

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 960 600**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.07.2018 PCT/CN2018/095244**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.09.2019 WO19165743**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.07.2018 E 18908257 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2023 EP 3696404**

54 Título: **Método, dispositivo y sistema para determinar desviación de ángulo con respecto al viento y corregir el ángulo con respecto al viento**

30 Prioridad:

28.02.2018 CN 201810167196

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

05.03.2024

73 Titular/es:

**BEIJING GOLDWIND SCIENCE & CREATION
WINDPOWER EQUIPMENT CO., LTD. (100.0%)
No. 19 Kangding Road Beijing Economic &
Technological Development Zone Daxing District
Beijing 100176, CN**

72 Inventor/es:

XUE, JIANGUO

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 960 600 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método, dispositivo y sistema para determinar desviación de ángulo con respecto al viento y corregir el ángulo con respecto al viento

5

Campo técnico

La presente divulgación se refiere en general al campo técnico de la generación de energía eólica, y en particular, a un método y un aparato para determinar una desviación en un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica, y un método y un sistema para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica.

10

Antecedentes

En la industria de generación de energía eólica convencional, generalmente se adopta un diseño de eje horizontal en una corriente principal de turbinas eólicas con una potencia superior a un nivel de megavatios. Es necesario dotar a la turbina eólica de un sistema de guiñada en el diseño de eje horizontal. Una función principal del sistema de guiñada es mantener la turbina eólica a barlovento durante la generación de energía, y, por lo tanto, es necesario que el sistema de guiñada se mantenga siguiendo una dirección del viento. Como se muestra en la figura 1, el sistema de guiñada detecta generalmente un ángulo de alineación con respecto al viento (un ángulo entre la dirección del viento y un eje de una góndola) a través de un sensor de dirección del viento (por ejemplo, una veleta) instalado en la parte superior de la góndola.

15

20

Un error entre un ángulo de alineación con respecto al viento detectado por el sistema de guiñada de la turbina eólica y un ángulo de alineación con respecto al viento real es causado por un error de instalación inicial, un fallo debido al funcionamiento a largo plazo, y una influencia de una estela de un impulsor. Por lo tanto, la turbina eólica no puede mantenerse a barlovento basándose en un ángulo de guiñada que se determina a partir del ángulo de alineación con respecto al viento detectado por el sistema de guiñada. No solo se reduce la generación de energía de la turbina eólica, sino que también se acentúa un desequilibrio de carga de la turbina eólica. Por lo tanto, es particularmente importante cómo determinar una desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado de manera fácil y efectiva.

25

30

El documento de patente con el n.º de publicación US 2018/003153 A1 da a conocer un método para determinar un ángulo de compensación de calibración para una turbina eólica, donde el ángulo de compensación de calibración corresponde a una eficiencia máxima calculada basándose en una velocidad del viento medida, y puede actualizarse para cada contenedor de potencia cuando transcurre el tiempo.

35

El documento de patente con el n.º de publicación CN 105548614 A da a conocer un método para calibrar el ángulo de alineación con respecto al viento, donde el ángulo de alineación con respecto al viento corresponde a la potencia máxima que se adquiere para cada sección de velocidad del viento, y la velocidad del viento y el ángulo de alineación con respecto al viento adquiridos se ajustan basándose en una ecuación polinómica.

40

Sumario

Un método y un aparato para determinar una desviación en un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica, y se proporcionan un método y un sistema para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica según realizaciones de la presente divulgación, que son capaces de determinar una desviación en un ángulo de alineación con respecto al viento detectado de una turbina eólica de manera fácil y efectiva, y corregir un ángulo de alineación con respecto al viento detectado posteriormente basándose en la desviación determinada; caracterizados porque: determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento comprende: determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para una i-ésima sección de velocidad del viento, basándose en la potencia promedio de cada sección de ángulo correspondiente a la i-ésima sección de velocidad del viento, en donde la i-ésima sección de velocidad del viento sirve como la sección de velocidad del viento; en donde la potencia promedio P_{ij} de una j-ésima sección de ángulo correspondiente a la i-ésima sección de velocidad del viento es un promedio de potencia de salida en todos los momentos en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento y la alineación con respecto al viento detectada pertenece a la j-ésima sección de ángulo; y en donde un intervalo de velocidad del viento predeterminado se divide en M secciones de velocidad del viento con un primer intervalo predeterminado, un intervalo de ángulo predeterminado se divide en N secciones de ángulo con un segundo intervalo predeterminado, en donde i y j son números enteros, $M \geq i > 0$, y $N \geq j > 0$.

45

50

55

60

Se proporciona un método para determinar una desviación en un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica según una realización de la presente divulgación, incluyendo: obtener datos de funcionamiento históricos de una turbina eólica dentro de un período de tiempo, donde los datos de funcionamiento históricos incluyen velocidades del viento ambiental, ángulos de alineación con respecto al viento detectados, y potencia de salida que están en diferentes momentos en el período de tiempo; y determinar la desviación en el ángulo de alineación con

65

respecto al viento para una sección de velocidad del viento, basándose en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado y la potencia de salida en un momento dentro del período de tiempo, donde la velocidad del viento ambiental en dicho momento pertenece a la sección de velocidad del viento.

5 Se proporciona un método para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica según otra realización de la presente divulgación, incluyendo: obtener una velocidad del viento ambiental actual y un ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual de una turbina eólica; determinar una sección de velocidad del viento a la que pertenece la velocidad del viento ambiental actual; y corregir el ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual basándose en una desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada, para determinar un ángulo de guiñada de la turbina eólica basándose en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige; donde la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada se obtiene basándose en el método mencionado anteriormente para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica, y la sección de velocidad del viento determinada sirve como la sección de velocidad del viento en el método mencionado anteriormente.

20 Se proporciona un aparato para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica según otra realización de la presente divulgación, incluyendo: una unidad de obtención de datos históricos, configurada para obtener datos de funcionamiento históricos de una turbina eólica dentro de un período de tiempo, donde los datos de funcionamiento históricos incluyen velocidades del viento ambiental, ángulos de alineación con respecto al viento detectados, y potencia de salida que están en diferentes momentos en el período de tiempo; y una unidad de determinación de desviación, configurada para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para una sección de velocidad del viento, basándose en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado y la potencia de salida en un momento dentro del período de tiempo, donde la velocidad del viento ambiental en dicho momento pertenece a la sección de velocidad del viento.

30 Se proporciona un sistema para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica según otra realización de la presente divulgación, incluyendo: un módulo de obtención de datos, configurado para obtener una velocidad del viento ambiental actual y un ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual de una turbina eólica; un módulo de determinación de sección de velocidad del viento, configurado para determinar una sección de velocidad del viento a la que pertenece la velocidad del viento ambiental actual; y el aparato mencionado anteriormente para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento; y un módulo de corrección, configurado para corregir el ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual basándose en la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada, para determinar un ángulo de guiñada de la turbina eólica basándose en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige; donde la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento se emite desde el aparato, y la sección de velocidad del viento determinada sirve como la sección de velocidad del viento para el aparato.

40 Se proporciona un medio de almacenamiento legible por ordenador que almacena un programa informático según otra realización de la presente divulgación. El método mencionado anteriormente para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica se realiza cuando un procesador ejecuta el programa informático.

45 Se proporciona un dispositivo informático según otra realización a modo de ejemplo de la presente divulgación. El dispositivo informático incluye un procesador y una memoria que almacena un programa informático. El método mencionado anteriormente para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica se realiza cuando el procesador ejecuta el programa informático.

50 Se proporciona un medio de almacenamiento legible por ordenador que almacena un programa informático según otra realización de la presente divulgación. El método mencionado anteriormente para corregir el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica se realiza cuando un procesador ejecuta el programa informático.

55 Se proporciona un sistema de control de una turbina eólica según otra realización de la presente divulgación. El sistema de control incluye un procesador y una memoria que almacena un programa informático. El método mencionado anteriormente para corregir el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica se realiza cuando el procesador ejecuta el programa informático.

60 El método y el aparato para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica, y el método y el sistema para corregir el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica se proporcionan según realizaciones de la presente divulgación. La desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento puede determinarse para cada sección de velocidad del viento. La desviación determinada puede usarse para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento detectado posteriormente, en el caso de que una velocidad del viento ambiental correspondiente pertenezca a dicha sección de velocidad del viento. De este modo, se mejora un efecto de corrección del ángulo de alineación con respecto al viento detectado. La turbina eólica puede seguir una dirección del viento a través del control de guiñada basándose en un ángulo de guiñada determinado a partir del ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige.

En lo sucesivo en el presente documento, una parte de aspectos y/o ventajas adicionales de la presente divulgación se ilustra en la descripción. Los otros aspectos y/o ventajas de la presente divulgación son evidentes a partir de la descripción, o pueden obtenerse mediante la puesta en práctica basándose en la presente divulgación.

5

Breve descripción de los dibujos

En lo sucesivo en el presente documento, los dibujos se describen junto con realizaciones, y los objetivos y características mencionados anteriormente y otros en las realizaciones de la presente divulgación serán más claros.

10

La figura 1 es un diagrama esquemático de detección de una alineación con respecto al viento mediante una veleta en tecnología convencional;

15

la figura 2 es un diagrama de flujo de un método para determinar una desviación en un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica según una realización de la presente divulgación;

la figura 3 es un gráfico estadístico de la potencia promedio de cada sección de ángulo correspondiente a cada sección de velocidad del viento según una realización de la presente divulgación;

20

la figura 4 es un diagrama de flujo de un método para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica según una realización de la presente divulgación;

la figura 5 es un diagrama de bloques de un aparato para determinar una desviación en un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica según una realización de la presente divulgación; y

25

la figura 6 es un diagrama de bloques de un sistema para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica según una realización de la presente divulgación.

Descripción detallada

30

Se hace referencia a realizaciones de la presente divulgación para detalles. Un mismo número de referencia siempre se refiere a un mismo componente cuando se ilustran ejemplos de las realizaciones en los dibujos. A continuación en el presente documento, se ilustran realizaciones con referencia a los dibujos para explicar la presente divulgación.

35

La figura 2 es un diagrama de flujo de un método para determinar una desviación en un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica según una realización de la presente divulgación.

Se hace referencia a la figura 2. En la etapa S101, se obtienen datos de funcionamiento históricos de una turbina eólica dentro de un período de tiempo.

40

Los datos de funcionamiento históricos incluyen velocidades del viento ambiental, ángulos de alineación con respecto al viento detectados, y potencia de salida que están en diferentes momentos (es decir, puntos de toma de muestras) en el período de tiempo. En una realización, los puntos de toma de muestras adyacentes pueden estar espaciados por una duración predeterminada (es decir, un período de toma de muestras puede servir como la duración predeterminada). Por ejemplo, la duración predeterminada puede ser de 10 minutos.

45

La velocidad del viento ambiental es una velocidad del viento de un entorno en el que se ubica la turbina eólica. El ángulo de alineación con respecto al viento detectado es un ángulo de alineación con respecto al viento que se detecta por un aparato de hardware (por ejemplo, un sensor de dirección del viento). La potencia de salida es la potencia generada por la turbina eólica.

50

En una realización, el período de tiempo puede ser un período de tiempo en el que la turbina eólica funciona normalmente, lo que excluye un fallo de la turbina eólica, arranque y detención de la turbina eólica, y funcionamiento de potencia limitada de la turbina eólica.

55

En una realización, los datos de funcionamiento históricos de la turbina eólica dentro del período de tiempo pueden obtenerse de un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), u obtenerse de un sistema de control principal de la turbina eólica.

60

En la etapa S102, la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento se determina para cada sección de velocidad del viento basándose en los datos de funcionamiento históricos obtenidos. La desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento se determina para una sección de velocidad del viento, basándose en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado y la potencia de salida en un momento dentro del período de tiempo, donde la velocidad del viento ambiental en dicho momento pertenece a la sección de velocidad del viento.

65

En una realización, la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para cada sección de velocidad del

viento puede usarse para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento que posteriormente se detecta, en el caso de que una velocidad del viento ambiental adquirida posteriormente pertenece a la sección de velocidad del viento.

5 En una realización, determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento puede incluir una siguiente etapa. La desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento se determina para una i-ésima sección de velocidad del viento basándose en la potencia promedio de cada sección de ángulo correspondiente a la i-ésima sección de velocidad del viento, donde la i-ésima sección de velocidad del viento sirve como la sección de velocidad del viento. La potencia promedio P_{ij} de una j-ésima sección de ángulo correspondiente a la i-ésima sección de velocidad del viento es un promedio de potencia de salida en todos los momentos, en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento y la alineación con respecto al viento detectada pertenece a la j-ésima sección de ángulo.

10 Un intervalo de velocidad del viento predeterminado se divide en M secciones de velocidad del viento, con un primer intervalo predeterminado. Un intervalo de ángulo predeterminado se divide en N secciones de ángulo, con un segundo intervalo predeterminado, donde i y j son números enteros, $M \geq i > 0$, y $N \geq j > 0$. En una realización, el intervalo de velocidad del viento predeterminado puede determinarse basándose en velocidades del viento para arrancar y detener la turbina eólica. Por ejemplo, el intervalo predeterminado de velocidad del viento es desde una velocidad del viento para arrancar la turbina eólica hasta una velocidad del viento para detener la turbina eólica.

15 La figura 3 es un gráfico estadístico de la potencia promedio de cada sección de ángulo correspondiente a cada sección de velocidad del viento según una realización de la presente divulgación. En la figura 3, un eje x indica una velocidad del viento. Específicamente, el intervalo predeterminado de velocidad del viento es de desde 2,75 m/s hasta 15,75 m/s, el primer intervalo predeterminado es 0,5 m/s, y, por lo tanto, el intervalo predeterminado de velocidad del viento se divide en 28 secciones de velocidad del viento. Un eje y indica un ángulo. Específicamente, el intervalo de ángulo predeterminado es de desde -11° hasta 11° , el segundo intervalo predeterminado es 2° , y, por lo tanto, el intervalo de ángulo predeterminado se divide en 13 secciones de ángulo. Un eje z indica potencia promedio. En una realización específica, cada sección de velocidad del viento corresponde a N secciones de ángulo (N es igual a 13 en la figura 3). Un valor de coordenadas del eje z de cada sección de ángulo correspondiente a cada sección de velocidad del viento es un promedio de potencia de salida en todos los momentos, en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a dicha sección de velocidad del viento y el ángulo de alineación con respecto al viento detectado pertenece a dicha sección de ángulo.

20 En una realización preferible, dos matrices A y B de un tamaño $M \times N$ pueden estar predefinidas. Un elemento ubicado en una i-ésima fila y una j-ésima columna en la matriz A almacena la acumulación de potencia de salida en todos los momentos, dentro del período de tiempo, en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento y los ángulos de alineación con respecto al viento detectados pertenecen a la j-ésima sección de ángulo. Un elemento ubicado en una i-ésima fila y una j-ésima columna en la matriz B almacena una cantidad de todos los momentos, dentro del período de tiempo, en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento y los ángulos de alineación con respecto al viento detectados pertenecen a la j-ésima sección de ángulo. Por lo tanto, P_{ij} puede calcularse basándose en la matriz A y la matriz B. En esta realización, se ignora un factor relevante con respecto a una secuencia de los datos de funcionamiento históricos obtenidos, y, por lo tanto, puede reducirse eficazmente la cantidad de datos almacenados. Se facilita que el método para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica se implemente en línea.

25 En una realización, determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento puede incluir una siguiente etapa. La desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para una i-ésima sección de velocidad del viento se determina basándose en la potencia promedio de todas las secciones de ángulo correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento y la potencia de la turbina eólica orientada a barlovento para la i-ésima sección de velocidad del viento. La potencia de la turbina eólica orientada a barlovento para la i-ésima sección de velocidad del viento se obtiene basándose en los datos de funcionamiento históricos en todos los momentos, dentro del período de tiempo, en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento.

30 En una realización, determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la i-ésima sección de velocidad del viento puede incluir una siguiente etapa. La potencia promedio de las N secciones de ángulo correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento, y medianas de las N secciones de ángulo, se ajustan basándose en la ecuación (1), para obtener la desviación α_i en el ángulo de alineación con respecto al viento para la i-ésima sección de velocidad del viento y la potencia $P_{i\text{máx}}$ de la turbina eólica orientada a barlovento para la i-ésima sección de velocidad del viento.

$$P_{ij} = P_{i\text{máx}} \cos^3(\theta_{ij} - \alpha_i) \quad (1)$$

35 En la ecuación (1), θ_{ij} indica la mediana de la j-ésima sección de ángulo correspondiente a la i-ésima sección de

velocidad del viento, es decir, la mediana de la j-ésima sección de ángulo. $P_{i\text{máx}}$ indica la potencia de la turbina eólica orientada a barlovento para la i-ésima sección de velocidad del viento, que se refleja por los datos de funcionamiento históricos en todos los momentos en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento.

5 Específicamente, una serie de pares de datos de P_{ij} y θ_{ij} (es decir, $(P_{i1}, \theta_{i1}), (P_{i2}, \theta_{i2}), (P_{i3}, \theta_{i3}), \dots, (P_{iN}, \theta_{iN})$) se someten a ajuste de curva (por ejemplo, se ajustan a través de un algoritmo de mínimos cuadrados) basándose en la ecuación (1), para obtener las incógnitas α_i y $P_{i\text{máx}}$. Debe entenderse que un par de datos correspondiente (P_{ia}, θ_{ia}) no se usa para el ajuste, en el caso de que no haya un momento en el que la velocidad del viento ambiental pertenezca a la i-ésima sección de velocidad del viento y el ángulo de alineación con respecto al viento detectado pertenezca a una a-ésima sección de ángulo (es decir, no hay P_{ia}). En una realización, un par de datos correspondiente (P_{ia}, θ_{ia}) puede no usarse para el ajuste, en el caso de que una cantidad de todos los momentos, en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento y el ángulo de alineación con respecto al viento detectado pertenece a una a-ésima sección de ángulo, es menor que un número predeterminado.

10 En una realización, θ_{ij} en la ecuación (1) puede indicar alternativamente un promedio de los ángulos de alineación con respecto al viento detectados en todos los momentos, dentro del período de tiempo, en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento y el ángulo de alineación con respecto al viento detectado pertenece a la j-ésima sección de ángulo.

20 En otra realización, determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la i-ésima sección de velocidad del viento puede incluir las siguientes etapas. La desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento se obtiene para cada par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento. La desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la i-ésima sección de velocidad del viento se determina basándose en la desviación obtenida en el ángulo de alineación con respecto al viento para cada par de secciones de ángulo simétrico.

30 En una realización, la etapa de obtener la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para cada par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento puede implementarse de la siguiente manera. La desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para un par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento puede determinarse basándose en la potencia promedio de ambas secciones de ángulo que están incluidas en el par de ángulos simétricos correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento. Cada par de secciones de ángulo simétrico incluye dos secciones de ángulo que son simétricas con respecto a una sección de ángulo de referencia, y la sección de ángulo de referencia es una de las N secciones de ángulo. Por ejemplo, en el caso de que la sección de ángulo de referencia es $[-1^\circ, 1^\circ)$, secciones de ángulo $[-3^\circ, -1^\circ)$ y $[1^\circ, 3^\circ)$ son un par de secciones de ángulo simétrico, y secciones de ángulo $[-5^\circ, -3^\circ)$ y $[3^\circ, 5^\circ)$ son un par de secciones de ángulo simétrico.

40 En una realización, pueden promediarse las desviaciones obtenidas en el ángulo de alineación con respecto al viento para todos los pares de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento, para obtener la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la i-ésima sección de velocidad del viento.

45 En una realización, la etapa de obtener la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para el par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento puede incluir una etapa siguiente. Para un k-ésimo par de secciones de ángulo simétrico que sirven como el par de secciones de ángulo simétrico, potencia promedio $P_{i(k_1)}$ y $P_{i(k_2)}$ de secciones de ángulo k_1 y k_2 , respectivamente, se obtienen las correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento. La desviación $\alpha_{i(k)}$ en el ángulo de alineación con respecto al viento se calcula para el k-ésimo par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento basándose en la ecuación (2) o la ecuación (3):

$$\alpha_{i(k)} = \cos^{-1} \frac{P_{i(\text{ref})}^{\frac{1}{3}}}{\left(\frac{P_{i(\text{ref})}^{\frac{2}{3}} - P_{i(k_1)}^{\frac{1}{3}} P_{i(k_2)}^{\frac{1}{3}}}{1 - \left(\frac{P_{i(k_1)}^{\frac{1}{3}} + P_{i(k_2)}^{\frac{1}{3}}}{2P_{i(\text{ref})}^{\frac{1}{3}}} \right)^2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

$$\alpha_{i(k)} = \tan^{-1} \frac{(P_{i(k_1)}^{\frac{1}{3}} + P_{i(k_2)}^{\frac{1}{3}}) \cos \frac{d_k}{2}}{(P_{i(k_2)}^{\frac{1}{3}} - P_{i(k_1)}^{\frac{1}{3}}) \sin \frac{d_k}{2}} \quad (3)$$

5 k es un número entero mayor que 0, k_1 y k_2 indican secciones de ángulo incluidas en el k-ésimo par de secciones de ángulo simétrico. $P_{i(\text{ref})}$ indica la potencia promedio de la sección de ángulo de referencia correspondiente a la i-ésima sección de velocidad del viento. d_k es igual a una diferencia en un número secuencial entre las dos secciones de ángulo k_1 y k_2 multiplicada por el segundo intervalo predeterminado. Por ejemplo, la diferencia en el número secuencial entre las secciones de ángulo $[-3^\circ, -1^\circ]$ y $[1^\circ, 3^\circ]$ en un par de secciones de ángulo simétrico es 2, y la diferencia en el número secuencial entre secciones de ángulo $[-5^\circ, -3^\circ]$ y $[3^\circ, 5^\circ]$ en un par de secciones de ángulo simétrico es 4.

15 $P_{i(k_1)}$ indica un promedio de potencia de salida en todos los momentos en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento y el ángulo de alineación con respecto al viento detectado pertenece a la sección de ángulo k_1 . $P_{i(k_2)}$ indica un promedio de potencia de salida en todos los momentos en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento y el ángulo de alineación con respecto al viento detectado pertenece a la sección de ángulo k_2 . $P_{i(\text{ref})}$ indica un promedio de potencia de salida en todos los momentos en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento y el ángulo de alineación con respecto al viento detectado pertenece a la sección de ángulo de referencia.

20 En una realización, $\alpha_{i(k)}$ puede calcularse solo en el caso de que una diferencia entre d_k y una diferencia de ángulo es menor que un primer umbral preestablecido, donde la diferencia de ángulo es entre las dos secciones de ángulo k_1 y k_2 y se calcula basándose en $P_{i(k_1)}$, $P_{i(k_2)}$, y $P_{i(\text{ref})}$. En otras palabras, $\alpha_{i(k)}$ no se calcula para el k-ésimo par de secciones de ángulo simétrico, en el caso de que la diferencia entre d_k y la diferencia de ángulo es mayor o igual que el primer umbral preestablecido. Concretamente, no hay ningún $\alpha_{i(k)}$ en la determinación de la desviación α_i en el ángulo de alineación con respecto al viento para la i-ésima sección de velocidad del viento. Es decir, puede comprobarse en esta etapa si los datos de funcionamiento históricos del k-ésimo par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento satisfacen la ecuación (1). En el caso de que los datos de funcionamiento históricos del k-ésimo par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento satisfacen la ecuación (1), la desviación α_i en el ángulo de alineación con respecto al viento puede calcularse basándose en los datos de funcionamiento históricos del k-ésimo par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento.

35 En una realización, la diferencia de ángulo $\gamma_{i(k)}$ entre las dos secciones de ángulo k_1 y k_2 , que se incluyen en el k-ésimo par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento, puede calcularse basándose en la ecuación (4).

$$\gamma_{i(k)} = \cos^{-1} \frac{P_{i(k_1)}^{\frac{1}{3}} + P_{i(k_2)}^{\frac{1}{3}}}{2P_{i(\text{ref})}^{\frac{1}{3}}} \quad (4)$$

La desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento puede calcularse fácil y eficazmente para cada sección de velocidad del viento según las realizaciones anteriores. Además, debe entenderse que la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento puede determinarse para cada sección de velocidad del viento de otras maneras adecuadas, basándose en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado y la potencia de salida en el momento en el que la velocidad del viento ambiental pertenece a la sección de velocidad del viento. Tales maneras no están limitadas en las realizaciones de la presente divulgación. Por ejemplo, puede tomarse un máximo de una manera. Específicamente, se adquiere una o más de la potencia de salida más grande entre la potencia de salida en todos los momentos en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento, y se obtiene un ángulo de alineación con respecto al viento detectado correspondiente a la una o más de la potencia de salida más grande. Se promedian las medianas de todas las secciones de ángulo a las que pertenece el ángulo de alineación con respecto al viento detectado, para obtener la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la i-ésima sección de velocidad del viento.

En una realización, el método para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica puede incluir además una siguiente etapa. Los datos anómalos en los datos de funcionamiento históricos obtenidos se determinan para cada sección de velocidad del viento, y se eliminan los datos anómalos determinados. La etapa S102 se realiza basándose en los datos de funcionamiento históricos de los cuales se eliminan los datos anómalos.

En una realización, la etapa de determinación de datos anómalos en los datos de funcionamiento históricos obtenidos para cada sección de velocidad del viento puede implementarse de la siguiente manera. Las velocidades del viento ambiental, los ángulos de alineación con respecto al viento detectados, y la potencia de salida en todos los momentos, en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento y los ángulos de alineación con respecto al viento detectados pertenecen a la j-ésima sección de ángulo, se determinan como los datos anómalos para la i-ésima sección de velocidad del viento, en el caso de que una cantidad de todos dichos momentos es menor que un segundo umbral preestablecido, y/o en el caso de que una desviación estándar de la potencia de salida en todos dichos momentos es mayor que un tercer umbral preestablecido.

La figura 4 es un diagrama de flujo de un método para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica según una realización de la presente divulgación.

Se hace referencia a la figura 4. En la etapa S201, se obtienen una velocidad del viento ambiental actual y un ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual de la turbina eólica.

En la etapa S202, se determina una sección de velocidad del viento a la que pertenece la velocidad del viento ambiental actual.

En la etapa S203, el ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual se corrige basándose en una desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada, para determinar un ángulo de guiñada de la turbina eólica basándose en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige. De este modo, el control de guiñada se realiza basándose en el ángulo de guiñada determinado.

La desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada se obtiene mediante un método para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica según una realización como se muestra en la figura 2. En una realización, el método para corregir el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica puede incluir además las etapas S101 y S102 como se muestra en la figura 2.

En una realización, la etapa de corregir el ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual puede incluir una etapa siguiente. La desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada se resta del ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual, para obtener el ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige.

En otra realización, la etapa de corregir el ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual puede incluir una etapa siguiente. La desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada, y una desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para al menos una sección de velocidad del viento adyacente a la sección de velocidad del viento determinada, se ponderan para obtener una desviación ponderada. Se obtiene el ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige, restando la desviación ponderada del ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual. Un coeficiente de ponderación de la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para cada sección de velocidad del viento en la ponderación se determina basándose en una diferencia de la velocidad del viento ambiental actual con respecto a una mediana de dicha sección de velocidad del viento.

Por ejemplo, la velocidad del viento ambiental actual es 6,1 m/s, que pertenece a una sección de velocidad del viento

[5,75, 6,25], y el ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige puede obtenerse restando la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento [5,75, 6,25] del ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual. Alternativamente, la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento [5,75, 6,25] y una desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para una sección de velocidad del viento [6,25, 6,75] adyacente a la sección de velocidad del viento [5,75, 6,25] pueden ponderarse para obtener una desviación ponderada. Los coeficientes de ponderación pueden determinarse basándose en una distancia desde la velocidad del viento ambiental actual 6,1 m/s con respecto a un valor de mediana de la sección de velocidad del viento [5,75, 6,25] y una distancia desde la velocidad del viento ambiental actual 6,1 m/s con respecto a un valor de mediana de la sección de velocidad del viento [6,25, 6,75]. El ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige se obtiene restando la desviación ponderada del ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual.

Además, el ángulo de alineación con respecto al viento detectado puede corregirse de otras maneras adecuadas, basándose en la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento correspondiente a la sección de velocidad del viento a la que pertenece la velocidad del viento ambiental actual.

La figura 5 es un diagrama de bloques de un aparato para determinar una desviación en un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica según una realización de la presente divulgación.

Como se muestra en la figura 5, el aparato 10 para determinar una desviación en un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica incluye una unidad de obtención de datos históricos 101 y una unidad de determinación de desviación 102, según una realización de la presente divulgación.

La unidad de obtención de datos históricos 101 está configurada para obtener datos de funcionamiento históricos de una turbina eólica dentro de un período de tiempo, donde los datos de funcionamiento históricos incluyen velocidades del viento ambiental, ángulos de alineación con respecto al viento detectados, y potencia de salida que están en diferentes momentos en el período de tiempo.

En una realización, el período de tiempo puede ser un período de tiempo en el que la turbina eólica funciona normalmente, lo que excluye un fallo de la turbina eólica, arranque y detención de la turbina eólica, y funcionamiento de potencia limitada de la turbina eólica.

La unidad de determinación de desviación 102 está configurada para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para cada sección de velocidad del viento, basándose en los datos de funcionamiento históricos obtenidos. La unidad de determinación de desviación 102 determina la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para una sección de velocidad del viento basándose en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado y la potencia de salida en un momento dentro del período de tiempo, donde la velocidad del viento ambiental en dicho momento pertenece a la sección de velocidad del viento.

En una realización, la unidad de determinación de desviación 102 puede determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para una *i*-ésima sección de velocidad del viento, basándose en la potencia promedio de cada sección de ángulo correspondiente a la *i*-ésima sección de velocidad del viento. La potencia promedio P_{ij} de una *j*-ésima sección de ángulo correspondiente a la *i*-ésima sección de velocidad del viento es un promedio de potencia de salida en todos los momentos en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la *i*-ésima sección de velocidad del viento y la alineación con respecto al viento detectada pertenece a la *j*-ésima sección de ángulo. Un intervalo de velocidad del viento predeterminado se divide en *M* secciones de velocidad del viento, con un primer intervalo predeterminado. Un intervalo de ángulo predeterminado se divide en *N* secciones de ángulo, con un segundo intervalo predeterminado, donde *i* y *j* son números enteros, $M \geq i > 0$, y $N \geq j > 0$.

En una realización, la unidad de determinación de desviación 102 puede ajustar la potencia promedio de las *N* secciones de ángulo correspondientes a la *i*-ésima sección de velocidad del viento y las medianas de las *N* secciones de ángulo basándose en la ecuación (1), para obtener la desviación α_i en el ángulo de alineación con respecto al viento para la *i*-ésima sección de velocidad del viento y la potencia $P_{i\text{máx}}$ de la turbina eólica orientada a barlovento para la *i*-ésima sección de velocidad del viento.

En una realización, la unidad de determinación de desviación 102 puede obtener la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para cada par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la *i*-ésima sección de velocidad del viento, y determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la *i*-ésima sección de velocidad del viento, basándose en la desviación obtenida en el ángulo de alineación con respecto al viento para cada par de secciones de ángulo simétrico.

En una realización, la unidad de determinación de desviación 102 puede determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para un par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la *i*-ésima sección de velocidad del viento, basándose en la potencia promedio de ambas secciones de ángulo que están incluidas en el par de ángulos simétricos correspondientes a la *i*-ésima sección de velocidad del viento. Cada par de secciones de ángulo simétrico incluye dos secciones de ángulo que son simétricas con respecto a una sección de ángulo de

referencia, y la sección de ángulo de referencia es una de las N secciones de ángulo.

En una realización, la unidad de determinación de desviación 102 puede obtener la potencia promedio $P_{i(k_1)}$, y $P_{i(k_2)}$ de las secciones de ángulo k_1 y k_2 , respectivamente, correspondiente a la i-ésima sección de velocidad del viento, para un k-ésimo par de secciones de ángulo simétrico que sirven como el par de secciones de ángulo simétrico. La unidad de determinación de desviación 102 puede calcular la desviación $\alpha_{i(k)}$ en el ángulo de alineación con respecto al viento para el k-ésimo par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento, basándose en la ecuación (2) o la ecuación (3).

En una realización, la unidad de determinación de desviación 102 puede calcular $\alpha_{i(k)}$ en caso de que una diferencia entre d_k y una diferencia de ángulo es menor que un primer umbral preestablecido, donde la diferencia de ángulo está entre las dos secciones de ángulo k_1 y k_2 y se calcula basándose en $P_{i(k_1)}$, $P_{i(k_2)}$ y $P_{i(ref)}$.

En una realización, el aparato 10 para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica puede incluir además una unidad de eliminación de datos anómalos (no mostrada en las figuras). La unidad de eliminación de datos anómalos está configurada para determinar datos anómalos en los datos de funcionamiento históricos obtenidos para cada sección de velocidad del viento, y eliminar los datos anómalos determinados, de tal manera que la unidad de determinación de desviación 102 determina la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento basándose en los datos de funcionamiento históricos de los que se eliminan los datos anómalos. La unidad de eliminación de datos anómalos puede determinar las velocidades del viento ambiental, los ángulos de alineación con respecto al viento detectados, y la potencia de salida en todos los momentos, en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento y los ángulos de alineación con respecto al viento detectados pertenecen a la j-ésima sección de ángulo, como los datos anómalos para la i-ésima sección de velocidad del viento, en el caso de que una cantidad de todos dichos momentos es menor que un segundo umbral preestablecido, y/o en el caso de que una desviación estándar de la potencia de salida en todos dichos momentos es mayor que un tercer umbral preestablecido.

El aparato 10 para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica puede implementarse con referencia a una realización de la presente divulgación junto con la figura 2 y la figura 3, que no se repite en el presente documento.

La figura 6 es un diagrama de bloques de un sistema para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica según una realización de la presente divulgación.

En una realización como se muestra en la figura 6, el sistema 20 para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica incluye: un módulo de obtención de datos 201, un módulo de determinación de sección de velocidad del viento 202, el aparato 10 para determinar una desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica, y un módulo de corrección 203.

El módulo de obtención de datos 201 está configurado para obtener una velocidad del viento ambiental actual y un ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual de la turbina eólica.

El módulo de determinación de la sección de velocidad del viento 202 está configurado para determinar una sección de velocidad del viento a la que pertenece la velocidad del viento ambiental actual.

El aparato 10 para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica está configurado para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para cada sección de velocidad del viento.

El módulo de corrección 203 está configurado para corregir el ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual, basándose en la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada, donde la desviación se emite mediante el dispositivo 10 para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento. De este modo, un ángulo de guiñada de la turbina eólica determinado basándose en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige.

En una realización, el módulo de corrección 203 puede restar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada del ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual, para obtener el ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige.

En otra realización, el módulo de corrección 203 puede ponderar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada, y una desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para al menos una sección de velocidad del viento adyacente a la sección de velocidad del viento determinada, para obtener una desviación ponderada. El módulo de corrección 203 puede restar la desviación ponderada del ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual, para obtener el ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige. Un coeficiente de ponderación de la desviación en el ángulo de alineación

con respecto al viento para cada sección de velocidad del viento en la ponderación se determina basándose en una diferencia de la velocidad del viento ambiental actual con respecto a una mediana de dicha sección de velocidad del viento.

5 El sistema para corregir el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica puede implementarse con referencia a una realización de la presente divulgación junto con de la figura 2 a la figura 4, que no se repite en el presente documento.

10 Se proporciona además un medio de almacenamiento legible por ordenador que almacena un programa informático según una realización de la presente divulgación. El método para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica según la realización mencionada anteriormente se realiza cuando un procesador ejecuta el programa informático.

15 Se proporciona además un dispositivo informático según una realización de la presente divulgación, incluyendo un procesador (no mostrado en las figuras) y una memoria (no mostrada en las figuras). La memoria almacena un programa informático. El método para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica según la realización mencionada anteriormente se realiza cuando el procesador ejecuta el programa informático.

20 Se proporciona además un medio de almacenamiento legible por ordenador que almacena un programa informático según una realización de la presente divulgación. El método para corregir el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica según la realización mencionada anteriormente se realiza cuando un procesador ejecuta el programa informático.

25 Se proporciona además un sistema de control de una turbina eólica según una realización de la presente divulgación que incluye: un procesador (no mostrado) y una memoria (no mostrada). La memoria almacena un programa informático. El método para corregir el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica según la realización mencionada anteriormente se realiza cuando el procesador ejecuta el programa informático.

30 Además, las unidades y los módulos en el aparato para determinar una desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica y el sistema para corregir el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica pueden implementarse como componentes de hardware y/o software según realizaciones de la presente divulgación. Las unidades y los módulos pueden implementarse por los expertos en la técnica a través de, por ejemplo, matrices de puertas programables en campo (FPGA) o circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC), según el
35 procesamiento definido realizado por cada unidad.

Además, el método para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica y el método para corregir el ángulo de alineación con respecto al viento de la turbina eólica pueden implementarse como códigos informáticos en un medio de grabación legible por ordenador según las realizaciones de la presente
40 divulgación. Los expertos en la técnica pueden implementar el código informático según la descripción de los métodos mencionados anteriormente. El método mencionado anteriormente se realiza cuando el código informático se ejecuta en un ordenador.

REIVINDICACIONES

1. Método para determinar una desviación en un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica, que comprende:

obtener (S101) datos de funcionamiento históricos de una turbina eólica dentro de un período de tiempo, en el que los datos de funcionamiento históricos comprenden velocidades del viento ambiental, ángulos de alineación con respecto al viento detectados, y potencia de salida que están en diferentes momentos en el período de tiempo; y

determinar (S102) la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para una sección de velocidad del viento, basándose en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado y la potencia de salida en un momento dentro del período de tiempo, en el que la velocidad del viento ambiental en dicho momento pertenece a la sección de velocidad del viento;

caracterizado porque:

determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento comprende:

determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para una i-ésima sección de velocidad del viento, basándose en la potencia promedio de cada sección de ángulo correspondiente a la i-ésima sección de velocidad del viento, en el que la i-ésima sección de velocidad del viento sirve como la sección de velocidad del viento;

en el que la potencia promedio P_{ij} de una j-ésima sección de ángulo correspondiente a la i-ésima sección de velocidad del viento es un promedio de potencia de salida en todos los momentos en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento y la alineación con respecto al viento detectada pertenece a la j-ésima sección de ángulo; y

en el que un intervalo de velocidad del viento predeterminado se divide en M secciones de velocidad del viento con un primer intervalo predeterminado, un intervalo de ángulo predeterminado se divide en N secciones de ángulo con un segundo intervalo predeterminado, en donde i y j son números enteros, $M \geq i > 0$, y $N \geq j > 0$.

2. Método según la reivindicación 1, en el que determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la i-ésima sección de velocidad del viento comprende:

ajustar la potencia promedio de las N secciones de ángulo correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento y las medianas de las N secciones de ángulo basándose en:

$$P_{ij} = P_{i\text{máx}} \cos^3(\theta_{ij} - \alpha_i),$$

para obtener la desviación α_i en el ángulo de alineación con respecto al viento para la i-ésima sección de velocidad del viento y la potencia $P_{i\text{máx}}$ de la turbina eólica orientada a barlovento para la i-ésima sección de velocidad del viento;

en el que θ_{ij} indica una mediana de la j-ésima sección de ángulo correspondiente a la i-ésima sección de velocidad del viento.

3. Método según la reivindicación 1, en el que determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la i-ésima sección de velocidad del viento comprende:

obtener la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para cada par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento; y

determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la i-ésima sección de velocidad del viento, basándose en la desviación obtenida en el ángulo de alineación con respecto al viento para cada par de secciones de ángulo simétrico.

4. Método según la reivindicación 3, en el que obtener la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para cada par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento comprende:

determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para un par de secciones de ángulo

simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento, basándose en la potencia promedio de ambas secciones de ángulo que están comprendidas en el par de ángulos simétricos correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento;

5 en el que cada par de secciones de ángulo simétrico comprende dos secciones de ángulo que son simétricas con respecto a una sección de ángulo de referencia, y la sección de ángulo de referencia es una de las N secciones de ángulo.

10 5. Método según la reivindicación 3, en el que obtener la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para cada par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento comprende:

15 obtener la potencia promedio $P_{i(k_1)}$ y $P_{i(k_2)}$ de las secciones de ángulo k_1 y k_2 , respectivamente, correspondiente a la i-ésima sección de velocidad del viento, para un k-ésimo par de secciones de ángulo simétrico que sirven como el par de secciones de ángulo simétrico; y

calcular la desviación $\alpha_{i(k)}$ en el ángulo de alineación con respecto al viento para el k-ésimo par de secciones de ángulo simétrico correspondientes a la i-ésima sección de velocidad del viento, basándose en:

$$\alpha_{i(k)} = \cos^{-1} \frac{P_{i(\text{ref})}^{\frac{1}{3}}}{\left(\frac{P_{i(\text{ref})}^{\frac{2}{3}} - P_{i(k_1)}^{\frac{1}{3}} P_{i(k_2)}^{\frac{1}{3}}}{1 - \frac{\left(P_{i(k_1)}^{\frac{1}{3}} + P_{i(k_2)}^{\frac{1}{3}} \right)^2}{2 P_{i(\text{ref})}^{\frac{1}{3}}}} \right)^{\frac{1}{2}}},$$

20 o

$$\alpha_{i(k)} = \tan^{-1} \frac{\left(P_{i(k_1)}^{\frac{1}{3}} + P_{i(k_2)}^{\frac{1}{3}} \right) \cos \frac{d_k}{2}}{\left(P_{i(k_2)}^{\frac{1}{3}} - P_{i(k_1)}^{\frac{1}{3}} \right) \sin \frac{d_k}{2}},$$

25 en donde k es un número entero mayor que 0, k_1 y k_2 indican las secciones de ángulo comprendidas en el k-ésimo par de secciones de ángulo simétrico, $P_{i(\text{ref})}$ indica la potencia promedio de la sección de ángulo de referencia correspondiente a la i-ésima sección de velocidad del viento, d_k es igual a una diferencia en un número secuencial entre las secciones de ángulo k_1 y k_2 multiplicada por el segundo intervalo predeterminado.

30 6. Método según la reivindicación 5, en el que:

$\alpha_{i(k)}$ se calcula en el caso de que una diferencia entre d_k y una diferencia de ángulo es menor que un primer umbral preestablecido;

35 en el que la diferencia de ángulo está entre las dos secciones de ángulo k_1 y k_2 y se calcula basándose en $P_{i(k_1)}$, $P_{i(k_2)}$ y $P_{i(\text{ref})}$; y

$$\gamma_{i(k)} = \cos^{-1} \frac{P_{i(k_1)}^{\frac{1}{3}} + P_{i(k_2)}^{\frac{1}{3}}}{2 P_{i(\text{ref})}^{\frac{1}{3}}}.$$

en donde

7. Método según la reivindicación 1, que comprende además:

determinar datos anómalos en los datos de funcionamiento históricos obtenidos para cada sección de velocidad del viento; y

5 eliminar los datos anómalos determinados, en el que determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento se basa en los datos de funcionamiento históricos de los que se eliminan los datos anómalos;

10 en el que determinar los datos anómalos en los datos de funcionamiento históricos obtenidos para cada sección de velocidad del viento comprende:

determinar las velocidades del viento ambiental, los ángulos de alineación con respecto al viento detectados, y la potencia de salida en todos los momentos, en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i-ésima sección de velocidad del viento y los ángulos de alineación con respecto al viento detectados pertenecen a la j-ésima sección de ángulo, como los datos anómalos para la i-ésima sección de velocidad del viento, en el caso de que una cantidad de todos dichos momentos es menor que un segundo umbral preestablecido, y/o en el caso de que una desviación estándar de potencia de salida en todos dichos momentos es mayor que un tercer umbral preestablecido.

20 8. Método para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica, que comprende:

obtener (S201) una velocidad del viento ambiental actual y un ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual de la turbina eólica;

25 determinar (S202) una sección de velocidad del viento a la que pertenece la velocidad del viento ambiental actual; y

30 corregir (S203) el ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual basándose en una desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada, para determinar un ángulo de guiñada de la turbina eólica basándose en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige;

35 en el que la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada se obtiene basándose en el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, y la sección de velocidad del viento determinada sirve como la sección de velocidad del viento en el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

40 9. Método según la reivindicación 8, en el que:

corregir el ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual comprende:

45 restar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada del ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual, para obtener el ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige; o

corregir el ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual comprende:

50 ponderar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada, y una desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para al menos una sección de velocidad del viento adyacente a la sección de velocidad del viento determinada para obtener una desviación ponderada; y

55 restar la desviación ponderada del ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual, para obtener el ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige;

60 en el que un coeficiente de ponderación de la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para cada sección de velocidad del viento en la ponderación se determina basándose en una diferencia de la velocidad del viento ambiental actual con respecto a una mediana de dicha sección de velocidad del viento.

10. Aparato para determinar una desviación en un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica, que comprende:

65 una unidad de obtención de datos históricos (101), configurada para obtener datos de funcionamiento históricos de una turbina eólica dentro de un período de tiempo, en el que los datos de funcionamiento históricos comprenden velocidades del viento ambiental, ángulos de alineación con respecto al viento

detectados, y potencia de salida que están en diferentes momentos en el período de tiempo; y

una unidad de determinación de desviación (102), configurada para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para una sección de velocidad del viento, basándose en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado y la potencia de salida en un momento dentro del período de tiempo, en el que la velocidad del viento ambiental en dicho momento pertenece a la sección de velocidad del viento;

caracterizado porque:

la unidad de determinación de desviación está configurada para determinar la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para una i -ésima sección de velocidad del viento, basándose en la potencia promedio de cada sección de ángulo correspondiente a la i -ésima sección de velocidad del viento;

en el que la potencia promedio P_{ij} de una j -ésima sección de ángulo correspondiente a la i -ésima sección de velocidad del viento es un promedio de potencia de salida en todos los momentos en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i -ésima sección de velocidad del viento y la alineación con respecto al viento detectada pertenece a la j -ésima sección de ángulo; y

en el que un intervalo de velocidad del viento predeterminado se divide en M secciones de velocidad del viento con un primer intervalo predeterminado, un intervalo de ángulo predeterminado se divide en N secciones de ángulo con un segundo intervalo predeterminado, i y j son números enteros, $M \geq i > 0$, y $N \geq j > 0$.

11. Aparato según la reivindicación 10, que comprende además una unidad de eliminación de datos anómalos;

en el que la unidad de eliminación de datos anómalos está configurada para determinar datos anómalos en los datos de funcionamiento históricos obtenidos para cada sección de velocidad del viento, y eliminar los datos anómalos determinados, en el que la unidad de determinación de desviación determina la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento basándose en los datos de funcionamiento históricos de los que se eliminan los datos anómalos;

en el que la unidad de eliminación de datos anómalos está configurada para determinar las velocidades del viento ambiental, los ángulos de alineación con respecto al viento detectados, y la potencia de salida en todos los momentos, en cada uno de los cuales la velocidad del viento ambiental pertenece a la i -ésima sección de velocidad del viento y los ángulos de alineación con respecto al viento detectados pertenecen a la j -ésima sección de ángulo, como los datos anómalos para la i -ésima sección de velocidad del viento, en el caso de que una cantidad de todos dichos momentos es menor que un segundo umbral preestablecido, y/o en el caso de que una desviación estándar de la potencia de salida en todos dichos momentos es mayor que un tercer umbral preestablecido.

12. Sistema para corregir un ángulo de alineación con respecto al viento de una turbina eólica, que comprende:

un módulo de obtención de datos (201), configurado para una velocidad del viento ambiental actual y un ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual de la turbina eólica;

un módulo de determinación de sección de velocidad del viento (202), configurado para determinar una sección de velocidad del viento a la que pertenece la velocidad del viento ambiental actual;

el aparato (10) según la reivindicación 10 u 11; y

un módulo de corrección (203), configurado para el ángulo de alineación con respecto al viento detectado actual basándose en una desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada, para determinar un ángulo de guiñada de la turbina eólica basándose en el ángulo de alineación con respecto al viento detectado que se corrige;

en el que la desviación en el ángulo de alineación con respecto al viento para la sección de velocidad del viento determinada se emite mediante el aparato, y la sección de velocidad del viento determinada sirve como la sección de velocidad del viento para el aparato.

13. Medio de almacenamiento legible por ordenador, que almacena un programa informático, en el que el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 se realiza cuando un procesador ejecuta el programa informático.

14. Dispositivo informático, que comprende:

un procesador; y

una memoria que almacena un programa informático;

- 5 en el que el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 se realiza cuando el procesador ejecuta el programa informático.

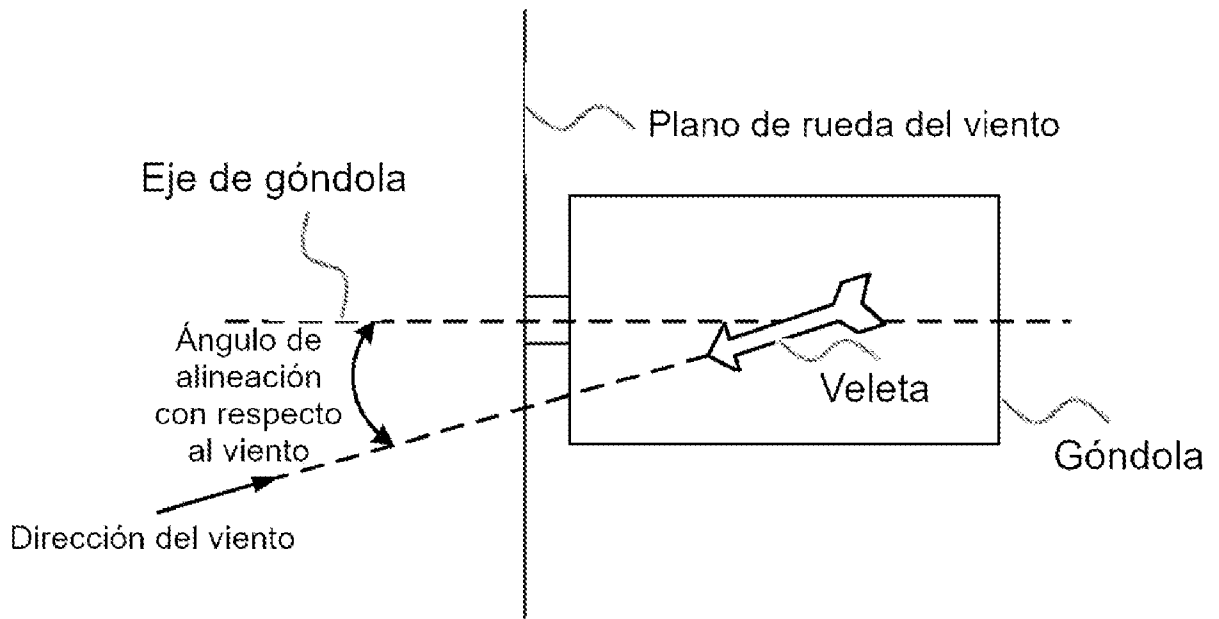


Figura 1

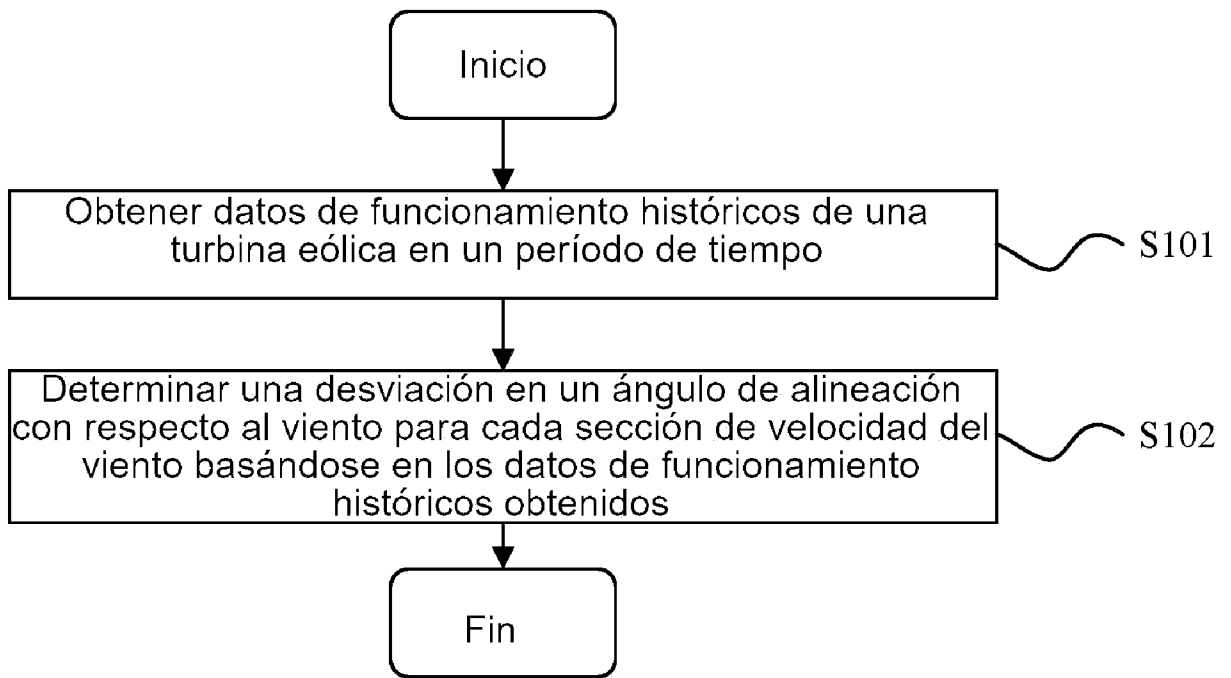


Figura 2

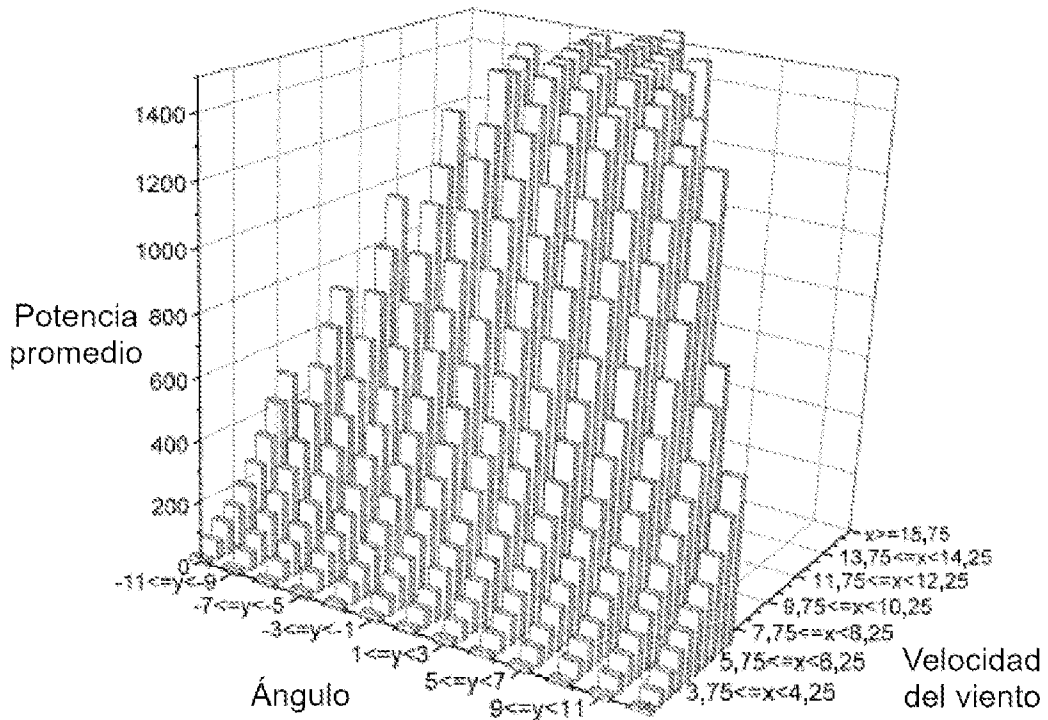


Figura 3

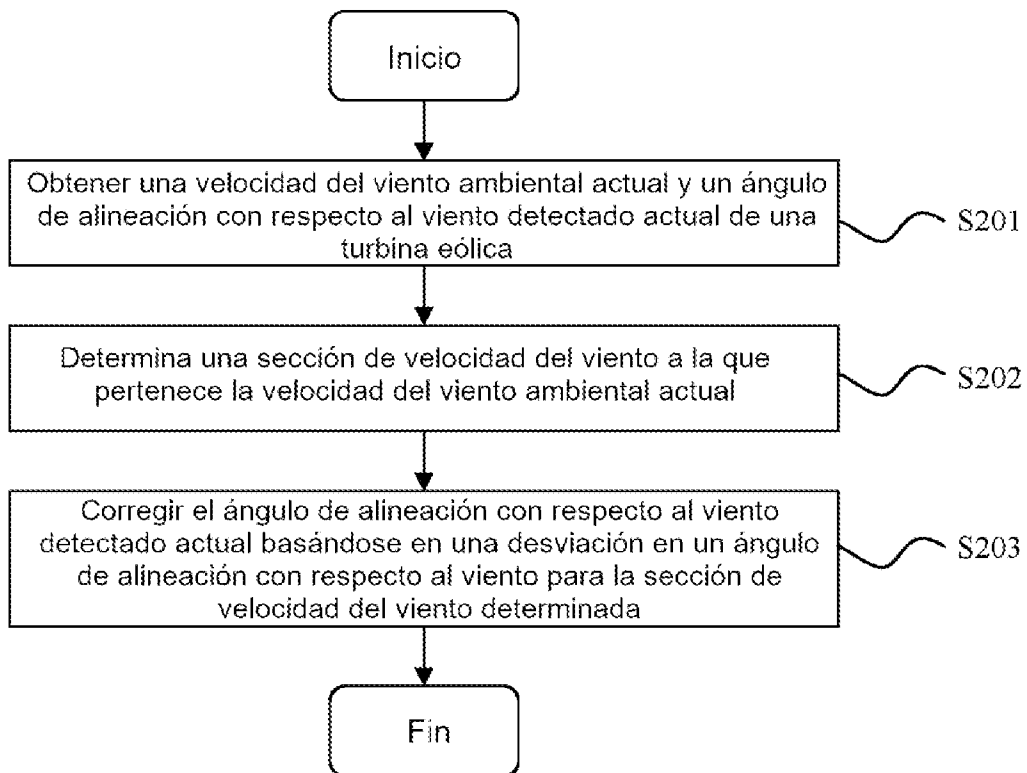
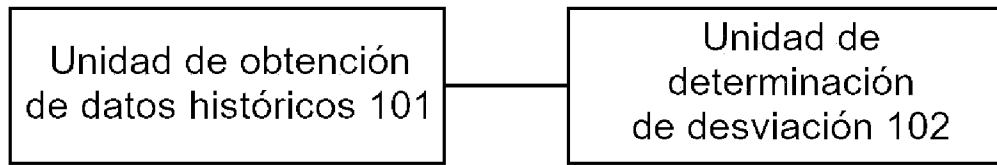
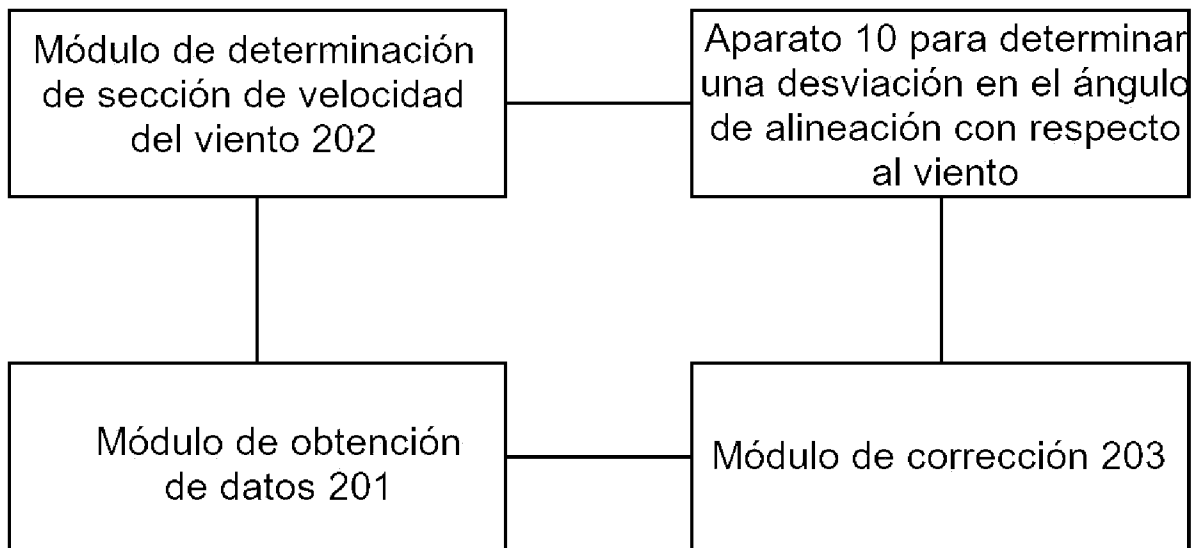


Figura 4



10

Figura 5



20

Figura 6