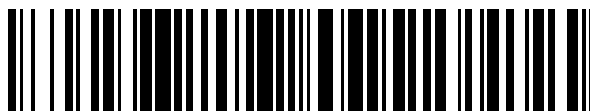


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 691 800**

51 Int. Cl.:

F03D 7/06 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.03.2014 PCT/GB2014/050903**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2014 WO14147423**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.03.2014 E 14713251 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.07.2018 EP 2976525**

54 Título: **Turbina, controlador para turbina, y modo de funcionamiento de los mismos**

30 Prioridad:

21.03.2013 GB 201305221

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

28.11.2018

73 Titular/es:

**SWIFT TG ENERGY (SCOTLAND) LIMITED
(100.0%)
4-6 Coltbridge Avenue
Edinburgh EH12 6AH, GB**

72 Inventor/es:

**DICKINSON, SAM;
FORREST, DAVID y
ABDELHAKIM, AHMED**

74 Agente/Representante:

RIZZO , Sergio

ES 2 691 800 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

Turbina, controlador para turbina, y modo de funcionamiento de los mismos

Campo de la invención

5 **[0001]** La presente invención se refiere a un controlador para una turbina, una turbina, y un método para controlar el funcionamiento de una turbina. La invención presenta una aplicación concreta, aunque sin carácter limitativo, para turbinas eólicas de eje vertical.

Antecedentes

[0002] Existe un interés creciente por obtener energía a partir de fuentes renovables tales como el viento y la energía del oleaje, tanto por motivos medioambientales como por la seguridad del abastecimiento energético.

10 **[0003]** En los últimos años, se ha producido un notable aumento del número de turbinas eólicas instaladas a nivel mundial. Las turbinas eólicas presentan diferentes tamaños y capacidades de generación de electricidad. Existen dos categorías generales de turbinas eólicas: turbinas eólicas de eje horizontal (HAWT, por sus siglas en inglés) y turbinas eólicas de eje vertical (VAWT). Una turbina HAWT está configurada de tal forma que los álabes se disponen radialmente en torno al eje de rotación, con el eje de rotación orientado horizontalmente. Una turbina
15 VAWT está configurada de tal forma que los álabes se disponen en paralelo al eje de rotación, con el eje de rotación orientado verticalmente.

[0004] Aunque las turbinas HAWT son más comunes que las VAWT, las VAWT presentan varias ventajas, incluyendo la capacidad de aceptar viento desde cualquier dirección y de funcionar con flujos de aire turbulentos. Las VAWT también pueden funcionar con velocidades de rotación más lentas que las de sus equivalentes HAWT y, por consiguiente, pueden ser menos ruidosas. Estas ventajas derivan en que los dispositivos VAWT sean especialmente adecuados para su instalación en áreas edificadas y entornos urbanos.

20

[0005] Los sistemas y métodos de control para sistemas VAWT están, en general, menos desarrollados que los sistemas para sistemas HAWT, y los VAWT pueden presentar más posibilidades de mejora. Algunas de las VAWT que se conocen permiten el accionamiento independiente de álabes de la turbina en torno a sus propios ejes
25 respectivos. No obstante, estos dispositivos se centran en un procedimiento operativo limitado (puesta en marcha, funcionamiento normal y apagado) que se basa en un entorno de trabajo ideal y que no tiene en cuenta factores externos como la topografía, factores ambientales, la hora del día, la época del año, u otros factores que sean específicos del lugar de instalación.

[0006] Algunas de las turbinas eólicas que se conocen pueden presentar distintos modos de funcionamiento que permitan distintas fases en el funcionamiento de la turbina. Por ejemplo, algunas turbinas eólicas que se conocen pueden presentar un modo de puesta en marcha, un modo de apagado, o un modo operativo, donde el modo operativo rija el funcionamiento una vez se haya activado la turbina y haya alcanzado una cierta velocidad de rotación o relación de velocidad en el extremo del aspa.

30

[0007] Por lo general, hay únicamente un modo disponible en cualquier momento determinado del funcionamiento de la turbina. Cuando la turbina esté activándose, esta se encontrará en el único modo de puesta en marcha. Cuando esta ya se haya activado y se encuentre en funcionamiento normal, estará en el modo operativo disponible. La transición entre los modos de puesta en marcha y operativo se puede basar en la velocidad de rotación. El documento US 2010/0133819 A1 expone un ejemplo de uso de distintas estrategias de control de paso según el nivel sonoro de la turbina. Esto es aplicable tanto a turbinas eólicas verticales como horizontales.

35

Sumario

40

[0008] En un primer aspecto independiente de la invención, se da a conocer un controlador para una turbina de eje vertical de acuerdo con la reivindicación 1. El controlador puede estar configurado para seleccionar un modo de control de entre los al menos dos modos de control almacenados en función de al menos un parámetro que no sea la posición acimutal de ese álabe, la velocidad del fluido, la velocidad del álabe y la relación de velocidad en el extremo del aspa.

45

[0009] La turbina puede comprender una turbina eólica, opcionalmente una turbina eólica de eje vertical, y, en ese caso, la velocidad del fluido es la velocidad del viento. De manera alternativa, la turbina de fluido puede comprender una turbina hidráulica, como una turbina de corriente de agua, y, en ese caso, la velocidad del fluido puede comprender la velocidad de la corriente de agua.

50 **[0010]** El controlador puede utilizar distintos modos de control generales de la turbina que se seleccionan en función del al menos un parámetro (por ejemplo, parámetros temporales, ambientales o acústicos).

[0011] La relación de velocidad en el extremo del aspa es la proporción entre la velocidad de rotación de la turbina y la velocidad del viento incidente o la velocidad de otro fluido. Los modos de control pueden estar configurados de tal forma que, para cada velocidad de fluido, relación de velocidad en el extremo del aspa, o combinación de
55 velocidad de fluido y relación de velocidad en el extremo del aspa, el controlador pueda seleccionar uno de entre al menos dos modos de control distintos en función de al menos un otro parámetro.

- 5 **[0012]** Un controlador que accione la turbina en al menos dos modos de control alternativos puede permitir una mayor flexibilidad respecto al uso de la turbina. Este hecho puede incluir la adaptación de la turbina al entorno en el que esté emplazada. Las características del rendimiento de la turbina se pueden modificar únicamente mediante el control de los álabes, sin modificaciones físicas en el conjunto de la turbina. Por ejemplo, en el caso de un determinado fluido, la velocidad de rotación puede ser mayor o menor en función del modo de control, utilizando el control activo de los perfiles de álabes y modificando el paso de los perfiles de álabes conforme se mueven en acimut.
- 10 **[0013]** El controlador puede proveer un control activo continuo de los álabes de la turbina. Esto quiere decir que el ángulo del álabe puede estar cambiando constantemente durante cada rotación de la turbina.
- 15 **[0014]** El controlador puede estar configurado de tal forma que, para al menos una velocidad de fluido y/o relación de velocidad en el extremo del aspa, el paso de al menos un álabe que se encuentre en el primero de los al menos dos modos de control almacenados difiera del paso del al menos un álabe que se encuentre en el segundo de los modos de control.
- 20 **[0015]** No es necesario que cada ángulo de paso en el primer modo de control sea distinto del ángulo de paso correspondiente en el segundo modo de control. Sin embargo, para al menos una velocidad de fluido y/o relación de velocidad en el extremo del aspa, el ángulo de al menos un álabe puede ser distinto en al menos algunas posiciones acimutales.
- 25 **[0016]** El controlador puede estar configurado para controlar el paso de cada álabe en función de al menos una velocidad de rotor o de álabe, velocidad o dirección de fluido, o relación de velocidad en el extremo del aspa.
- 30 **[0017]** Además de modificarse los ángulos del álabe con el ángulo acimutal, se pueden utilizar distintos ángulos para acelerar o ralentizar la rotación en relación con la velocidad del viento o la velocidad del agua, maximizando la generación de energía o mejorando otras características de rendimiento.
- 35 **[0018]** Cada uno de los al menos dos modos de control puede estar configurado para controlar el paso de cada álabe en un intervalo de velocidades de fluido, por ejemplo, velocidades de viento, desde una velocidad de fluido de cero hasta el límite de velocidad de fluido operativa de la turbina.
- 40 **[0018]** Cada uno de los dos modos de control puede estar configurado para controlar el paso de cada álabe en un intervalo de relaciones de velocidad en el extremo del aspa desde sustancialmente cero hasta una relación de velocidad máxima en el extremo del aspa de la turbina. La relación de velocidad máxima en el extremo del aspa puede ser una relación de velocidad máxima en el extremo del aspa para el funcionamiento seguro.
- 45 **[0019]** Cada modo de control puede abarcar considerablemente todas las condiciones de la velocidad de fluido y/o la relación de velocidad en el extremo del aspa que experimente la turbina. En cualquier condición de velocidad de la turbina, el controlador puede elegir entre al menos dos modos.
- 50 **[0020]** El primero de los al menos dos modos de control almacenados puede comprender un primer modo de puesta en marcha y/o un primer modo operativo, y el segundo de los modos de control puede comprender un segundo modo de puesta en marcha y/o un segundo modo operativo.
- 55 **[0021]** Se puede utilizar un único algoritmo de modo de control que presente dos modos diferentes para controlar la turbina en sustancialmente todas las velocidades de viento y/o relaciones de velocidad en el extremo del aspa. De forma alternativa, cada modo de control puede comprender, al menos, un modo de puesta en marcha y un modo operativo. En esta situación, en el modo de puesta en marcha, el controlador puede seleccionar uno de los al menos dos modos de control, cada uno de los cuales comprende un modo de puesta en marcha. Por lo tanto, la turbina puede funcionar en el primer modo de puesta en marcha o en el segundo modo de puesta en marcha.
- [0022]** El controlador puede estar configurado para seleccionar uno de los al menos dos modos de control en función de un parámetro temporal, donde el parámetro temporal comprende al menos uno de entre una hora del día, un día de la semana, o una época del año. Por lo tanto, el al menos un parámetro utilizado para seleccionar el modo de control puede comprender el parámetro temporal.
- [0023]** La turbina puede funcionar en distintos modos en diferentes momentos. Por ejemplo, en una zona urbana, una turbina eólica puede funcionar para conseguir una generación de energía a pleno rendimiento durante el día, pero en un modo de ruido acústico reducido durante la noche.
- [0024]** El controlador puede estar configurado para seleccionar uno de los al menos dos modos de control almacenados en función de una entrada de un sensor. Por lo tanto, el al menos un parámetro utilizado para seleccionar el modo de control puede comprender la entrada del sensor. El sensor puede comprender al menos uno de entre un sensor ambiental, un sensor meteorológico, un sensor acústico, un sensor de luz, un sensor de hielo o un sensor de desgaste. El sensor meteorológico puede comprender al menos uno de entre un sensor de temperatura, un sensor de presión barométrica, un sensor de precipitación, un sensor de humedad o un sensor de velocidad o dirección del viento.
- [0025]** En lugar de ceñirse a un esquema preprogramado para la selección de modos de control, el controlador puede adaptar el rendimiento de la turbina a su entorno utilizando la entrada del sensor para seleccionar el modo

en el que debe funcionar una turbina. Por ejemplo, se puede utilizar un modo distinto para su funcionamiento a altas temperaturas que el que se utiliza en temperaturas más bajas.

[0026] Al menos uno de los al menos dos modos de control almacenados puede estar configurado para cumplir una restricción sobre al menos una de entre la velocidad de rotación, la generación de energía, el par de fuerzas o el ruido acústico.

[0027] Un ejemplo de una restricción es un umbral de ruido acústico. La aplicación de un modo de control que está configurado para mantener el ruido acústico por debajo de un umbral permite la instalación de la turbina en zonas con restricciones de ruido. Al poseer más de un modo, es posible presentar un modo que esté configurado para reducir el ruido y un modo que esté configurado para maximizar la generación de energía. De forma alternativa, se pueden configurar dos modos que presenten distintos niveles de umbral de ruido.

[0028] El primero de los al menos dos modos de control almacenados puede presentar una dirección opuesta de rotación del rotor con respecto al segundo de los modos de control.

[0029] Para algunas condiciones de flujo del fluido (por ejemplo, cuando el viento se vea obstruido por un edificio, o cuando el flujo de la corriente de agua se vea obstruida por una formación rocosa del fondo marino o del lecho del río, o por otro obstáculo), una dirección de rotación puede ser preferible a la otra para la generación de energía. Además, se puede invertir la dirección de rotación para cambiar los puntos de desgaste y, por consiguiente, para prolongar la vida útil de la turbina.

[0030] El controlador puede estar configurado para seleccionar uno de los al menos dos modos de control en función de al menos un parámetro ambiental. Por lo tanto, el al menos un parámetro utilizado para seleccionar el modo de control puede comprender el al menos un parámetro ambiental.

[0031] La turbina eólica puede funcionar de forma diferente en distintas condiciones ambientales, por ejemplo, condiciones meteorológicas o niveles de ruido.

[0032] El parámetro ambiental puede comprender un parámetro meteorológico.

[0033] La turbina puede funcionar en distintos modos según el tiempo atmosférico, por ejemplo, para maximizar la generación de energía o para reducir el estrés sobre la turbina.

[0034] El parámetro ambiental puede comprender al menos uno de entre temperatura, presión barométrica, precipitación, humedad, velocidad vectorial o velocidad escalar de fluido, por ejemplo, la velocidad vectorial o escalar del viento.

[0035] El controlador puede estar configurado para seleccionar uno de los al menos dos modos de control en función de una condición de al menos un componente de la turbina eólica, opcionalmente, en función de un nivel de desgaste del al menos un componente.

[0036] El paso de cada álabe puede ser orientable al menos $\pm 180^\circ$.

[0037] Los álabes completamente orientables pueden permitir la selección de ángulos de los álabes para optimizar el rendimiento de la turbina.

[0038] El controlador puede comprender una memoria. La memoria puede almacenar al menos uno de los modos de control almacenados. Se puede almacenar al menos un criterio de selección de modo en la memoria.

[0039] Los criterios de selección de modo pueden incluir reglas para seleccionar qué modo de control se debe utilizar para accionar la turbina en función de la hora proporcionada por el reloj, la entrada del sensor, u otra entrada. Un criterio de selección de modo puede ser una simple regla tal como seleccionar un modo por debajo de una temperatura determinada. Por otra parte, los criterios de selección de modo pueden comprender un complejo conjunto de reglas, por ejemplo, un conjunto de reglas basadas en varios sensores para distintas condiciones ambientales, el lugar de instalación de la turbina, la hora del día y el día de la semana.

[0040] Los modos de control almacenados y/o al menos un criterio de selección de modo puede(n) estar configurado(s) para el lugar en el que se instala la turbina.

[0041] Los requisitos de la turbina pueden variar en función del emplazamiento de la turbina. Por ejemplo, los niveles de ruido pueden resultar cruciales en el caso de turbinas en zonas urbanas, mientras que los modos que dependen del clima pueden ser más importantes para las turbinas en sitios expuestos.

[0042] El sitio de instalación puede comprender al menos uno de entre: un sitio costero, un sitio en una ladera, un sitio rural, un sitio industrial, un sitio urbano, un sitio suburbano, un sitio en un tejado, o cualquier otro sitio adecuado.

[0043] El controlador se puede configurar para invertir la dirección de rotación del rotor mediante el funcionamiento de al menos un dispositivo de accionamiento, donde cada dispositivo de accionamiento funciona para modificar el paso de al menos un álabe.

- 5 **[0044]** En otro ejemplo que no forma parte de la invención reivindicada, se da a conocer un controlador para una turbina, comprendiendo la turbina un rotor que comprende una pluralidad de perfiles de álabes dispuestos para su rotación en torno a un eje del rotor; donde el controlador está configurado para invertir la dirección de rotación del rotor mediante el funcionamiento de al menos un dispositivo de accionamiento, donde cada dispositivo de accionamiento funciona para modificar el paso de al menos un álabe.
- 10 **[0045]** En algunos entornos, especialmente en zonas urbanas en el caso de una turbina eólica, el flujo de aire u otro flujo de fluido puede ser tal que una turbina producirá más energía si funciona en una dirección de rotación que si funciona en la dirección opuesta. No obstante, este hecho puede depender de la dirección del viento o de otros factores externos. Puede resultar ventajoso hacer funcionar la turbina en una dirección de rotación en algunas condiciones, y en la dirección de rotación opuesta en otras condiciones.
- [0046]** Además, una turbina que siempre gire en una dirección presentará puntos de desgaste constante. Al girar en la otra dirección, los puntos de desgaste pueden cambiar, lo cual puede ampliar la vida útil o los intervalos de mantenimiento de la turbina.
- 15 **[0047]** Un controlador que presente un control activo de los álabes de la turbina puede modificar la dirección de rotación de la turbina únicamente mediante el control de los álabes, sin modificaciones físicas en el conjunto de la turbina.
- [0048]** El controlador puede estar configurado para modificar el paso de al menos un álabe en al menos $\pm 180^\circ$.
- [0049]** El controlador puede estar configurado para seleccionar la dirección de rotación del rotor en función de al menos una dirección del viento o dirección del flujo hídrico.
- 20 **[0050]** Este hecho puede resultar ventajoso cuando la dirección de rotación preferida dependa de condiciones del viento o de otro fluido.
- [0051]** El controlador puede estar configurado para invertir la dirección de rotación en intervalos predeterminados.
- [0052]** El hecho de invertir la turbina a intervalos predeterminados puede equilibrar el desgaste de la turbina.
- 25 **[0053]** El controlador puede estar configurado para invertir la dirección de rotación de tal forma que, a lo largo de un período de tiempo predeterminado, el tiempo durante el cual el rotor se encuentra en rotación en una primera dirección difiera del tiempo en rotación en una segunda dirección en no más de un 20 %, opcionalmente un 10 %, y también opcionalmente un 5 %.
- 30 **[0054]** El período de tiempo predeterminado puede ser superior a al menos uno de entre una semana, un mes y un año. El período de tiempo predeterminado puede oscilar entre una semana y cinco años, opcionalmente entre una semana y 1 año, opcionalmente entre un mes y 1 año, opcionalmente entre seis meses y dos años.
- [0055]** El controlador puede estar configurado para invertir la dirección de rotación en función de un número de ciclos de rotación del rotor.
- 35 **[0056]** El controlador puede estar configurado para invertir la dirección de rotación de tal forma que, a lo largo de un período de tiempo predeterminado y/o un número predeterminado de ciclos de rotación, el número de ciclos de rotación del rotor en una primera dirección difiera del número de ciclos de rotación en una segunda dirección en no más de un 20 %, opcionalmente un 10 %, y también opcionalmente un 5 %.
- [0057]** La turbina comprende una turbina de eje vertical. La turbina puede comprender una turbina eólica de eje vertical. La turbina puede comprender una turbina hidráulica, opcionalmente una turbina de corriente de agua.
- 40 **[0058]** En otro aspecto independiente de la invención, se da a conocer un método para controlar una turbina de eje vertical de acuerdo con la reivindicación 14. En otro aspecto independiente de la invención, se da a conocer un aparato de turbina de acuerdo con la reivindicación 15. La turbina puede comprender una pluralidad de dispositivos de accionamiento, donde cada dispositivo de accionamiento resulta operativo para girar un respectivo perfil de álabe.
- [0059]** Cada dispositivo de accionamiento puede resultar operativo para girar un respectivo álabe al menos $\pm 180^\circ$.
- 45 **[0060]** A pesar de que se puede utilizar un margen de movimiento más limitado en condiciones concretas de funcionamiento, el álabe y el dispositivo de accionamiento pueden presentar un margen de movimiento completo de $\pm 180^\circ$.
- [0061]** Cualquier característica de un aspecto de la invención se puede aplicar a otros aspectos de la invención, en cualquier combinación apropiada. Por ejemplo, se pueden aplicar características del aparato a características del método, y viceversa.
- 50

Descripción detallada de formas de realización

[0062] A continuación, se describen formas de realización de la invención, a modo de ejemplos no limitativos, y se representan en las siguientes figuras, en las cuales:-

La figura 1 es una representación esquemática de una turbina eólica de acuerdo con una forma de realización;

La figura 2 es una representación esquemática de componentes de la turbina eólica de la figura 1;

La figura 3 es un diagrama esquemático que representa la producción de vórtices en función del ángulo del perfil de álabes;

5 Las figuras 4a y 4b son diagramas vectoriales de un perfil de álabes de la turbina eólica de la figura 2;

Las figuras 5a y 5b son diagramas que representan los efectos de la dirección del viento en una instalación de turbina en una ladera;

Las figuras 6a y 6b son diagramas esquemáticos que representan el efecto de una obstrucción en el flujo de aire de una turbina eólica;

10 La figura 7 es una representación esquemática de direcciones opuestas de rotación de la turbina.

[0063] En una primera forma de realización, un controlador 12 está configurado para controlar una turbina eólica. La turbina eólica se representa de forma esquemática en la figura 1 (el controlador 12 no se puede observar en esta vista).

15 **[0064]** Una pluralidad de álabes aerodinámicos 2a-2e se fijan a un rotor 4 que se monta sobre una torre 6. Cada álabes aerodinámico 2a-2e está conectada a través de articulaciones giratorias respectivas a un brazo inferior correspondiente 8a-8e y a un brazo superior correspondiente 3a-3e, cada uno de los cuales se extiende desde un eje de rotación del rotor. Cada articulación giratoria se dispone para permitir la rotación de uno de los correspondientes álabes aerodinámicos en torno a un eje paralelo al eje de rotación del rotor, permitiendo así la variación del paso del álabes aerodinámico tanto durante la rotación como cuando el rotor está en posición fija.

20 **[0065]** Se proporciona un respectivo dispositivo de accionamiento 10a-10e en el extremo de cada uno de los brazos inferiores 8a-8e, y resulta operativo para hacer rotar de esta forma un álabes aerodinámico correspondiente 2a-2e por medio de la articulación giratoria para modificar el paso del álabes aerodinámico. En esta forma de realización, cada dispositivo de accionamiento 10a-10e comprende un motor de corriente continua sin escobillas y sin marco que puede funcionar para rotar el álabes aerodinámico al menos $\pm 180^\circ$. Cada dispositivo de accionamiento 10a-10e está asociado a un respectivo codificador de posición magnético 11a-11e y a un controlador aerodinámico de PCB personalizado 9a-9e. Los componentes del accionador encajan con los pares aerodinámico e inercial previstos y con el intervalo requerido de velocidades de rotación.

30 **[0066]** El controlador 12 recibe información y energía a través de un anillo colector. Cada dispositivo de accionamiento 10a-10e está configurado para comunicarse por medio de una conexión con cables con el controlador 12, el cual está situado en algún lugar cercano o en el interior del cuerpo de la torre 6. En formas de realización alternativas, la comunicación se puede llevar a cabo mediante una conexión sin contacto, por ejemplo, de forma inalámbrica o mediante Bluetooth. Se suministra energía a cada dispositivo de accionamiento a través del anillo colector. Los dispositivos de accionamiento 10a-10e, codificadores de posición 11a-11e, controladores aerodinámicos 9a-9e y el controlador 12 se representan de forma esquemática en la figura 2. En esta forma de realización, el controlador 12 es un dispositivo hecho a medida, pero, en otras formas de realización, el controlador 12 puede comprender un PC programado de manera adecuada. En algunas formas de realización, el controlador 12 puede comprender circuitos de control dedicados que comprenden, por ejemplo, al menos un ASIC (circuito integrado de aplicación específica) o FPGA (matriz de puertas programables *in situ*). El controlador 12 está configurado para controlar el ángulo de ataque de cada álabes mediante la comunicación con los dispositivos de accionamiento 10a-10e a través de los controladores aerodinámicos 9a-9e.

45 **[0067]** El controlador 12 está conectado a un sensor de velocidad del viento 14 que mide la velocidad y dirección del viento y que está montado sobre un mástil acoplado a la parte superior de la torre 6. El sensor de velocidad del viento 14 aporta información sobre la velocidad del viento 14a e información sobre la dirección del viento 14b al controlador. El sensor o sensores de velocidad del viento 14 puede(n) estar situado(s) en emplazamientos alternativos en distintas formas de realización. El controlador 12 está también conectado a un codificador 16 que mide la velocidad de rotación y la posición rotatoria del rotor 4 y proporciona información sobre la velocidad del rotor 16a e información sobre la posición del rotor 16b al controlador 12.

[0068] El controlador 12 comprende un reloj interno 20. En formas de realización alternativas, el reloj 20 puede ser un dispositivo externo.

50 **[0069]** El controlador 12 comprende además una memoria 22 que, en esta forma de realización, almacena dos modos de control para la turbina eólica. En formas de realización alternativas, se pueden almacenar más de dos modos de control. Cada modo de control comprende información necesaria para que la turbina funcione en la totalidad del rango de velocidad del viento, dirección del viento y relación de velocidad en el extremo del aspa.

55 **[0070]** El controlador 12 también puede recibir una entrada de modo 18 desde otro sensor o dispositivo de entrada del usuario, donde la entrada de modo 18 es una dirección de usuario o una entrada adicional, tal como información sobre el parámetro meteorológico.

[0071] Cada modo de control comprende un algoritmo de modo de control, que obtiene un conjunto de datos de entrada, por ejemplo, velocidad del viento, posición acimutal del álabe y relación de velocidad en el extremo del aspa, y proporciona uno o más ángulos de álabe necesarios para que implemente el controlador 12. Cada modo de control puede comprender también datos para suministrar al algoritmo de modo de control, por ejemplo, variables ajustadas, valores fijos para constantes concretas, o valores para restricciones, tales como umbrales.

[0072] Los dos modos de control pueden utilizar cada uno el mismo algoritmo de modo de control, pero suministrar el algoritmo con distintos datos, tales como diferentes valores para constantes o umbrales. De forma alternativa, los dos modos de control pueden utilizar distintos algoritmos de modo de control.

[0073] En la forma de realización actual, la memoria incluye además un conjunto de criterios de selección de modo. El conjunto de criterios de selección de modo comprende un conjunto de reglas que utiliza el controlador 12 para determinar si activa la turbina en el primer modo de control o en el segundo modo de control en cualquier momento dado. Estas selecciones de modo no dependen únicamente de la etapa de funcionamiento de la turbina, por ejemplo, para elegir un modo de puesta en marcha en lugar de un modo operativo. En cambio, cada modo de control abarca la totalidad de las etapas del funcionamiento de la turbina.

[0074] A pesar de que en esta forma de realización se emplea un único algoritmo para controlar la turbina en un amplio espectro de velocidades de viento, sería posible que cada modo de control incluyera un modo de puesta en marcha y un modo operativo. En este caso, para una determinada velocidad del viento y relación de velocidad en la punta del álabe, la turbina puede funcionar, por ejemplo, en un primer modo de puesta en marcha que forma parte del primer modo de control o en un segundo modo de puesta en marcha que forma parte del segundo modo de control.

[0075] Antes de analizar los detalles de distintos modos de funcionamiento en diversas formas de realización, se ofrece algo de información general acerca del cálculo de ángulos de paso en un modo de funcionamiento normal.

[0076] La relación de velocidad en la punta del aspa es el parámetro que se utiliza para calcular el ángulo de paso optimizado, y se define en la ecuación 1.

$$(1) \quad \lambda = \frac{\omega R}{V}$$

en la cual λ es la relación de velocidad en la punta del álabe, ω es la velocidad de rotación del álabe en torno al acimut orbital, R es el radio de rotación del álabe en torno al eje del rotor, y V es la velocidad del viento libre.

[0077] Se calculan los ángulos de paso para el modo normal para optimizar la generación de energía para cada relación de velocidad en la punta del álabe. A modo de antecedentes, empezando desde los primeros principios, se pueden trazar diagramas vectoriales de fuerzas para la posición de los perfiles de álabes en lugares concretos en torno al acimut orbital.

[0078] La figura 4a es un diagrama vectorial que muestra un vector de viento libre y la velocidad angular del perfil de álabe (ωR) para un perfil de álabe 2a en un ángulo de rotación de 45° . El vector de viento relativo puede derivar del vector de viento libre y del vector de velocidad angular del perfil de álabe. Se considera que el ángulo de ataque (AoA), o ángulo de paso, del perfil de álabe es el ángulo situado entre el vector de viento relativo y la cuerda del perfil de álabe.

[0079] La figura 4b muestra el vector de fuerza resultante 20. Este resulta de la fuerza de sustentación L y de la fuerza de resistencia aerodinámica D generadas en el ángulo de ataque específico. Como se comprenderá, al variar el ángulo de ataque, se producirán unas fuerzas de sustentación y de resistencia aerodinámica distintas y, por lo tanto, dará como resultado vectores de fuerza 20 diferentes. El desglose del vector de fuerza resultante en el vector de fuerza tangencial F_T y el vector de fuerza normal F_N que lo componen determina el par de fuerzas total producido en la turbina. Se podrá entender que el ángulo de ataque se puede ajustar, por tanto, para determinar la fuerza tangencial máxima F_T que lo compone en un momento dado que da como resultado una generación óptima de par de fuerzas en la turbina.

[0080] Se podrá comprender también que, conforme cambia la relación entre la velocidad de rotación y la velocidad del viento, también cambiará la forma del diagrama vectorial de fuerza. Conforme aumenta la relación de velocidad en la punta del álabe, disminuye la variación de los ajustes del ángulo de paso.

[0081] Se pueden calcular los ángulos de paso óptimos utilizando componentes de fuerza como los descritos, o mediante el uso de datos empíricos o derivados de modelos. El algoritmo de modo de control se utiliza para generar el ángulo de paso para cada álabe a tiempo real. El algoritmo de modo de control puede comprender una única ecuación o algoritmo, un conjunto de ecuaciones o algoritmos, o una o más tablas de consulta.

[0082] En un modo de funcionamiento normal de la forma de realización descrita, se calcula el ángulo de paso para cada perfil de álabe y cada posición acimutal con el fin de maximizar el par y, por tanto, la producción de energía. No obstante, una característica de la forma de realización descrita es que se proporciona al menos un modo de control adicional además del modo normal o en lugar de este, en el cual se determinan los ángulos de paso en función de otros parámetros o restricciones en lugar de únicamente para maximizar el par de fuerzas.

- 5 **[0083]** A continuación se describe una configuración operativa de la forma de realización en la que los dos modos de funcionamiento son dos modos acústicos distintos, cada uno de los cuales permite un control de los ángulos del álabe para asegurar que la turbina genera una cantidad de ruido distinta para una velocidad del viento dada y otras condiciones de funcionamiento. Por lo tanto, la turbina puede funcionar, por ejemplo, en un modo de bajo nivel de ruido y en un modo normal. A continuación, se describen los distintos modos de ruido a título ilustrativo, y, en formas de realización o configuraciones alternativas, los distintos modos se seleccionan en función de otros parámetros y presentan otros efectos. Más adelante se describen otros ejemplos del tipo de los distintos modos en formas de realización alternativas, pero, en primer lugar, se describen los distintos modos acústicos.
- 10 **[0084]** En funcionamiento, el controlador 12 recupera los criterios de selección de modo de la memoria 22. El controlador 12 recibe datos sobre la hora desde el reloj 20. En la forma de realización actual, los criterios de selección de modo estipulan que, si el reloj 20 indica una hora comprendida entre las 7 a. m. y las 9 p. m., el controlador 12 debe seleccionar el primer modo de control. Si la hora no se encuentra comprendida entre estas horas, el controlador 12 debe seleccionar el segundo modo de control.
- 15 **[0085]** El controlador 12 recibe además datos que representan la velocidad del viento 14a, la dirección del viento 14b, la velocidad de rotación del rotor 16a, y la posición acimutal del rotor 16b desde los sensores 14 y 16 de forma continua o periódica.
- 20 **[0086]** El controlador 12 selecciona el modo de control según los criterios de selección de modo y los datos de hora del reloj 20. En función del modo de control seleccionado y de las entradas 14a, 14b, 16a y 16b de los sensores 14 y 16, el controlador 12 calcula, a tiempo real, el ángulo de paso deseado para cada álabe del perfil de álabe 2a-2e. Cada controlador del perfil de álabe 9a-9e recibe el ángulo de paso deseado para su respectiva ala desde el controlador 12 y la posición actual de su respectivo álabe desde su respectivo codificador de posición 11a-11e. El controlador del perfil de álabe 9a-9e determina hasta dónde conducir el álabe, y conduce al accionador 10a-10e a la posición deseada. El codificador de posición 11a-11e devuelve entonces la posición resultante del accionador 10a-10e al controlador del perfil de álabe 9a-9e.
- 25 **[0087]** Durante el funcionamiento normal, el controlador 12 recalcula el ángulo de paso deseado para cada perfil de álabe individualmente varias veces durante cada rotación del rotor, y el ángulo de paso para cada álabe varía, por tanto, en cada rotación.
- 30 **[0088]** En la presente forma de realización, los modos de control se eligen con el fin de controlar las características de ruido de la turbina. La memoria 22 almacena un primer modo de control que está configurado para la generación óptima de energía (modo normal) y un segundo modo de control que está configurado para el funcionamiento de la turbina con un nivel de ruido acústico reducido en comparación con el modo normal (modo de bajo nivel de ruido).
- 35 **[0089]** Por lo general, en el caso de una turbina eólica, existen dos fuentes de ruido. La primera es el ruido mecánico, como el que producen, por ejemplo, los rodamientos y los servomotores. Este se puede atenuar en la etapa de diseño mediante prácticas de diseño tales como la utilización de servomotores sin escobillas y la eliminación de engranajes.
- 40 **[0090]** La segunda fuente de ruido es el ruido aerodinámico. Este se genera mediante la creación de vórtices en los bordes de salida y/o las puntas de los álabes de la turbina. La medida en que se crean los vórtices depende, en parte, del ángulo de paso de los perfiles de álabes 2a-2e. La creación del vórtice se representa en la figura 3. El diagrama superior muestra los vórtices generados cuando el ángulo de ataque es pequeño. El diagrama inferior muestra los vórtices generados cuando el ángulo de ataque es mayor.
- 45 **[0091]** Por consiguiente, se puede reducir el ruido acústico de la turbina disminuyendo el ángulo de paso de los álabes en comparación con el ángulo de paso que se utilizará para la generación óptima de energía. Esto implica un par de fuerzas general inferior, lo cual deriva en velocidades de rotación más bajas y menos energía producida en comparación con el funcionamiento en modo normal para la misma velocidad del viento, dirección del viento y relación de velocidad en la punta del álabe.
- 50 **[0092]** En esta forma de realización, el modo normal comprende un algoritmo de modo normal, el cual está configurado para optimizar la producción de energía de la turbina eólica, y puede estar basado en modelos y/o en datos empíricos de la turbina. El modo de bajo nivel de ruido comprende un algoritmo de modo de bajo nivel de ruido, el cual está configurado con ángulos de paso reducidos para disminuir los niveles de ruido en relación con el rendimiento equivalente en el modo normal.
- [0093]** Durante el funcionamiento, la turbina alterna entre un modo y otro a través de órdenes del controlador 12 sin ninguna modificación física en el conjunto de turbina.
- 55 **[0094]** En la forma de realización anteriormente expuesta, el controlador 12 es operativo para alternar el modo de control en función de la hora del día. Esto permite que la turbina funcione durante la noche de forma distinta a durante el día. Este hecho puede resultar ventajoso cuando la turbina esté instalada en una zona urbana, especialmente en una zona residencial. Durante el día, cuando el ruido ambiental es alto (por ejemplo, a causa del tráfico), el funcionamiento de la turbina se controla en modo normal, lo cual es óptimo para la generación de

energía. Durante la noche, cuando hay menos ruido ambiental, la turbina cambia a modo de bajo nivel de ruido y la turbina produce menos ruido para una determinada velocidad del viento que si se encontrase en modo normal.

[0095] La presencia de modos alternativos que permitan el funcionamiento con reducción de ruido durante ciertas horas puede suponer una ventaja para la planificación. Se puede reducir el ruido de la turbina durante ciertas horas clave sin que sea necesario disminuir la potencia de la turbina hasta resultar en una menor generación de energía en todas las horas, o, de manera alternativa, funcionar a máxima potencia durante el día, pero siendo necesario desactivar la turbina durante la noche.

[0096] En otra forma de realización, se amplía este principio. El controlador 12 recibe datos desde el reloj 20 que comprenden información acerca del día de la semana. Los criterios de selección de modo almacenados en la memoria 22 estipulan que, si el día de la semana es sábado o domingo, el controlador 12 debe seleccionar el modo de bajo nivel de ruido durante el día entero; sin embargo, entre semana, el controlador 12 debe seleccionar el modo normal entre las 7 a. m. y las 9 p. m. y el modo de bajo nivel de ruido en las horas que no estén comprendidas en este intervalo. En otra forma de realización, los criterios de selección de modo especifican que se seleccione el modo normal en las horas que correspondan normalmente a las horas punta y/u otras horas en las que se espere un nivel elevado de ruido del tráfico, y en modo de bajo nivel de ruido durante otras horas.

[0097] En otra forma de realización, el modo de bajo nivel de ruido se utiliza durante el día y el modo normal durante la noche. Por ejemplo, se instala una turbina en un jardín botánico o en otro lugar turístico que únicamente esté abierto al público durante el día, y que se encuentre alejado de zonas residenciales. Durante el día, cuando hay visitantes, la turbina funciona en modo de bajo nivel de ruido, con la correspondiente reducción en la generación de energía. Durante la noche, cuando no hay visitantes en el lugar, la turbina funciona en modo normal, maximizando la generación de energía. Se pueden aplicar consideraciones similares a otros lugares no residenciales.

[0098] En otra forma de realización, los criterios de selección de modo abarcan la época del año. En un destino turístico que únicamente o predominantemente funcione durante el verano, se destinarán más horas para el modo de bajo nivel de ruido en verano. Fuera de esta temporada, la turbina funcionará a máxima potencia durante más tiempo o durante todo el tiempo.

[0099] En las formas de realización expuestas anteriormente, los criterios de selección de modo están almacenados en la memoria 22 y el controlador 12 selecciona el modo de control en relación con los criterios de selección de modo. En otras formas de realización, el controlador 12 selecciona el modo de control según una entrada del usuario. Por ejemplo, en la época del año de la situación expuesta anteriormente, un operario ordena al controlador 12 que cambie el modo por medio de una señal inalámbrica, escribiendo en un teclado conectado al controlador 12, accionando un interruptor, o a través de cualquier medio de comunicación de datos o activación de un dispositivo de entrada apropiado. Esto proporciona al controlador una entrada de modo 18. A pesar de que este método es más adecuado para cambios ocasionales de modo que para cambios frecuentes, también puede darse incluso el caso de que se lleven a cabo cambios frecuentes por parte de un operario. En este caso, puede no ser necesario que haya ningún criterio de selección de modo almacenado en la memoria, puesto que un operario decidirá y comunicará la totalidad de los cambios de modo. De manera alternativa, puede existir una combinación de criterios de selección de modo almacenados y órdenes del operario. Por ejemplo, en una forma de realización, los criterios de selección de modo almacenados realizan cambios diarios entre el modo normal y el modo de bajo nivel de ruido, pero un operario puede anular los ajustes instalados, por ejemplo, para establecer el modo de bajo nivel de ruido para un acontecimiento especial, o para cambiar al modo de bajo nivel de ruido para un festivo local que no haya sido programado en los criterios de selección de modo.

[0100] El modo de bajo nivel de ruido puede estar configurado para alcanzar un ruido promedio reducido en relación con el modo normal en cada conjunto individual de condiciones operativas o cuando se distribuya a lo largo del tiempo o en todas las velocidades del viento, o, por el contrario, puede estar configurado para la reducción de la generación de ruido máxima.

[0101] En las formas de realización expuestas anteriormente, los criterios de selección de modo incluyen únicamente información procedente del reloj 20 (incluyendo información sobre el calendario). En otras formas de realización, la selección del modo normal frente al modo de bajo nivel de ruido se basa en entradas alternativas o adicionales 18. Por ejemplo, en una forma de realización, se configura una turbina montada en un edificio para que funcione en un modo de bajo nivel de ruido cuando haya gente trabajando en el interior del edificio. Este hecho se determina conectando el controlador 12 al sistema de entrada del edificio, lo cual proporciona datos acerca de la ocupación del edificio en función de los datos provenientes de tarjetas magnéticas utilizadas para la entrada en el edificio como entrada de modo 18.

[0102] En otras formas de realización, el ruido acústico se mide utilizando un sensor de ruido acústico. En una forma de realización, se coloca un sensor acústico a una distancia apropiada de la turbina, de tal forma que mide el nivel de ruido de fondo en las proximidades de la turbina, en lugar del ruido de la propia turbina. El sensor de ruido acústico está conectado al controlador 12 y proporciona datos 18 sobre el ruido acústico al controlador 12. Los criterios de selección de modo están configurados para determinar la elección de modo en función del nivel de ruido acústico de fondo que mida el sensor de ruido acústico, mediante la comparación del ruido acústico medido

con un umbral. Si el ruido acústico de fondo que se ha medido sobrepasa el umbral, los criterios de selección de modo indican que el controlador 12 debería seleccionar el modo normal. Si el ruido acústico de fondo medido es inferior al umbral, el controlador 12 selecciona el modo de bajo nivel de ruido.

5 **[0103]** En formas de realización alternativas, se mide el ruido acústico generado en el emplazamiento de la turbina por medio de un sensor de ruido acústico situado en la turbina. En una forma de realización, el ruido acústico medido en la turbina se compara con el ruido acústico medido como ruido de fondo.

10 **[0104]** A pesar de que cada una de las formas de realización expuestas anteriormente describe el empleo de dos modos de control (un modo normal y un modo de bajo nivel de ruido), es evidente que se puede utilizar cualquier número de modos. En algunas formas de realización, todos estos pueden ser modos de ruido limitado, sin que exista una maximización de la generación de energía. Por ejemplo, un controlador 12 puede estar configurado para almacenar en la memoria 22 tres o más modos que hayan sido calculados para incorporar distintos umbrales de ruido acústico. Los criterios de selección de modo pueden estar basados en una serie de entradas externas, parámetros temporales, o una combinación de ambos.

15 **[0105]** El ruido acústico es, básicamente, un ejemplo de por qué puede ser deseable que una turbina eólica presente dos o más modos de control. Se pueden contemplar muchas otras formas de realización, que no se limitan a las descritas en el presente documento.

[0106] Por ejemplo, la turbina puede presentar modos de control que se seleccionen en función del entorno de la turbina, incluyendo las condiciones meteorológicas. A continuación, se describen dichas formas de realización ambientales.

20 **[0107]** De manera adicional o alternativa, se pueden seleccionar los modos de control en función de factores que sean concretos de cada lugar de instalación de la turbina, como la topografía del sitio o la presencia de edificios cercanos u otros obstáculos. Dichos modos específicos de la instalación se describen también más adelante. Estos incluyen formas de realización en las que el primer modo de control provoca que la turbina gire en la dirección opuesta del segundo modo de control.

25 **[0108]** En una forma de realización, un primer modo está configurado para optimizar la generación de energía (modo normal) y un segundo modo (modo de reducción de parpadeo) está configurado para controlar la velocidad de rotación de la turbina con el objetivo de evitar el parpadeo de sombras. Aunque se sabe que las turbinas VAWT producen un menor parpadeo de sombras que las HAWT, aún puede haber momentos del día o condiciones de sol concretas en las que el parpadeo de sombras suponga un inconveniente. El modo de reducción de parpadeo controla la velocidad de rotación de la turbina para evitar frecuencias clave en las que se crea que el parpadeo pueda suponer un problema. En una forma de realización, el controlador 12 selecciona el modo de reducción de parpadeo en determinadas horas del día (que dependan de la época del año, para abarcar las horas de luz solar). En una segunda forma de realización, un sensor de luz proporciona datos 18 al controlador 12. El controlador 12 selecciona el modo de control en función de la salida del sensor de luz (el modo de reducción de parpadeo no es necesario cuando el sensor de luz indica que hay poca luz). En una tercera forma de realización, el controlador 12 selecciona el modo de control en función de los datos meteorológicos 18 medidos o aportados (por ejemplo, desde una estación meteorológica o desde el servicio meteorológico nacional) y solamente emplea el modo de reducción de parpadeo cuando hace sol. Durante el resto del tiempo, se selecciona el modo normal para maximizar la generación de energía.

30 **[0109]** En otra forma de realización, se añade un sensor ambiental al aparato de la figura 4. Este sensor detecta un parámetro ambiental, por ejemplo, un parámetro meteorológico, o un parámetro de ruido acústico. En algunas formas de realización, el sensor es un sensor meteorológico. El sensor meteorológico envía datos sobre el tiempo atmosférico al controlador 12, que selecciona un modo en función de los datos del tiempo atmosférico utilizando criterios apropiados de selección de modo. En otras formas de realización, el controlador 12 selecciona un modo en función de los datos acerca del tiempo meteorológico y también sobre la hora del día, el día de la semana, o la época del año, según lo determinado por la entrada del reloj 20.

35 **[0110]** El sensor meteorológico puede comprender un sensor de temperatura, un sensor de presión barométrica, un sensor de precipitación, un sensor de humedad o un sensor de velocidad escalar o velocidad vectorial del viento. Un sensor de velocidad escalar del viento puede ser el sensor de velocidad escalar del viento 14 o un sensor adicional de velocidad escalar del viento. El sensor meteorológico puede estar situado en la turbina, sobre un mástil situado encima de la turbina, o en las proximidades de la turbina. El sensor meteorológico está en comunicación con el controlador 12 a través de un cable fijo, de forma inalámbrica, o mediante cualquier método o protocolo de comunicación adecuado. En una forma de realización concreta, el sensor meteorológico es un sensor de temperatura, que está montado sobre la torre de la turbina.

50 **[0111]** La temperatura del aire repercute en el rendimiento de la turbina. Cuando la temperatura es alta, el aire es menos denso y, por lo tanto, ofrece una menor resistencia a los álabes de la turbina. Por consiguiente, puede ser deseable modificar los ángulos de paso calculados en función de la temperatura. Se puede medir la temperatura en el emplazamiento de la turbina, en un lugar cercano, o puede ser una estimación o pronóstico, por ejemplo, del servicio meteorológico nacional.

[0112] En una forma de realización, los modos de control para la turbina son un modo normal que selecciona el controlador 12 con temperaturas del aire de hasta 30 °C, y un modo de temperatura elevada que se selecciona con temperaturas superiores a 30 °C. Se pueden considerar también otras condiciones meteorológicas. Por ejemplo, cuando exista la posibilidad de que empiece a formarse hielo sobre la turbina, los álabes se pueden tornar más pesadas y difíciles de mover, y el perfil aerodinámico de los álabes puede cambiar. Por lo tanto, puede ser preferible detener el movimiento de los álabes, mover los álabes más lentamente, o mover los álabes con menor frecuencia. Por consiguiente, en una forma de realización, el controlador 12 puede seleccionar el modo normal cuando la temperatura medida sea superior a un umbral de temperatura (por ejemplo, 4 °C), y, por debajo de esa temperatura, puede seleccionar un modo en que se reduzca el movimiento de accionamiento de los álabes en comparación con el funcionamiento en el modo normal para la misma velocidad del viento. La selección de modo también puede llevarse a cabo en función del nivel de humedad del aire, seleccionándose el modo normal incluso cuando la temperatura medida sea inferior al umbral de temperatura si el nivel de humedad es bajo.

[0113] Las turbinas eólicas se pueden instalar en cualquiera de entre una gran variedad de emplazamientos. Las formas de realización expuestas anteriormente han descrito principalmente instalaciones urbanas. No obstante, se pueden instalar turbinas en zonas industriales, suburbanas o rurales, o en una costa, en una ladera, en un valle o en cualquier otro emplazamiento geográfico. Se pueden instalar turbinas sobre un tejado o entre edificios. Cada una de estas condiciones de instalación conllevará distintos requisitos necesarios para el rendimiento de la turbina. Por ejemplo, una instalación sobre un tejado o en la costa puede estar más expuesta a vientos fuertes que un emplazamiento más resguardado. Un emplazamiento urbano o suburbano puede verse afectado por requisitos de nivel acústico como los que se han detallado anteriormente. Especialmente, la topografía del emplazamiento afectará al funcionamiento de la turbina.

[0114] Las figuras 5a y 5b muestran una turbina eólica instalada en una ladera. La figura 5a muestra una dirección del viento, y un plano de vista, perpendiculares a la dirección de la pendiente de la colina. Cuando el viento sopla en la dirección representada en la figura 5a, el funcionamiento de la turbina es similar al funcionamiento de la turbina en un sitio llano y sin obstáculos. El flujo de viento incidente es relativamente uniforme a lo largo del área de barrido de la turbina. En cambio, cuando el viento sopla hacia arriba en la colina, como se representa en la figura 5b, el flujo de aire que pasa a través de la turbina no es perpendicular al eje de rotación de la turbina, y además es probable que sea más turbulento. Esto puede precisar un modo de control diferente al modo de control necesario para la dirección del viento en la figura 5a.

[0115] Se dan condiciones similares cuando se instala una turbina sobre un acantilado, o en un el borde de un edificio. En cualquiera de estas situaciones, el viento que sopla sobre el borde hacia la turbina fluye de forma distinta a través del área de barrido de la turbina de lo que lo hace el flujo de aire desde la dirección opuesta.

[0116] Especialmente en emplazamientos urbanos, los obstáculos suponen también un problema para la instalación de la turbina. Por ejemplo, la presencia de algunos edificios puede afectar al flujo de aire cuando el viento proceda de ciertas direcciones. Esto provoca diferentes condiciones de la turbina para distintas direcciones del viento, lo cual puede precisar el uso de diversos modos de control.

[0117] En otra forma de realización, una turbina eólica como la de la figura 1 se controla por medio de un controlador 12, según se describe en la primera forma de realización y se representa en la figura 2. Para una versión de esta forma de realización, se puede suprimir el reloj 20. La turbina eólica se instala en la zona umbría y ventosa de un edificio, como se representa en la figura 6a y en la figura 6b. Este edificio tiene un efecto sobre el flujo de aire de la turbina. En lugar de ser igual el flujo de aire en el todo el ancho de la turbina, el flujo de aire en un lado de la turbina se ve afectado por el edificio, mientras que el flujo de aire en el otro lado de la turbina se ve menos afectado. Por ejemplo, en la figura 5a, el lado derecho de la turbina experimenta un flujo de aire más útil que el lado izquierdo de la turbina. La dirección de incidencia del viento también es distinta en la parte frontal de la turbina.

[0118] Se podrá comprender que, en una condición de velocidad y dirección del viento iguales en toda la dimensión de la turbina que sean perpendiculares a la dirección del viento, la turbina funcionará con la misma generación de energía si se mueve en una dirección de rotación que si se mueve en la otra dirección. No obstante, si el viento es más intenso en un lado de la turbina que en el otro, puede haber una dirección de rotación preferida en la que la turbina generará más energía. En la figura 6a, la presencia del edificio implica que la turbina generará más energía si funciona en una dirección de rotación contraria al sentido de las agujas del reloj que si funciona en una dirección en el sentido de las agujas del reloj. Del mismo modo, en la figura 6b, la turbina generará más energía si rota en una dirección en el sentido de las agujas del reloj.

[0119] Por lo tanto, en la forma de realización actual, la memoria 22 almacena dos modos de control, donde el primer modo de control comprende un algoritmo de modo de control que deriva en el funcionamiento de la turbina con una rotación del rotor en el sentido de las agujas del reloj, y el segundo modo de control comprende un algoritmo de modo de control que deriva en el funcionamiento de la turbina con una rotación del rotor en el sentido contrario a las agujas del reloj.

[0120] El controlador 12 selecciona el modo de control y se comunica con los dispositivos de accionamiento para controlar el paso de los álabes de tal forma que el rotor gire en la dirección del modo de control seleccionado. Se

puede alternar el rotor entre una dirección de rotación y la otra mediante el control de los dispositivos de accionamiento para controlar los ángulos de los perfiles de álabes, sin necesidad de aplicar otras modificaciones físicas en el conjunto de la turbina. No es necesario un proceso de fabricación o unas herramientas distintas para una rotación en el sentido de las agujas del reloj que el o las que se precisa(n) para una rotación en el sentido contrario a las agujas del reloj. La turbina eólica, controlada mediante el controlador 12 de la presente forma de realización, es capaz de girar en ambas direcciones de rotación.

[0121] En una forma de realización, la memoria 22 almacena criterios de selección de modo en los que se determina el modo de control seleccionado en función de condiciones operativas, tales como la dirección del viento. Este hecho se puede emplear para controlar la dirección de rotación de la turbina para lograr el mejor rendimiento de la turbina en una localización en la que el flujo de aire se vea afectado por la presencia de un edificio cercano u otro obstáculo u obstáculos cercano(s).

[0122] En la actual forma de realización, el controlador 12 selecciona un modo de control para la dirección de rotación en el sentido de las agujas del reloj o un modo de control para la dirección de rotación en el sentido contrario de las agujas del reloj en función de criterios de selección de modo que hayan sido diseñados para el emplazamiento actual de la turbina, conociendo los edificios que bloquean el flujo de aire. Es bien sabido que, cuando el viento proviene de ciertas direcciones, es preferible la dirección en el sentido de las agujas del reloj, y, para otras direcciones, es preferible la dirección en el sentido contrario de las agujas del reloj. Por lo tanto, el controlador 12 selecciona el modo de control en función de la dirección del viento. En una variante de esta forma de realización, el cálculo de los criterios de selección de modo se realiza obteniendo modelos del emplazamiento para la turbina con distintas direcciones de viento. En otra variante, se determina empíricamente el modo de control preferido para cada dirección de viento tras la instalación de la turbina.

[0123] En algunas circunstancias, por ejemplo, si la turbina está localizada en un lugar abierto, puede no haber diferencias en la generación de energía u otros factores de rendimiento en función de la dirección de rotación de la turbina. Sin embargo, si la turbina funciona siempre en una dirección de rotación, el desgaste en los rodamientos y en otras partes mecánicas ocurrirá siempre en los mismos sitios. Si la turbina funciona en la otra dirección de rotación durante parte del tiempo, los puntos de desgaste se desplazarán. Si el controlador 12 está configurado para hacer funcionar la turbina usando ambas direcciones de rotación, con cierta alternancia entre las dos direcciones, el desgaste en el sistema puede estar más equilibrado. Este hecho puede alargar la vida útil de la unidad, reducir los requisitos de mantenimiento, o ampliar los intervalos de mantenimiento.

[0124] En una forma de realización, el controlador 12 comprende un reloj 20. Los criterios de selección de modo en la memoria 22 especifican un programa en el cual se cambia la frecuencia de rotación. En esta forma de realización, se elige la frecuencia de los cambios de dirección para minimizar la pérdida de energía debido a los cambios de dirección modificando la dirección de la turbina una vez a la semana. En otras formas de realización, se puede modificar la dirección con mayor o menor frecuencia. En otras formas de realización, se cambia la dirección en respuesta a las órdenes de un operario, en lugar de realizarse de manera automática en función del reloj.

[0125] Se puede controlar el programa de cambios de dirección de tal forma que la cantidad de tiempo empleada en cada dirección de rotación sea aproximadamente equivalente, o se encuentre dentro de cierto margen. Por ejemplo, el programa de cambios de dirección puede ser tal que, durante un período de tiempo predeterminado, por ejemplo, un mes, el tiempo empleado en la rotación en el sentido de las agujas del reloj sea equivalente al tiempo empleado en la rotación en el sentido contrario al de las agujas del reloj, añadiendo o restando un 5 %, 10 % o 20 %.

[0126] En una forma de realización alternativa, un contador cuenta el número de rotaciones de la turbina y envía estos datos al controlador 12. Los criterios de selección de modo especifican un número de rotaciones de la turbina, por ejemplo 100 000 rotaciones. Cuando se alcanza este número de rotaciones, el controlador 12 ralentiza la turbina hasta detenerla, cambia el modo de control a uno en la dirección de rotación opuesta, y reinicia la turbina. Las rotaciones se pueden planear, de tal forma que el número de rotaciones en rotación en el sentido de las agujas del reloj sea considerablemente equivalente al número de rotaciones en rotación en el sentido contrario al de las agujas del reloj, o difieran en, por ejemplo, no más de más o menos un 5 %, 10 % o 20 % durante un período de tiempo predeterminado, por ejemplo, un mes.

[0127] Por ejemplo, un componente que está sometido a desgaste son los rodamientos del perfil de álabes. Estos se pueden revisar como parte de un programa de mantenimiento convencional. El intervalo de cambio de dirección de rotación se puede predeterminar en el momento de fabricación o instalación, o se puede revisar a lo largo de la vida útil del dispositivo, por ejemplo, utilizando los resultados de inspecciones habituales.

[0128] En algunas formas de realización, el controlador determina cuando se invierte la dirección de rotación en función de la condición, p. ej., el nivel de desgaste, de un componente del sistema. En algunas de dichas formas de realización, el controlador puede invertir la dirección de rotación en función de la salida de un sensor de desgaste que mida el nivel de desgaste del componente en cuestión. El controlador puede monitorizar el nivel de desgaste utilizando la salida del sensor.

- 5 **[0129]** En otra forma de realización, los criterios de selección de modo especifican que, en cualquier momento en el que la turbina disminuya la velocidad hasta su detención, el controlador 12 reiniciará la turbina en la dirección de rotación opuesta a la dirección en la que había estado funcionando previamente. Cualquiera de estos criterios, u otros, se puede combinar para tratar de equilibrar el desgaste. Por ejemplo, los criterios de modo pueden tratar de equilibrar el número de rotaciones en cada dirección que tengan lugar con altas velocidades de viento. Las rotaciones que tengan lugar con altas velocidades de viento pueden suponer un mayor desgaste en la turbina que las que tienen lugar a velocidades inferiores. Por lo tanto, puede ser más importante equilibrar estas rotaciones que equilibrar rotaciones con velocidad inferior.
- 10 **[0130]** En otra forma de realización, la dirección de rotación se modifica incluso cuando esto deterioraría el rendimiento. En un ejemplo como tal, la turbina presenta una dirección de rotación favorecida para la generación de energía, pero funciona en su dirección de rotación menos favorecida en períodos de poca demanda para reducir el desgaste.
- 15 **[0131]** Los modos de control con direcciones de rotación opuestas según se han descrito anteriormente se pueden combinar con modos de control dirigidos a otros parámetros de rendimiento, tales como los modos de bajo nivel de ruido, de reducción de parpadeo o meteorológico descritos en formas de realización anteriores.
- 20 **[0132]** En otras formas de realización, se añaden modos de control en la memoria 22 (durante la fabricación, durante la instalación o durante cualquier otro momento) en función del emplazamiento de instalación propuesto o real de la turbina. Por ejemplo, cuando se instale una turbina en una playa, se añadirán modos de control que controlen el rendimiento para el ruido acústico, según se ha descrito anteriormente, y además para el rendimiento con condiciones meteorológicas distintas. En estas formas de realización, únicamente se almacenan en la memoria los modos de control apropiados para la instalación. Por ejemplo, una turbina que se instale en un clima frío no se instalará con un modo de temperatura elevada.
- 25 **[0133]** En formas de realización alternativas, todos los modos de control que hayan sido desarrollados para una turbina concreta se almacenan en la memoria 22. La selección de estos modos de control depende de los criterios de selección de modo. Los criterios de selección de modo pueden estar adaptados para el emplazamiento concreto de la instalación. De forma alternativa, los criterios de selección de modo pueden ser criterios generales que puede que nunca se cumplan para una turbina concreta. Por ejemplo, una turbina instalada en un clima frío puede presentar un modo de alta temperatura almacenado en la memoria 22, pero este modo de control puede que nunca sea seleccionado por el controlador 12 en función de los criterios de selección de modo debido a que el controlador 12 nunca reciba una entrada que indique una temperatura lo suficientemente elevada.
- 30 **[0134]** En otras formas de realización, se puede almacenar cualquier cantidad de modos de control en la memoria, o se pueden añadir en la memoria. Los criterios de selección de modo pueden seleccionar entre cualquier cantidad de modos de control, y pueden estar basados en cualquier cantidad de parámetros de entrada o de selección.
- 35 **[0135]** Todos los modos de control implican controlar el ángulo de ataque del perfil de álabe, y no implican modificaciones físicas en el conjunto de la turbina. La elección de modos y la alternancia entre modos se controla mediante el controlador 12, ya sea de forma automática, o en respuesta a órdenes por parte de un operario.
- 40 **[0136]** En las formas de realización anteriores, los modos de control y los criterios de alternancia entre modos almacenados en la memoria 22 se instalan cuando se fabrica la turbina. En formas de realización alternativas, los modos de control y/o los criterios de alternancia entre modos se modifican a lo largo de la vida útil de la turbina. Esto puede ocurrir debido a una serie de motivos. Se puede experimentar un cambio en el entorno de la turbina. Por ejemplo, una fábrica puede haber sido construido en las proximidades de una turbina en una zona que, de lo contrario, sería tranquila. Por lo tanto, los criterios de alternancia entre modos se pueden modificar de tal forma que, en lugar de que el controlador 12 seleccione el modo normal desde las 7 a. m. hasta las 9 p. m. y el modo de bajo nivel de ruido en las horas no comprendidas en este intervalo, el controlador 12 selecciona el modo normal durante todas las horas en las que esté activa la fábrica (por ejemplo, 24 horas al día, 5 días a la semana) y selecciona el modo de bajo nivel de ruido únicamente cuando la fábrica no se encuentre operativa (por ejemplo, los fines de semana).
- 45 **[0137]** Los modos de control también se pueden modificar para aplicar algoritmos de modo de control mejorados. Se pueden mejorar los algoritmos mediante nuevos cálculos o resultados de simulación, o se pueden adaptar en función de la obtención de datos operativos desde la turbina actual instalada o desde turbinas similares instaladas en otro emplazamiento.
- 50 **[0138]** En una forma de realización, los nuevos algoritmos de modo de control y/o los criterios de alternancia entre modos se cargan en la memoria utilizando una memoria USB, de forma inalámbrica, escribiendo en un teclado, o utilizando cualquier otro método de entrada apropiado, *in situ* o de forma remota.
- 55 **[0139]** Aunque las formas de realización descritas comprenden turbinas eólicas de eje vertical, en las que el eje de rotación es considerablemente vertical, en formas de realización alternativas el rotor de las formas de realización descritas puede estar situado en su lado, o en cualquier ángulo intermedio adecuado. De forma adicional, no es necesario que la turbina descrita sea una turbina eólica. Las turbinas hidráulicas también pueden aprovechar el control continuo del ángulo del álabe y el uso de al menos dos modos de control según se ha descrito en las formas

de realización anteriores. Como se comprenderá, el funcionamiento de una turbina impulsada por agua es similar al de una turbina impulsada por viento, aunque presenta una escala distinta de las fuerzas previstas y de la velocidad de la corriente de agua. En el caso de una turbina de corriente de agua, los álabes pueden ser álabes de hidroalas.

- 5 **[0140]** Dicha turbina impulsada por agua se puede situar con cualquier orientación adecuada. Se pueden desarrollar modos de control para adaptarse a las condiciones concretas del agua.

[0141] Como se comprenderá, la presente invención ha sido descrita anteriormente únicamente a modo de ejemplo, y se pueden realizar modificaciones de detalles dentro del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Controlador para una turbina de eje vertical,

comprendiendo la turbina un rotor que comprende una pluralidad de perfiles de álabes o de hidroalas dispuestos para su rotación en torno a un eje del rotor, donde:-

5 el controlador está configurado, para cada uno de al menos dos modos de control, para controlar el paso de cada álabe en función de un respectivo algoritmo de modo de control, donde el algoritmo de modo de control está configurado para controlar el paso de cada álabe repetidamente durante cada rotación del rotor en función de una posición acimutal de ese álabe y en función de al menos una de entre la velocidad escalar del fluido, la velocidad vectorial del fluido, la velocidad escalar del álabe, la velocidad vectorial del álabe, y la relación de velocidad en el extremo del aspa;

10 el controlador está configurado para seleccionar un modo de control de entre al menos dos modos de control almacenados en función de al menos un parámetro que no sea la velocidad del fluido ni la velocidad del álabe, o en función de la entrada del usuario; y

15 para al menos algunas posiciones acimutales y al menos una velocidad de fluido y/o relación de velocidad en el extremo del aspa, el paso del álabe en función de la posición acimutal es distinta para un primer modo de control de la de un segundo modo de control.
2. Controlador de acuerdo con la reivindicación 1, configurado además para que el primero y el segundo modos de control controlen el paso de cada álabe en función de al menos una de entre: velocidad escalar o vectorial del rotor o del álabe, velocidad o dirección del fluido, relación de velocidad en el extremo del aspa.
- 20 3. Controlador de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, donde al menos uno de a), b) o c):-
 - a) cada uno de los al menos dos modos de control está configurado para controlar el paso de cada álabe en un intervalo de velocidades de fluido, por ejemplo, velocidades de viento, desde una velocidad de fluido de cero hasta un límite operativo de velocidad de fluido de la turbina.
 - 25 b) cada uno de los al menos dos modos de control está configurado para controlar el paso de cada álabe en un intervalo de relaciones de velocidad en el extremo del aspa desde cero hasta la relación de velocidad máxima en el extremo del aspa de la turbina.
 - c) el primero de los al menos dos modos de control almacenados comprende un primer modo de puesta en marcha y un primer modo operativo, y el segundo de los modos de control comprende un segundo modo de puesta en marcha y un segundo modo operativo.
- 30 4. Controlador de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, configurado además para seleccionar uno de los al menos dos modos de control almacenados en función de un parámetro temporal, donde el parámetro temporal comprende al menos uno de entre una hora del día, un día de la semana, o una época del año.
5. Controlador de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, configurado además para seleccionar uno de los al menos dos modos de control almacenados en función de una salida de un sensor, donde

35 opcionalmente:-

el sensor comprende al menos uno de entre: un sensor ambiental, un sensor meteorológico, un sensor acústico, un sensor de luz, un sensor de hielo, o un sensor de desgaste, y

opcionalmente además:-

40 el sensor meteorológico comprende al menos uno de entre un sensor de temperatura, un sensor de presión barométrica, un sensor de precipitación, un sensor de humedad, un sensor de velocidad del viento o un sensor de dirección del viento.
6. Controlador de acuerdo con cualquier reivindicación anterior donde al menos uno de los al menos dos modos de control almacenados está configurado para cumplir una restricción sobre al menos una de entre: la velocidad de rotación, la generación de energía, el par de fuerzas, el ruido acústico.
- 45 7. Controlador de acuerdo con cualquier reivindicación anterior donde el primero de los al menos dos modos de control almacenados presenta una dirección de rotación opuesta del rotor con respecto al segundo de los modos de control.
8. Controlador de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, configurado además para seleccionar uno de los al menos dos modos de control en función de al menos un parámetro ambiental, y

50 opcionalmente:-

el parámetro ambiental comprende al menos uno de entre: temperatura, presión barométrica, precipitación, humedad, velocidad vectorial de fluido o velocidad escalar de fluido.
9. Controlador de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, configurado para seleccionar uno de los al menos dos modos de control en función de una condición de al menos un componente de la turbina, opcionalmente en función de un nivel de desgaste del al menos un componente.
- 55 10. Controlador de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde cada paso de cada álabe es orientable al menos $\pm 180^\circ$.

11. Controlador de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde al menos uno de a), b) o c):-
- 5 a) el controlador comprende además una memoria que almacena al menos uno de los modos de control almacenados y/o al menos un criterio de selección de modo;
- b) los modos de control almacenados y/o al menos un criterio de selección se selecciona(n) en función de al menos una propiedad del emplazamiento en el que se instale la turbina;
- c) el controlador está configurado para invertir la dirección de rotación del rotor mediante el funcionamiento de al menos un dispositivo de accionamiento, donde cada dispositivo de accionamiento funciona para modificar el paso de al menos un álabe.
12. Controlador de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde al menos uno de los dos modos de control almacenados está configurado para controlar una velocidad de rotación del rotor para evitar el parpadeo de sombras.
13. Controlador de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde al menos uno de los modos de control almacenados y/o al menos un criterio de selección se selecciona en función de al menos uno de entre una topografía del lugar, la presencia de un edificio, la presencia de un obstáculo.
- 15 14. Método para controlar una turbina de eje vertical, comprendiendo la turbina un rotor que comprende una pluralidad de perfiles de álabes o de hidroalas dispuestos para su rotación en torno a un eje del rotor, y comprendiendo el método:
- 20 para cada uno de al menos dos modos de control, controlar el paso de cada álabe en función de un respectivo algoritmo de modo de control, donde el algoritmo de modo de control está configurado para controlar el paso de cada álabe repetidamente durante cada rotación del rotor en función de una posición acimutal para ese álabe y en función de al menos una de entre la velocidad escalar del fluido, la velocidad vectorial del fluido, la velocidad escalar del álabe, la velocidad vectorial del álabe, y la relación de velocidad en el extremo del aspa; seleccionar un modo de control de entre al menos dos modos de control almacenados en función de al menos un parámetro que no sea la velocidad del fluido ni la velocidad del álabe, o en función de la entrada del usuario;
- 25 y
- para al menos algunas posiciones acimutales y al menos una velocidad del fluido y/o relación de velocidad en el extremo del aspa, el paso del álabe en función de la posición acimutal es distinta para un primer modo de control de la de un segundo modo de control.
15. Aparato de turbina de eje vertical que comprende
- 30 un rotor que comprende una pluralidad de perfiles de álabes o de hidroalas dispuestos para su rotación en torno a un eje del rotor, y
- un controlador configurado, para cada uno de al menos dos modos de control, para controlar el paso de cada álabe en función de un respectivo algoritmo de modo de control, donde el algoritmo de modo de control está configurado para controlar el paso de cada álabe repetidamente durante cada rotación del rotor en función de una posición acimutal para ese álabe y en función de al menos una de entre la velocidad escalar del fluido, la velocidad vectorial del fluido, la velocidad escalar del álabe, la velocidad vectorial del álabe, y la relación de velocidad en el extremo del aspa, donde:-
- 35 el controlador está configurado para seleccionar un modo de control de entre al menos dos modos de control almacenados en función de al menos un parámetro que no sea la velocidad del fluido ni la velocidad del álabe, o en función de la entrada del usuario; y
- 40 para al menos algunas posiciones acimutales y al menos una velocidad del fluido y/o relación de velocidad en el extremo del aspa, el paso del álabe en función de la posición acimutal es distinta para un primer modo de control de la de un segundo modo de control.

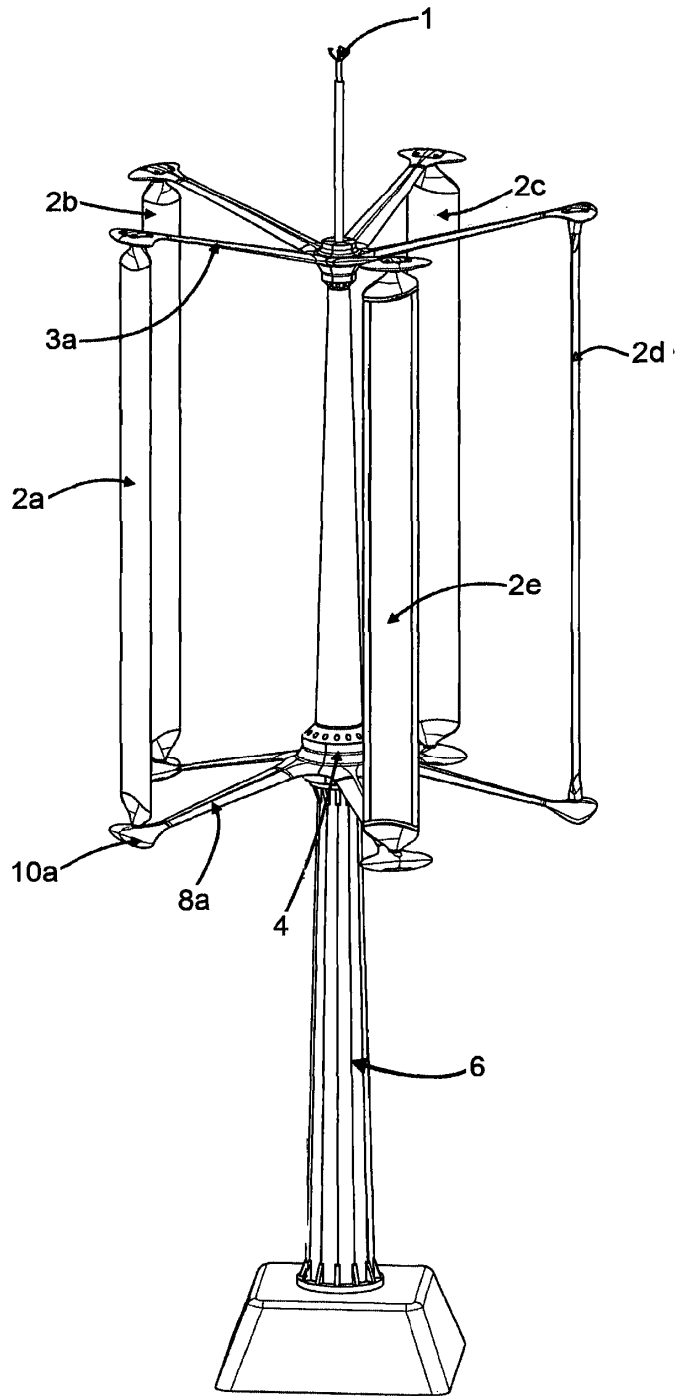


Fig. 1

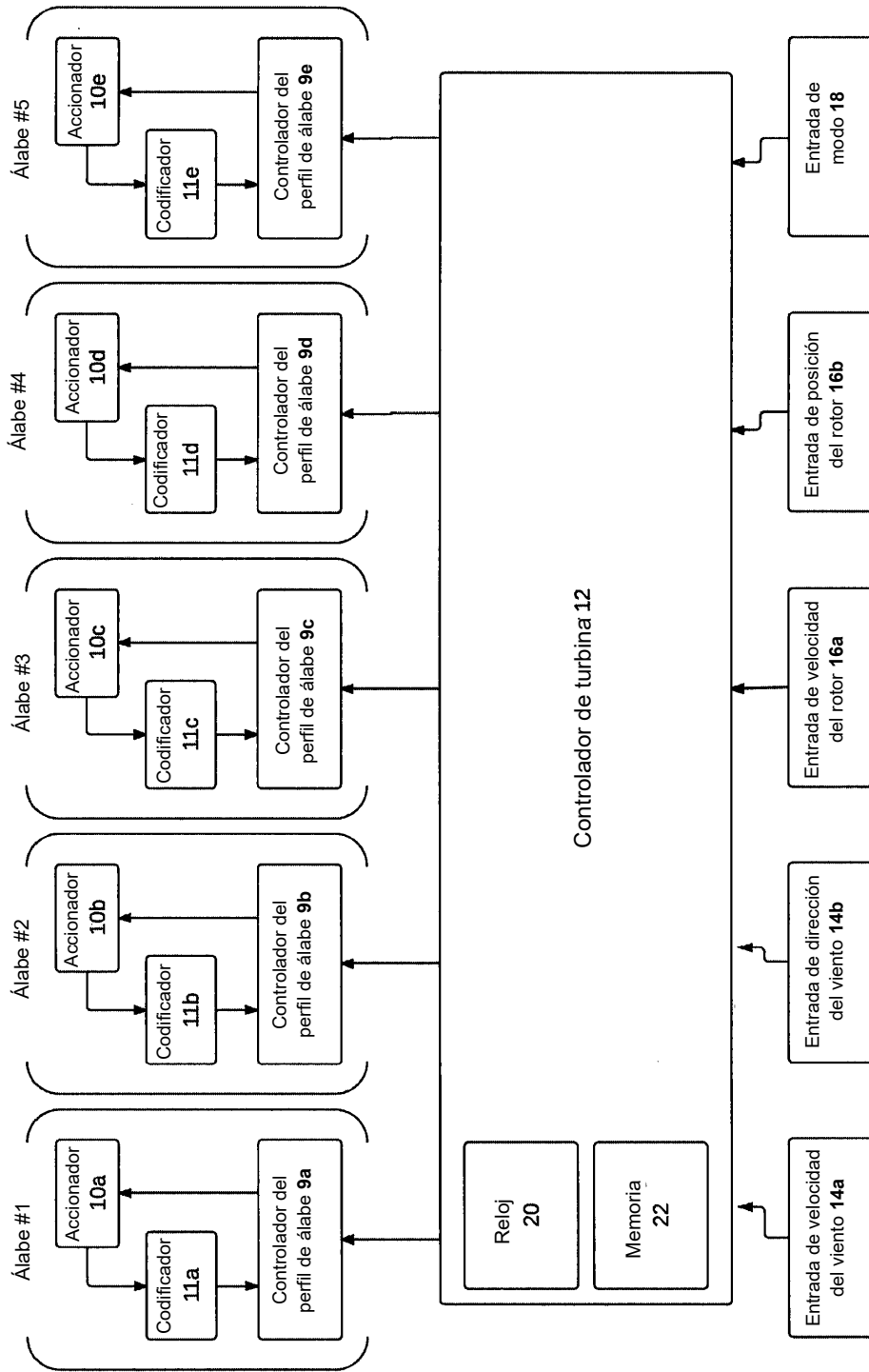


Fig. 2

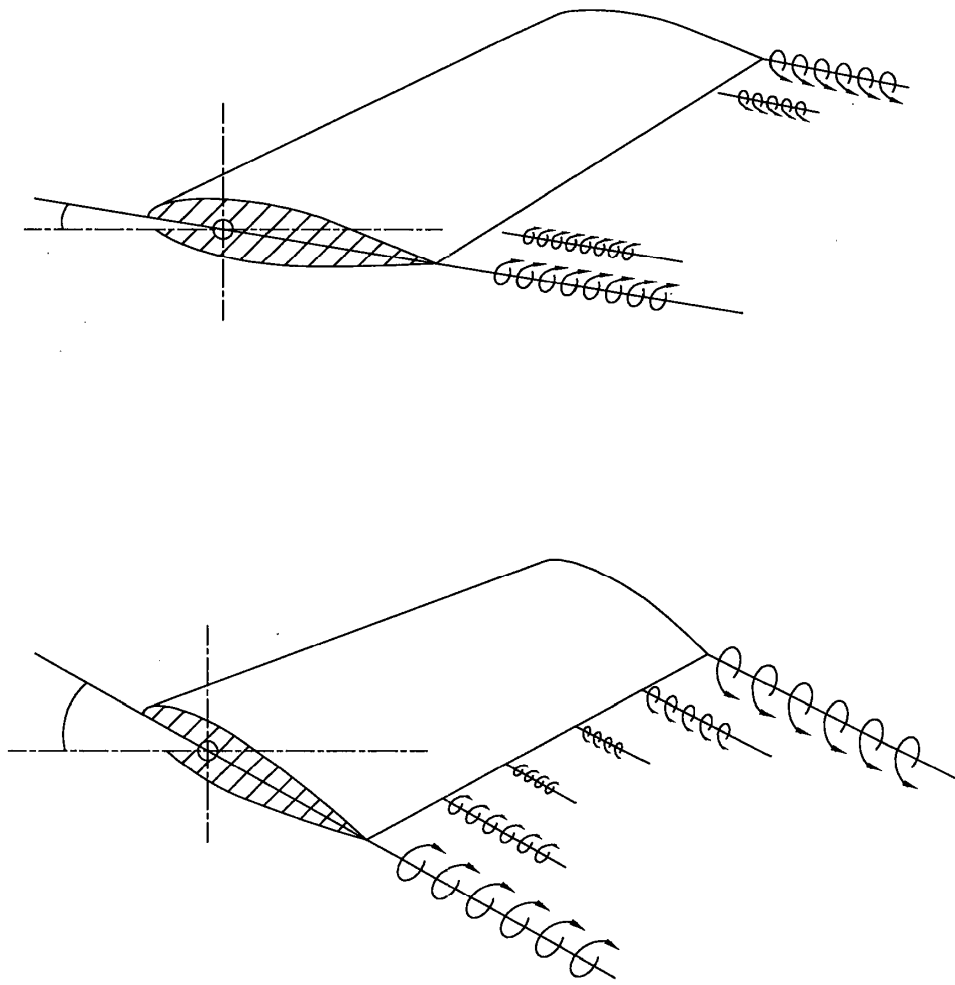


Fig. 3

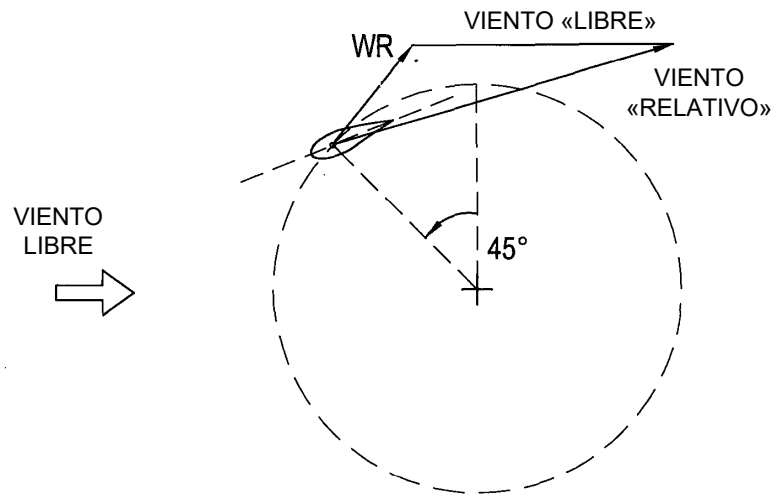


Fig. 4a

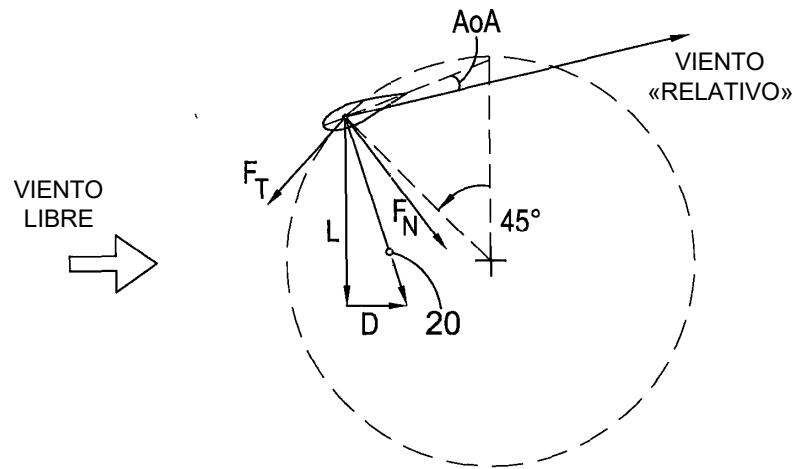


Fig. 4b

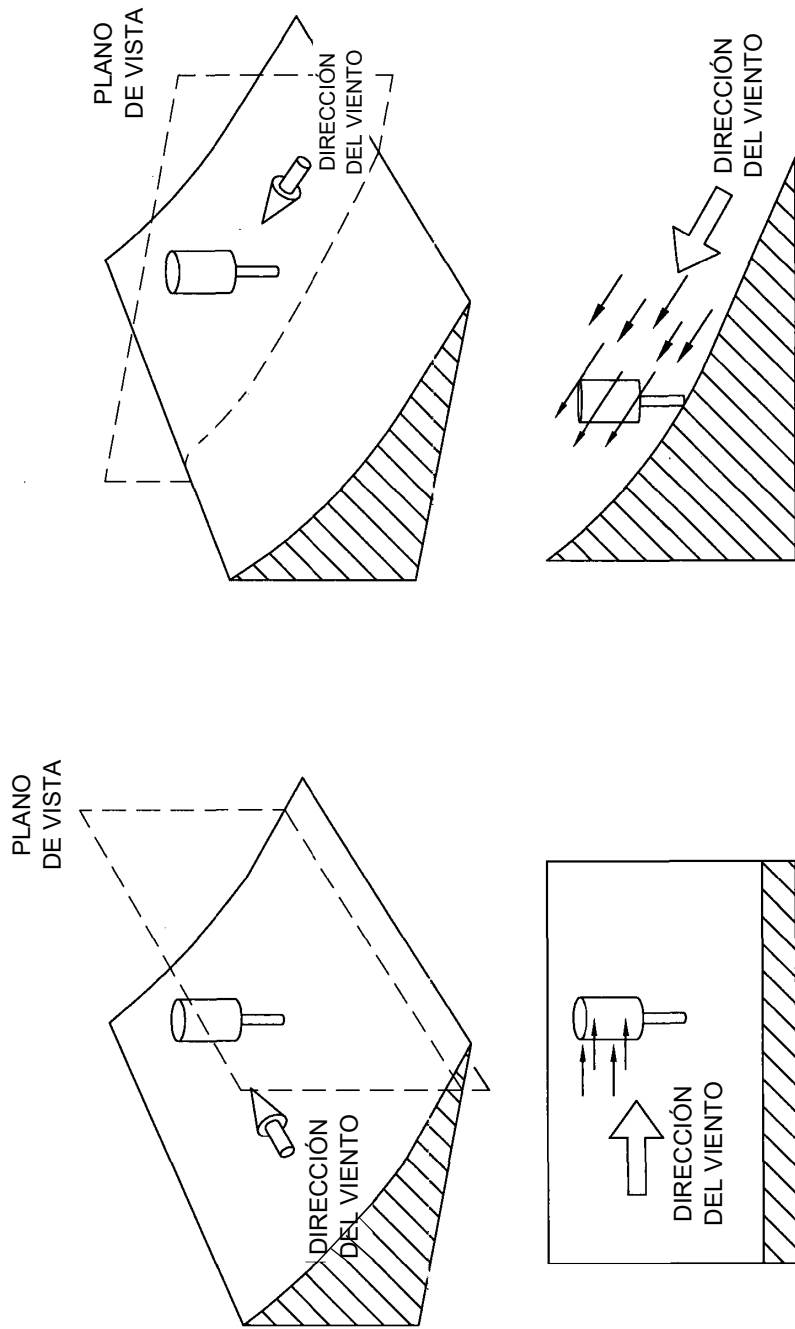


Fig. 5b

Fig. 5a

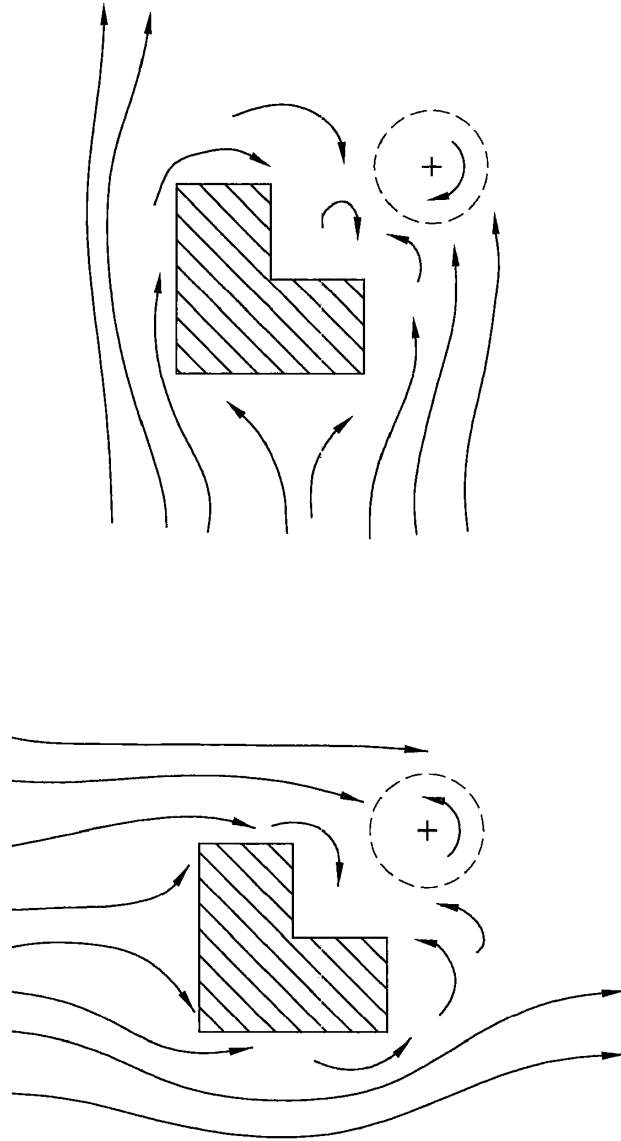


Fig. 6b

Fig. 6a

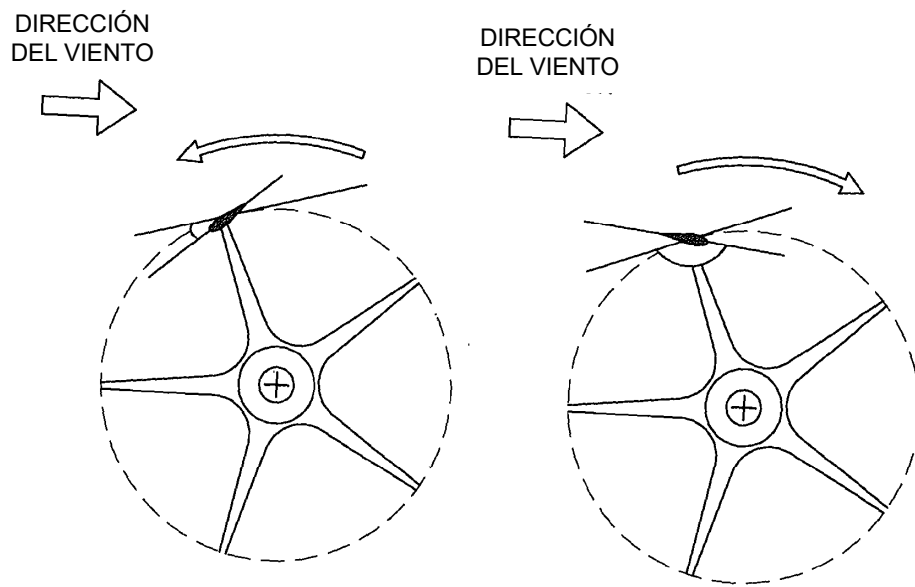


Fig. 7