIS, George N. Uncertainty of short-term wind power forecasts a methodology for on- line assessment, Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 2004 International Conference on, pp. 729-736, 12-16 Sept. 2004. IEEE. ISBN: 0-9761319-1-9. INSPEC Accession Number: 8331675.	1-9
A	US 2006173623 A1 (GRZYCH et al.) 03.08.2006, todo el documento.	1-9
A	US 6975925 B1 (BARNES et al.) 13.12.2005, todo el documento.	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

14.10.2009

Examinador

P. Valbuena Vázquez

Página

1/5

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

F03D 7/04 (2006.01)

G01W 1/02 (2006.01)

G01W 1/10 (2006.01)

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

F03D, G01W

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, ELSEVIER, IEEE, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 14.10.2009

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	1-9	SÍ
	Reivindicaciones		NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones		SÍ
	Reivindicaciones	1-9	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 ha sido publicada.

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	CABEZÓN, I. et al. Comparison of methods for power curve modeling. Global Windpower, Chicago, Illinois, EEUU.	31.03.2004
D02	GIEBEL, Gregor. The State-Of-The-Art in Short-Term Prediction of Wind Power. A Literature Overview. Version 1.1. Project ANEMOS.	17.10.2003

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

De todos los documentos recuperados del estado de la técnica se considera que el D1 es el más próximo a la invención que se analiza. A continuación se comparan las reivindicaciones de la solicitud con este documento.

Primera reivindicación

El documento D1 muestra un sistema de evaluación y control del rendimiento de al menos un aerogenerador situado en un parque eólico. El aerogenerador está dotado de un sistema de gobierno de sus componentes que incluye unos primeros medios de medición de unos parámetros meteorológicos situados en el aerogenerador (ver página 4, modelo 2) y unos segundos medios de medición de la dirección del viento y de la potencia realmente producida por el aerogenerador. El parque está dotado de unos terceros medios de medición de unos parámetros meteorológicos situados en una torre meteorológica (ver modelo 1 de la página 4) situada en dicho parque eólico.

El sistema de D1 calcula la potencia característica del aerogenerador como una función de los parámetros M1 y M2 y de la dirección del viento a partir de datos proporcionados periódicamente por dichos primeros, segundos y terceros medios de medición durante una primera etapa de funcionamiento.

El sistema de D1 también calcula durante el funcionamiento normal del aerogenerador la desviación existente entre la potencia realmente producida por el aerogenerador y la potencia característica correspondiente a los valores de los parámetros primeros, terceros y a la dirección del viento proporcionados conjuntamente con el valor de la potencia real producida, aplicando la función obtenida con el primer módulo de cálculo, en el conjunto de una o más series de datos correspondientes a un número predeterminado de periodos (ver página 2, penúltimo párrafo).

Por lo tanto, la primera reivindicación presenta las siguientes diferencias con respecto a D1:

- en la solicitud se mide la orientación del aerogenerador (?), mientras que en D1 el parámetro que se emplea es la dirección del viento.

- D1 no hace alusión explícita a una unidad computerizada - D1 no hace alusión a una "desviación media" entre la potencia realmente producida y la calculada, sino que explicita más, pues se usan como parámetros el "root mean square error" (rmse), el "determination coefficient" (R2) y el error relativo con respecto a la potencia nominal del parque (ver página 3 penúltimo párrafo)

La primera diferencia no parece significativa, pues sería evidente para un experto en la materia que la orientación del aerogenerador y la dirección del viento son dos ángulos directamente relacionados, y emplear uno u otro para la correlación que nos ocupa sería una opción de diseño que no entrañaría actividad inventiva.g

Las diferencias segunda y tercera no se consideran significativas.

Por todo lo anterior, la primera reivindicación carecería de actividad inventiva tal y como se establece en el Artículo 8 de la Ley Española de Patentes, Ley 11/1986.

Hoja adicional

Segunda reivindicación

El sistema del documento D1 indica que los parámetros meteorológicos comprenden al menos la velocidad y la dirección del viento así como la presión atmosférica y la temperatura (ver página 2, segundo párrafo). Aunque el documento D1 no emplea directamente la humedad relativa, sí que se hace referencia al efecto de la densidad del aire (ver página 3, cuarto párrafo). Por lo tanto, se considera que emplear el dato de la humedad relativa, sería una opción de diseño que entraría dentro del conocimiento propio de un experto en la materia que partiera de D1 en la fecha en la que la solicitud se presentó.

Por todo ello, la segunda reivindicación carecería de actividad inventiva.

Tercera reivindicación

Esta reivindicación se caracteriza porque en el primer módulo de cálculo se obtiene la potencia característica como una función discreta en relación con intervalos predeterminados de los parámetros meteorológicos (M1 y M2) y la dirección de la orientación del aerogenerador.

El documento D1 indica en su apartado 3.2 que son conocidos los llamados "binning methods", que consisten en discretizar la velocidad y la orientación del viento medidos en la torre meteorológica. Así se obtienen potencias medias para cada intervalo de velocidad y para cada sector de la dirección del viento.

Por todo lo mencionado hasta el momento, la tercera reivindicación carecería de actividad inventiva.

Cuarta reivindicación

El documento D1 indica que para poder caracterizar el modelo de la turbina y el parque es preciso contar con un periodo de toma de datos (ver página 3, primer y segundo párrafo). Por todo lo anterior, la cuarta reivindicación carecería de actividad inventiva.

Reivindicaciones quinta, sexta y séptima

Estas reivindicaciones contienen detalles concretos relacionados con las tomas de datos. Estos detalles se consideran una opción de diseño que entrarían dentro del conocimiento propio de un experto en la materia que partiera de D1. No se considera que la elección de los valores numéricos que se recogen en estas reivindicaciones produzca un efecto técnico sorprendente o que resuelvan un problema técnico bien identificado.

Por lo tanto, estas reivindicaciones carecerían de actividad inventiva.

Reivindicaciones octava y novena

Los detalles de la octava reivindicación están recogidos en la página 2 penúltimo párrafo.

Los detalles de la novena reivindicación se consideran opciones de diseño que no entrañarían actividad inventiva con respecto a D1.

Por lo tanto, estas reivindicaciones carecerían de actividad inventiva.