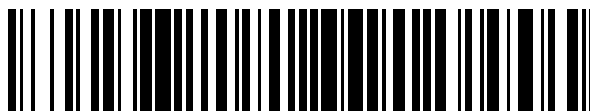


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 517 891**

51 Int. Cl.:

G01P 5/06 (2006.01)

G01P 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2009** **E 09156308 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.10.2014** **EP 2105746**

54 Título: **Método para medir la intensidad de turbulencia de una turbina de viento de eje horizontal**

30 Prioridad:

27.03.2008 JP 2008083727

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

04.11.2014

73 Titular/es:

HITACHI, LTD. (100.0%)
6-6 Marunouchi 1-chome, Chiyoda-ku
Tokyo 100-8280, JP

72 Inventor/es:

YOSHIDA, SHIGEO y
KIYOKI, SOICHIRO

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 517 891 T3

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

DESCRIPCION

Método para medir la intensidad de turbulencia de una turbina de viento de eje horizontal

5 REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

Esta solicitud reivindica, según el EPC, artículo 87, la prioridad basada en la solicitud de patente japonesa n ° de serie 2008 - 083727, presentada el 27 de marzo de 2008.

10 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un método para medir la intensidad de la turbulencia de una turbina de viento de eje horizontal.

15 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Como es bien sabido, las denominadas turbinas de viento de eje horizontal se utilizan ampliamente en equipos de generación de energía eléctrica de origen eólico. Típicamente, la turbina de viento de eje horizontal está estructurada de forma que comprende un rotor al que al menos están unidas las palas radialmente desde un cubo, una góndola en la que se apoya un rotor de forma giratoria a través de un eje principal que se extiende esencialmente en la dirección horizontal, al que está unido el cubo, y una torre que soporta la góndola de manera giratoria en la dirección de la guiñada, y que está dispuesta esencialmente en la dirección vertical.

Además, en una turbina de viento de eje horizontal convencionalmente se ha usado medios de accionamiento de la guiñada capaces de controlar la rotación de guiñada de la góndola, y unos medios de control tal como un freno de guiñada que frena la rotación de guiñada, o un freno de eje principal que frena la rotación del rotor. Por otra parte, también se están utilizando turbinas de viento de eje horizontal que tienen medios para controlar el ángulo de paso de las palas.

Un tipo de turbina de viento de eje horizontal es el tipo de turbina de viento de eje horizontal, de viento de cola, que está construida de tal manera que cuando la fuerza del viento sobre las palas hace girar el rotor, el rotor se encuentra más allá en el lado del viento de cola que la torre. Por otra parte, un tipo de turbina de viento de eje horizontal, de viento de cara, está construida de tal manera que cuando la fuerza del viento sobre las palas hace girar el rotor, el rotor se encuentra más allá en el lado del viento de cara que la torre. En la publicación de solicitud de patente japonesa n ° 2005-61963 y la publicación de solicitud de patente japonesa n ° 2006-329107 se divulga un tipo de turbina de viento de eje horizontal de viento de cola en la que está dispuesto un anemómetro en la góndola.

La cantidad de energía eléctrica que se genera mediante generación de energía eólica y el costo de dicha energía eléctrica se basa en gran medida en la escala de la turbina de viento y la velocidad del viento, por lo que hay una tendencia a aumentar continuamente el tamaño de las turbinas de viento y a instalar colectivamente turbinas de viento, como parques eólicos, en grandes áreas abiertas donde hay vientos de alta velocidad. Japón es un país montañoso, estrecho que comprende zonas densamente pobladas, por lo que el terreno que es adecuado para la generación de energía eólica se extiende por relieve complicado, tal como de como colinas.

Por otra parte, la durabilidad y el rendimiento de una turbina de viento se ven muy afectados por la intensidad de la turbulencia. Cuando la intensidad de la turbulencia es mayor que aquella para la que fue diseñada la turbina de viento, hay una tendencia a que aumente la carga de fatiga, lo que provoca un aumento en los daños por fatiga y una caída en la durabilidad.

Además, desde el aspecto de rendimiento, hay una tendencia a que se reduzca la producción hasta cerca de la producción nominal. Los parques eólicos mencionados anteriormente, y los entornos con un relieve complicado tienden a aumentar la intensidad de la turbulencia, por lo que la hora de evaluar la durabilidad y el rendimiento de una turbina de viento, además de conocer la velocidad del viento en cada ubicación de la turbina de viento, también es esencial saber la intensidad de la turbulencia en cada ubicación.

Normalmente, sólo se utiliza un anemómetro de góndola que se encuentra en la góndola al iniciar o detener el control de la turbina de viento; sin embargo, también se utiliza el anemómetro a menudo en la evaluación del rendimiento.

No obstante, es necesario que las características de la velocidad del viento que se deben obtener para el diseño de la turbina de viento apunten a la corriente de aire en el rotor.

Por lo tanto, convencionalmente, con el fin de obtener el valor de la velocidad del viento de la corriente de aire hacia el rotor de la turbina de viento, se instala un mástil (al que en lo sucesivo se hará referencia como mástil de referencia) en un lugar con una gran certeza de tener las mismas condiciones de viento que la turbina de viento, y se utiliza un anemómetro que se coloca en el mástil a una altura que es casi la misma altura del cubo de la turbina de viento.

La velocidad media del viento en el caso de un viento casi horizontal, se puede corregir a un equivalente a la velocidad media del viento de aire que fluye al rotor mediante la adopción de una correlación entre la velocidad del viento medida por el anemómetro en la góndola durante la operación de prueba, y la velocidad del viento medida por el anemómetro en el mástil de referencia.

La intensidad de la turbulencia también se puede corregir factiblemente a un equivalente a la intensidad de la turbulencia de la corriente de aire al rotor tomando la correlación entre la velocidad del viento que es medida por el anemómetro en la góndola durante la operación de prueba, y la velocidad del viento que es medida por el anemómetro en el mástil de referencia.

Sin embargo, un tipo normal de turbina de viento de eje horizontal con viento de cara tiene un anemómetro que se encuentra en el lado de viento de cola del rotor, por lo que no es posible obtener datos eficaces para la intensidad de la turbulencia. En otras palabras, no es posible evaluar la producción y la durabilidad, mientras se tiene en cuenta la intensidad de la turbulencia.

Por consiguiente, los inventores de la presente invención experimentaron midiendo la intensidad de la turbulencia de la corriente de aire al rotor usando un anemómetro en una góndola que se encuentra en el lado del viento de cara del rotor de un tipo de turbina de viento de eje horizontal con viento de cola.

La góndola es movida por el viento que recibe la turbina de viento. Mientras que la góndola está en movimiento, los valores obtenidos a partir del anemómetro en la góndola se desvían del valor medido cuando la góndola se encuentra en un estado de reposo o, en otras palabras, se desvía del valor absoluto en la medida de la velocidad de movimiento de la góndola. Sin embargo, el movimiento de la góndola es inevitable durante la medición. Por lo tanto, incluso cuando se obtiene el valor de la intensidad absoluta de la turbulencia, es necesario tener en cuenta los efectos del movimiento de la góndola con respecto al valor medido en el anemómetro de la góndola.

EP 1 793 123 A2 divulga una técnica para corregir errores de medición en datos producidos por un anemómetro situado en una góndola y para determinar la velocidad de viento de una corriente libre de a turbina de viento que implica determinar parámetros relativos a la turbina de viento y el funcionamiento de la misma, y usar los parámetro y los datos del anemómetro basado en la góndola como valores de entrada en un algoritmo para proporcionar la determinación datos de velocidad de viento corregidos.

US 2007/018457 divulga un método de funcionamiento de una turbina de viento. El método comprende la etapa de reducir la velocidad del rotor y/o la potencia del generador en respuesta a que una o más variables sobrepasen valor(es) predeterminado(s), perteneciendo las variables al grupo que consiste en la dirección relativa de la dirección horizontal del eje principal de la turbina y la turbulencia del viento, percibida por sensores externos, así como cualesquiera otras variables percibidas por uno o más sensores montados en componentes de la turbina y que perciben una condición de ese componente.

La solicitud de patente US 2003/127862 divulga un sistema de control para una planta de energía eólica que comprende medios sensores para detectar valores de medición que se usan en la cuantificación directa o indirecta de la carga de corriente y/o esfuerzo de la turbina que se produce en función de las condiciones meteorológicas y locales. Aguas abajo de dichos medios de detección, está dispuesto un sistema para procesar señales electrónicas, operativo al efecto de que la reducción de energía requerida en la condición óptima de la planta de potencia eólica se restringirá para conseguir la eficiencia económica óptima bajo las condiciones de funcionamiento normal, tanto en casos de vientos en el intervalo de la velocidad de viento nominal como en caso de altas velocidades de viento.

Teniendo en cuenta los problemas del estado de la técnica relacionado, la presente invención tiene como objetivo proporcionar un método para medir la intensidad de la turbulencia de una turbina de viento de eje horizontal que es capaz de obtener con más precisión el valor absoluto de la intensidad de la turbulencia donde el efecto del rotor es pequeño y se tiene en cuenta el efecto del movimiento de la góndola.

SUMARIO DE LA INVENCION

De acuerdo con el primer aspecto de la presente invención para resolver los problemas descritos anteriormente, se proporciona un método para medir una intensidad de la turbulencia de una turbina de viento de eje horizontal, que comprende las etapas de:

obtener valores de medición simultáneamente tanto desde un anemómetro que se encuentra en un lado del viento de cara de un rotor de la turbina de viento de eje horizontal, como de un sensor que mide un movimiento del anemómetro; y
calcular la intensidad de la turbulencia basándose en el valor de la medición de una velocidad del viento por el anemómetro, eliminando, en función del valor de medición del sensor, una parte del cambio en el valor de medición de la velocidad del viento del anemómetro causada por el movimiento del anemómetro.

En una forma de realización de la presente invención, la turbina de viento de eje horizontal es un tipo de turbina de viento de viento de cola que tiene una góndola que se encuentra en el lado de viento de cara del rotor, y el anemómetro está situado en la góndola.

5 En esta forma de realización, el sensor que mide el movimiento del anemómetro puede ser un sensor de aceleración que está situado en la góndola.

En otra forma de realización de la presente invención, la turbina de viento de eje horizontal es un tipo de turbina de viento de viento de cara que tiene una góndola que está situada en un lado de viento de cola del rotor.

10 En esta forma de realización, el método puede comprender las etapas de:

obtener datos de velocidad del viento del anemómetro y datos de aceleración del sensor de aceleración de forma simultánea a un régimen de muestreo especificado durante un período de tiempo determinado;
15 calcular un valor medio y una desviación estándar de los datos de velocidad del viento para cada período de tiempo continuo especificado;
calcular una desviación estándar de la velocidad del anemómetro en un período de tiempo que es el mismo que cada susodicho período de tiempo especificado basado en los datos de aceleración;
20 realizar una corrección restando la desviación estándar de la velocidad del anemómetro de la desviación estándar de los datos de velocidad del viento para obtener una desviación estándar corregida, y dividir la desviación estándar corregida entre el valor medio de los datos de velocidad del viento y tomar el resultado como valor de la intensidad de la turbulencia.

25 Con la presente invención, hay una ventaja en que los valores de la velocidad del viento se obtienen a partir de un anemómetro que se encuentra en el lado de viento de cara del rotor, por lo que hay poco efecto procedente del rotor, y es posible corregir la intensidad de la turbulencia basada en los valores de velocidad del viento y los valores medidos simultáneamente por un sensor de aceleración, permitiendo de este modo calcular con precisión el valor absoluto de la intensidad de la turbulencia que incluye el efecto del movimiento de la góndola.

30 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es un dibujo esquemático que muestra la configuración de la turbina de viento de eje horizontal de una forma de realización de la presente invención.

La figura 2 es un diagrama de flujo del método para medir la intensidad de la turbulencia de una forma de realización de la presente invención.

35 La figura 3 es un gráfico que muestra la correlación en un viento del mar entre la velocidad media del viento en 10 minutos del mástil de referencia y de anemómetros de la góndola en términos del valor de intervalo 90% en una forma de realización de la invención.

La figura 4 es un gráfico que muestra la correlación en un viento en tierra entre la velocidad media del viento en 10 minutos del mástil de referencia y de anemómetros de la góndola en del valor de intervalo 90% en una forma de realización de la invención.

40 La figura 5 es un gráfico que muestra la intensidad de la turbulencia (valor del intervalo 90%) con respecto a la velocidad del viento de un viento del mar y un viento en tierra en la góndola y en el mástil de referencia en una forma de realización de la invención.

45 La figura 6 es un gráfico que muestra la intensidad de la turbulencia (valor del intervalo 90%) con respecto a la velocidad del viento de un viento del mar y un viento en tierra en la góndola después de la corrección y en el mástil de referencia en una forma de realización de la invención.

La figura 7 es un diagrama de flujo que muestra el proceso de cálculo que se utiliza en una ejecución experimental de la presente invención.

50 La figura 8 es un diagrama de flujo que muestra el proceso de cálculo de un ejemplo comparativo en el que se usó un sensor de aceleración y en el que no se realizó la corrección.

La figura 9 es un diagrama de flujo de un método para medir la intensidad de la turbulencia en una ejecución experimental de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

55 A continuación se describirá la forma de realización preferida de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos. La presente invención no se limita a la forma de realización descrita a continuación.

60 La figura 1 es un dibujo esquemático que muestra la configuración de la turbina de viento de eje horizontal de una forma de realización de la presente invención. Como se muestra en la figura 1, la turbina de viento de eje horizontal 10 comprende un rotor 1 al que están unidas al menos dos palas 6 radialmente desde un cubo 7, una góndola 2 en la que el rotor 1 está soportado de manera giratoria a través de un eje principal (no mostrado en la figura) que se extiende esencialmente en la dirección horizontal, al que está unido el cubo 7, y una torre 3 que soporta la góndola 2 de forma giratoria en la dirección de la guiñada, y que está dispuesta esencialmente en la dirección vertical.

La turbina de viento de eje horizontal 10 se controla de forma que recibe el viento 8 desde el lado de la góndola 2, y el rotor 1 está situado en el lado del viento de cola de la góndola 2.

Por otra parte, un anemómetro 4 está situado sobre la góndola 2, y el anemómetro 4 mide la velocidad del viento en la góndola 2 situada en el lado del viento de cara del rotor 1. Además, en la góndola 2 está fijado un sensor de aceleración 5. El sensor de aceleración 5 detecta la aceleración de la góndola 2 en la dirección del eje principal de la góndola 2 (dirección perpendicular a la del rotor).

La figura 2 es un diagrama de flujo del método para medir la intensidad de la turbulencia de una forma de realización de la presente invención. A continuación se resume el flujo de este método con referencia a este diagrama de flujo.

En primer lugar, la medición se lleva a cabo durante un período de tiempo establecido, y los valores de medición que se obtienen de forma simultánea desde el anemómetro 4 y desde el sensor 5 a una velocidad o régimen de muestreo especificada (por ejemplo, 2 Hz) se almacenan como una base de datos (etapas S1, S2).

A continuación, sobre la base de los datos obtenidos del anemómetro 4, se calcula el valor medio de los datos durante un período continuo de tiempo especificado (por ejemplo, 10 minutos) (etapa S3), y se averigua la desviación estándar (etapa S4).

Por otra parte, sobre la base de los datos de aceleración que se obtuvieron en la etapa S2, se averigua la desviación estándar de la velocidad de la góndola 2 durante el mismo período de tiempo que el período de tiempo especificado anteriormente (etapa S5).

A continuación, la desviación estándar que se calculó en la etapa S4 se corrige mediante la desviación estándar que se ha calculado en la etapa S5 para obtener una desviación estándar corregida (etapa S6).

Finalmente, la desviación estándar corregida calculada en la etapa S6 se divide por el valor medio que se calculó en la etapa S3, y el resultado se toma como la intensidad de la turbulencia (etapa S7). La intensidad de la turbulencia calculada en la etapa S7 se convierte en la intensidad de la turbulencia absoluta que incluye el efecto del movimiento de la góndola.

A continuación se describe una ejecución experimental de este método. En la explicación que sigue, se realiza la conversión usando un mástil de referencia, y se realiza la corrección usando el sensor de aceleración 5, para calcular el valor de la intensidad de la turbulencia absoluta de la corriente de aire al rotor.

Se instaló una turbina de viento de eje horizontal 10 que tenía un diámetro de rotor de 80 m en la orilla donde había poco relieve elevado y sin grandes obstáculos, y se instaló un mástil de referencia (no mostrado en la figura) en una ubicación alejada 174 m de la turbina de viento de eje horizontal 10 a lo largo de la orilla. Se midieron la dirección del viento y velocidad del viento en el mástil de referencia a una altura de 60 m sobre el suelo, que era casi la misma altura que la del cubo 7 de la turbina de viento de eje horizontal 10.

Teniendo en cuenta la posición relativa del mástil de referencia y la turbina de viento de eje horizontal 10, y la interferencia de las turbinas de viento de los alrededores, se procesaron los datos, donde se tomó como viento del mar, el viento entrante en un intervalo con un ángulo central de 60 grados en el lado del mar del eje horizontal y se tomó como viento en tierra el viento entrante en un intervalo con un ángulo central de 60 grados en el lado de la tierra. Al comprobar con las normas internacionales IEC61400-12 relativas a la medición del rendimiento de la turbina de viento, no se requería ninguna calibración del emplazamiento o, en otras palabras, en el caso de una dirección del viento apropiada, el emplazamiento era tal que la velocidad del viento en el mástil podría considerarse la misma que la velocidad del viento en el cubo.

Los datos utilizados en este experimento fueron la velocidad del viento en la góndola, ángulo de guiñada, el ángulo de azimut de la góndola, y la producción de la turbina de viento 10, y la dirección del viento y velocidad del viento a 60 m sobre el mástil de referencia, con una frecuencia de muestreo de 2 Hz.

A continuación, se presentan los resultados de la medición.

[Medición de la Correlación con el mástil de Referencia]

La figura 3 y la figura 4 utilizan el promedio de intervalo para mostrar la correlación entre la velocidad media del viento durante 10 minutos del anemómetro 4 de la góndola y del mástil de referencia en un viento del mar y un viento en tierra. Generalmente, el valor del anemómetro de la góndola tiende a disminuir debido al efecto del empuje del rotor, y tiende a aumentar debido al efecto de la región de bajo empuje en el centro del rotor y el efecto de la góndola; donde en estos resultados de la medición, el anemómetro de la góndola muestra valores que son alrededor de 1 m/s más bajos que los del mástil de referencia en una región de la velocidad del viento que es inferior a la velocidad nominal del viento. Esta región corresponde a la región de la eficiencia óptima de la turbina de viento o, en otras palabras, la región en la que la turbina de viento opera con un coeficiente de empuje relativamente grande.

Por otra parte, a una velocidad de viento de 16 a 20 m/s, ambos coincidieron bastante bien. Sin embargo, esta región corresponde a la región en la que la turbina de viento alcanza la potencia nominal y funciona a una eficiencia y coeficiente de empuje menores. Se estima que esta correlación cambia debido al ángulo medio del viento. Sin embargo, en el caso de este emplazamiento, se considera que el viento es un viento horizontal a partir de los resultados de la medición de las condiciones del viento en tres dimensiones.

Cuando se agrupan los datos para una zona fija (intervalo), el valor medio de ese intervalo se llama la media de intervalo, y el valor en el 90% de los valores empezando en el valor más pequeño se llama valor 90% del intervalo. En el caso de buscar la intensidad de la turbulencia para un intervalo de velocidad del viento que tiene una anchura de un 1 m / s, se recogen datos para las velocidades del viento, por ejemplo, desde 5,5 hasta 6,5 m/s, donde el valor medio de la intensidad de la turbulencia para esos datos se convierte en la media de intervalo, y el valor en el 90% de los valores desde el valor más pequeño es el valor 90% del intervalo para la intensidad de la turbulencia.

[Medición de la intensidad de la turbulencia]

La figura 5 muestra la intensidad de la turbulencia (valor 90% del intervalo) con respecto a la velocidad del viento de un viento del mar y de un viento en tierra en la góndola y en el mástil de referencia. Esta medición toma el valor medio y la desviación estándar encontrada en las etapas S3 y S4 como el valor medio y la desviación estándar durante 10 minutos. La pluralidad de valores medios en 10 minutos que entran en el intervalo de cada 1 m/s en el eje horizontal se disponen ordenadamente desde el valor más pequeño, y se calcula el valor que corresponde al valor en el 90% de los valores (valor 90% del intervalo), como se indica por las marcas de la figura 5. Esto corresponde a la intensidad de la turbulencia de referencia de la góndola.

Esta intensidad de la turbulencia muestra valores más bajos en comparación con la intensidad de la turbulencia que corresponde a clases de velocidad del viento 1 (A) a 3 (C) de la norma IEC61400-1, ed. 3. Se muestra que un viento de mar tiene una tendencia similar a la intensidad de la turbulencia de IEC. Sin embargo, al aumentar la velocidad de viento para un viento en tierra, la intensidad de la turbulencia tiene una tendencia a aumentar. Cuando se compara con un viento en tierra, la intensidad de la turbulencia de un viento del mar es notablemente baja.

La figura 5 muestra la intensidad de la turbulencia para una velocidad del viento de acuerdo con el anemómetro 4 de la góndola junto con el valor 90% del intervalo de los valores medidos en el mástil. El eje horizontal se convierte en la velocidad del viento del mástil de acuerdo con la correlación dada en la figura 3 y la figura 4. Los valores coinciden generalmente tanto para un viento del mar como para un viento en tierra; sin embargo, el valor de la intensidad de turbulencia de referencia de la góndola es un valor un poco más alto.

A continuación, la intensidad de la turbulencia del anemómetro 4 de la góndola se corrige con el movimiento de la góndola. Los datos de aceleración medidos por el sensor de aceleración 5 de la góndola 2 se desglosan según la frecuencia, y se eliminan los componentes de larga frecuencia de 1 minuto o mayor, que se cree que se ven poco afectados por las perturbaciones. Por otra parte, para cada componente de frecuencia, la velocidad se deduce de la aceleración, y se determina la desviación estándar de la velocidad de góndola integrando la densidad espectral de potencia de la velocidad a lo largo de todo el dominio de frecuencias. Al encontrar la intensidad de la turbulencia de la góndola, la desviación estándar de la velocidad del viento de góndola se corrige con la desviación estándar de la velocidad en la góndola. En la figura 6 se muestran los resultados del análisis, y en la figura 2 se muestra el flujo de análisis. El eje horizontal de la figura 6 se convierte en la velocidad del viento en el mástil de acuerdo con la correlación dada en la figura 3 y la figura 4. Al eliminar el efecto del movimiento de la góndola, el valor se acerca al valor medido del mástil.

Con el procedimiento descrito anteriormente, se demostró que es posible medir la intensidad de la turbulencia usando el anemómetro 4 de la góndola y el sensor de aceleración 5. La correlación se muestra en la figura 3 y la figura 4 es efectiva en un lugar donde el viento es casi un viento horizontal. Sin embargo, cuando la naturaleza tridimensional del viento es más importante, en particular, dado que se puede suponer que la interferencia de la góndola varía, hay que señalar que no se puede aplicar la correlación descrita anteriormente como tal.

Se explicarán las ecuaciones que se utilizan en el proceso de cálculo del ejemplo que se aplicó en la ejecución experimental de la invención descrita anteriormente.

En primer lugar, se explicará el proceso para calcular la desviación estándar σ_v de la velocidad de la góndola. Como se muestra en la Ecuación 1, se realiza la transformación de Fourier a los datos $a(t)$ de la aceleración de la góndola, desglosados por tiempo, que se divide en unidades de 10 minutos como se describió anteriormente. $A(\omega)$ corresponde a la densidad espectral de potencia de la aceleración de la góndola. Aquí, (ω) es la velocidad angular.

[Ecuación 1]

$$F(a(t)) = A(\omega)$$

Transformación de Fourier

A continuación, se deduce la amplitud C_{ai} del componente la frecuencia (ω_i) de la aceleración góndola a partir de la Ecuación 2 (i es un número entero).

[Ecuación 2]

$$C_{ai} = \sqrt{A(\omega_i) \Delta \omega_i}$$

A continuación, se deduce la amplitud C_{vi} del componente la frecuencia (ω_i) de la aceleración góndola a partir de la Ecuación 3.

[Ecuación 3]

$$C_{vi} = C_{ai} / \omega_i$$

Después se deduce la densidad espectral de potencia $V(\omega)$ de la velocidad de góndola a partir de la Ecuación 4.

[Ecuación 4]

$$V(\omega_i) = C_{vi}^2 / \Delta \omega_i$$

Por último, se calcula la desviación estándar δv de la velocidad de góndola a partir de la Ecuación 5.

[Ecuación 5]

$$\delta v = \sqrt{\int_0^\infty V(\omega) d\omega}$$

La desviación estándar δv de la velocidad de la góndola que se obtiene como se describe anteriormente se aplica como se muestra en la figura 7.

En otras palabras, sobre la base de los datos de velocidad de viento que se obtuvieron en el anemómetro, se realiza un procesamiento estadístico en unidades de 10 minutos como se ha descrito anteriormente para obtener el valor medio de la velocidad del viento ($\bar{V}_N$) y la desviación estándar δN , y tomando el valor absoluto de la diferencia entre la desviación estándar de la velocidad del viento δN y la desviación estándar δv de la velocidad de la góndola como la desviación estándar corregida δc , esta desviación estándar corregida δc y el valor medio de la velocidad del viento ($\bar{V}_N$) se transforman ambos mediante la función de correlación ρ entre la velocidad de la góndola y la del mástil de referencia para obtener la desviación estándar corregida y transformada δH y la velocidad media del viento transformada ($\bar{V}_H$). La intensidad de la turbulencia I_H se obtiene entonces dividiendo la desviación estándar δH corregida y transformada entre la velocidad del viento media transformada ($\bar{V}_H$).

En la figura 8 se muestra un ejemplo del flujo para el cálculo de la intensidad de la turbulencia mediante la realización de la conversión usando el mástil de referencia sin realizar la corrección usando el sensor de aceleración.

Mediante la aplicación de la presente invención como se ha descrito anteriormente, hay poco efecto del rotor, y al tener en cuenta el efecto del movimiento de la góndola, se puede obtener la intensidad de la turbulencia con mayor precisión.

Al obtener la intensidad de la turbulencia de forma precisa, resulta posible estimar los daños por fatiga con mayor precisión, y por tanto evaluar con más precisión la durabilidad a lo largo de la vida útil esperada de la turbina de viento. Cuando se sabe que la durabilidad es insuficiente, es posible tomar medidas a priori. En otras palabras, cuando la intensidad de la turbulencia excede los valores de diseño, mediante la aplicación de la presente invención y la obtención precisa de la intensidad de la turbulencia, se puede conocer con mayor precisión el daño por fatiga durante la vida esperada de la turbina de viento. En el caso en que la intensidad de la turbulencia excede el valor de diseño, mediante la adopción de medidas, tales como operar la turbina de viento con restricciones para hacer que la intensidad de la turbulencia sea menor que el valor de diseño, se puede prevenir un imprevisto colapso o algo similar.

Al almacenar los datos de velocidad del viento del anemómetro de la góndola y los datos de aceleración de la góndola en cada ubicación e identificar con precisión la intensidad de la turbulencia mediante el uso de la presente invención, es posible conocer con precisión el rendimiento de la turbina de viento con respecto a la intensidad de la turbulencia, y por lo tanto mejorar la precisión antes de interpretar la cantidad estimada de generación de energía.

5 En la forma de realización descrita anteriormente, se unía un sensor de aceleración 5 a la góndola 2. Sin embargo, siempre y cuando sea posible conocer la aceleración del anemómetro, el sensor de aceleración puede unirse a la torre 3.

10 Por otra parte, en la forma de realización descrita anteriormente, se utilizó un sensor de aceleración 5, sin embargo, siempre y cuando sea posible obtener la velocidad del anemómetro requerida para la corrección, se puede utilizar un sensor de velocidad o un sensor de posición en lugar del sensor de aceleración.

15 En la forma de realización descrita anteriormente, se explicó el caso de usar un tipo de turbina de viento con viento de cola; sin embargo, la presente invención también se podría aplicar a un tipo de turbina de viento con viento de cara. En ese caso, el anemómetro mide la velocidad del viento extendiendo un brazo fuera del extremo de la punta del cubo hacia el lado del viento de cara, o mide la velocidad del viento en el cubo con medios tales como la colocación de un tubo de Pitot en el cubo.

REIVINDICACIONES

1. Un método para medir una intensidad de turbulencia de una turbina de viento de eje horizontal (10), que comprende una etapa de obtención de un valor de medida de un anemómetro (4), **caracterizado porque:**

el anemómetro (4) está situado en un lado del viento de cara de un rotor (1) de la turbina de viento de eje horizontal (10), y porque el método comprende además las etapas de:

obtener un valor de medición de un sensor que mide el movimiento del anemómetro (4); y
calcular la intensidad de la turbulencia basándose en el valor de la medición de una velocidad del viento en el anemómetro (4), eliminando, en función de un valor de medición en el sensor, una porción de la variación en el valor de medición de la velocidad del viento del anemómetro (4) causada por el movimiento del anemómetro (4).

2. El método para medir la intensidad de la turbulencia de la turbina de viento de eje horizontal (10) de la reivindicación 1, en el que la turbina de viento de eje horizontal (10) es un tipo de turbina de viento con viento de cola que incluye una góndola (2) que se encuentra en el lado del viento de cara del rotor (1), y el anemómetro (4) está situado en la góndola (2).

3. El método para medir la intensidad de la turbulencia de la turbina de viento de eje horizontal (10) de la reivindicación 2, en el que el sensor que mide el movimiento del anemómetro (4) es un sensor de aceleración (5) que se encuentra en la góndola (2).

4. El método para medir la intensidad de la turbulencia de la turbina de viento de eje horizontal (10) de la reivindicación 3, **caracterizado por** las etapas de:

obtener datos de velocidad del viento a partir del anemómetro (4) y datos de aceleración del sensor de aceleración (5) a un régimen de muestreo especificado durante un período de tiempo determinado;
calcular un valor medio y una desviación estándar de los datos de velocidad del viento para el período de tiempo especificado;
calcular una desviación estándar de la velocidad del anemómetro (4) en el período de tiempo especificado basándose en los datos de aceleración;
realizar una corrección restando la desviación estándar de la velocidad del anemómetro (4) de la desviación estándar de los datos de velocidad del viento para obtener una desviación estándar corregida; y
dividir la desviación estándar corregida entre el valor medio de los datos de velocidad del viento y tomar el resultado como el valor de la intensidad de la turbulencia.

5. El método para medir la intensidad de la turbulencia de la turbina de viento de eje horizontal (10) de la reivindicación 1, en el que la turbina de viento de eje horizontal (10) es un tipo de turbina de viento de viento de cara que tiene una góndola (2) que está situada en un lado de viento de cola del rotor (1).

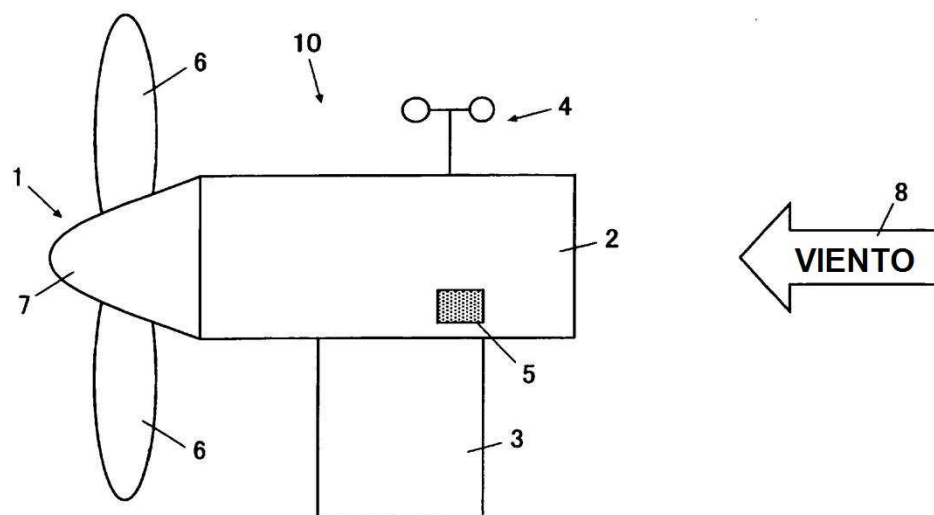


FIG.1

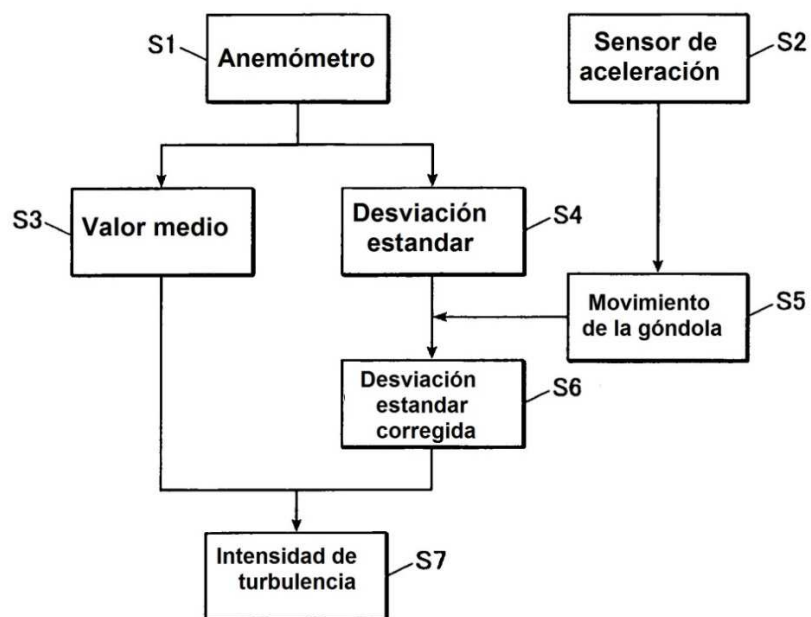


FIG.2

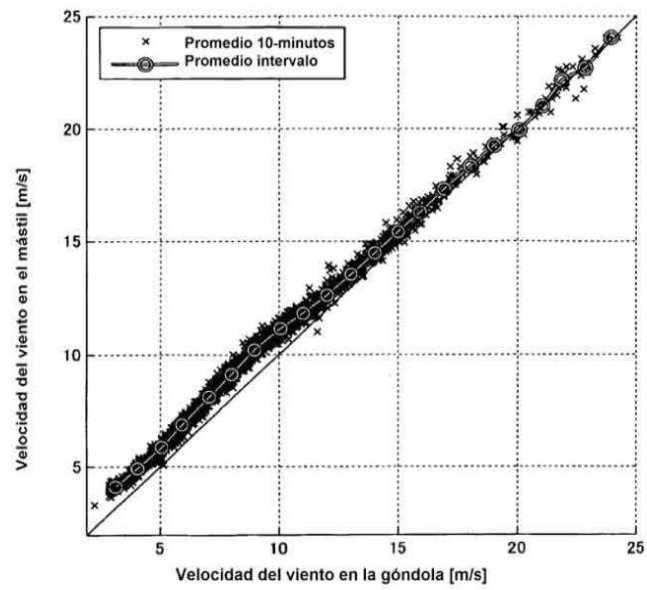


FIG.3

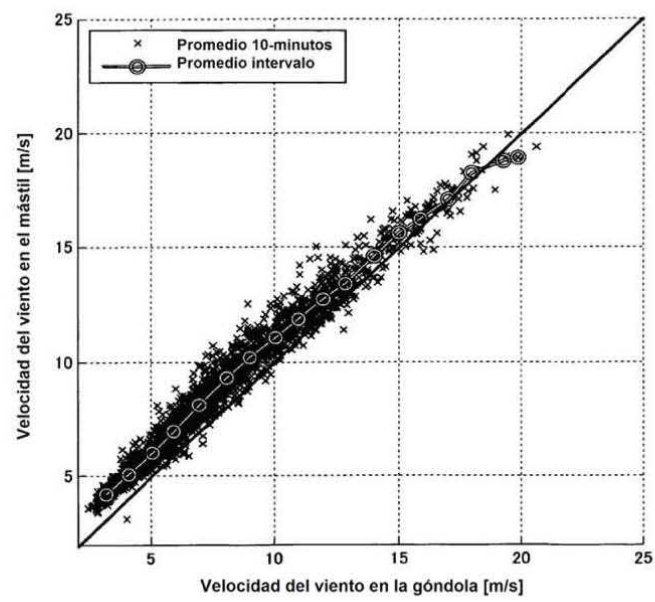


FIG.4

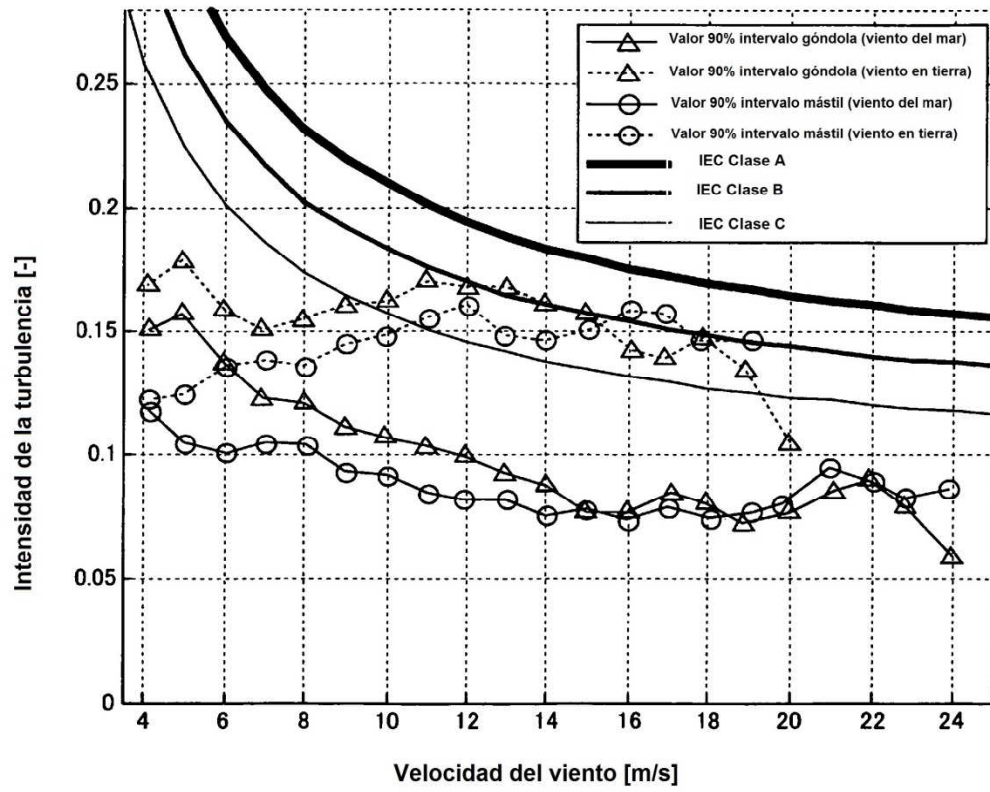


FIG.5

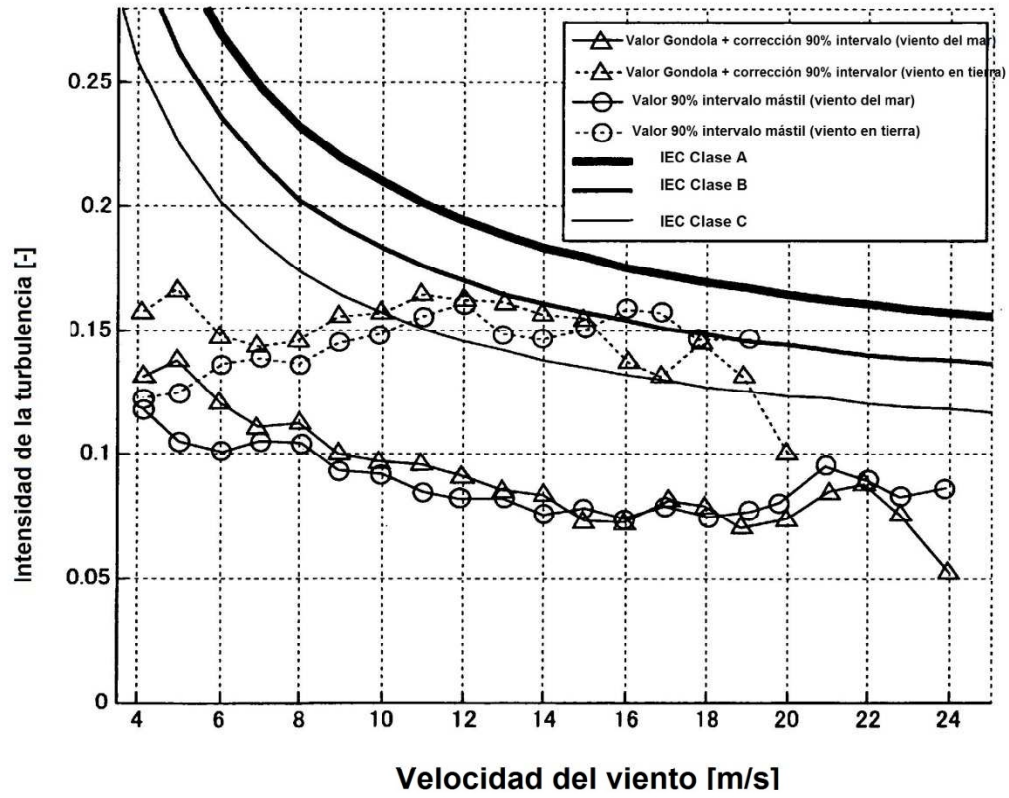


FIG.6

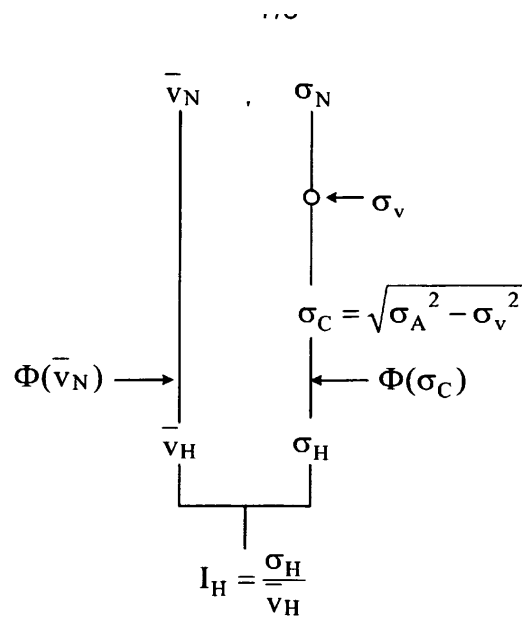


FIG.7

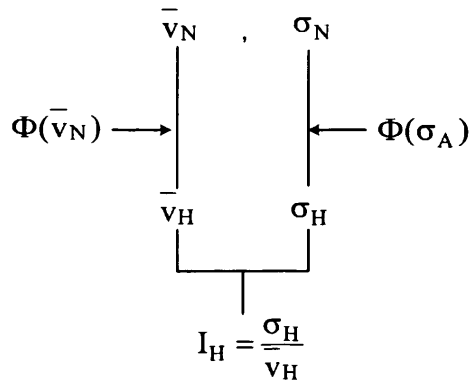


FIG.8

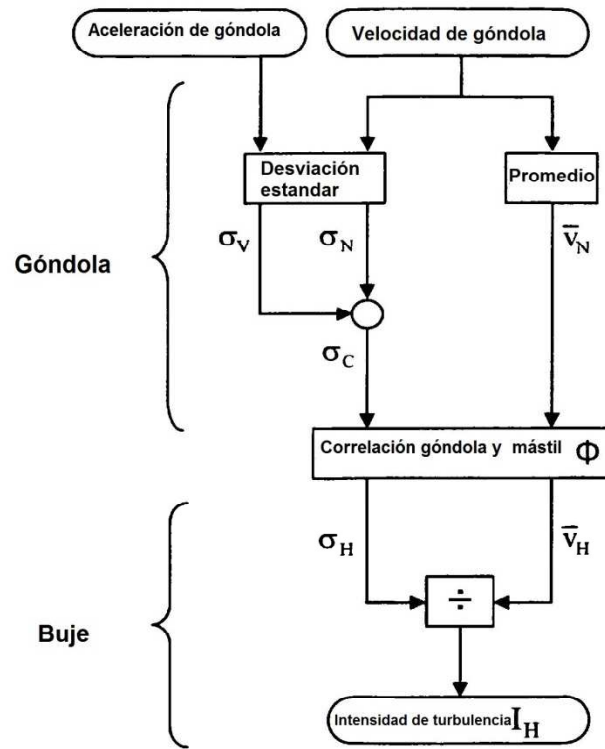


FIG.9