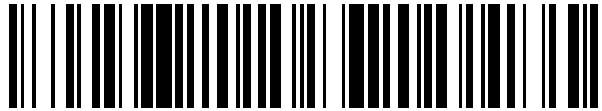


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 552 692**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 7/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.05.2010 E 10162100 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.10.2015 EP 2249029**

54 Título: **Una turbina eólica**

30 Prioridad:

**07.05.2009 DK 200900593**  
**07.05.2009 US 176246 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**01.12.2015**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**  
**Hedeager 42**  
**8200 AARHUS N, DK**

72 Inventor/es:

**GJERLØV, CHRISTIAN;**  
**GRAUGAARD, JESPER;**  
**JAKOBSEN, ALEKS KVARTBORG;**  
**JØRGENSEN, MARTIN;**  
**SIMONSEN, KENNETH;**  
**THESBJERG, LEO y**  
**ØSTERGAARD, KASPER ZINCK**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 552 692 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**

Una turbina eólica

**Introducción**

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para controlar una turbina eólica que se levanta en una ubicación específica y que se diseña para una carga nominal específica, es decir, la carga de diseño. La invención se refiere asimismo a un sistema de control de acuerdo con el procedimiento y a una turbina eólica que incluye tal sistema de control.

**Antecedentes de la invención**

10 Una turbina eólica obtiene potencia convirtiendo la fuerza del viento en un par que actúa sobre el tren de accionamiento, es decir, sobre las palas del rotor y de este modo sobre el árbol principal y así típicamente sobre un generador eléctrico que hace girar el árbol principal directamente o a través de una reductora. La cantidad de potencia que recibe la turbina eólica y que por lo tanto puede ser transferida potencialmente al tren de accionamiento depende de diversas condiciones incluyendo la velocidad del viento y la densidad del aire, es decir, las condiciones del emplazamiento.

15 A pesar de que un deseo de aumentar la productividad requiere la conversión de la mayor cantidad posible de energía eólica en energía eléctrica, las limitaciones estructurales de la turbina eólica, es decir, las cargas de diseño, definen unos límites de seguridad para la carga permitida sobre la turbina eólica. En la práctica, la carga del viento depende de diversas condiciones climatológicas incluyendo la velocidad promedio del viento, los picos de viento, la densidad del aire, la turbulencia, la cizalla del viento y el desplazamiento del viento y el impacto de la carga del viento en la turbina eólica y por ello la carga sobre la turbina eólica se puede ajustar para una condición de viento actual cambiando los diversos ajustes de la turbina eólica.

20 A pesar de que la carga de una turbina eólica está determinada por un número de condiciones climatológicas y ajustes en la turbina eólica, las turbinas eólicas actuales se controlan típicamente de acuerdo con una estrategia de control relativamente simple y fiable de acuerdo con la que la turbina se desconecta completamente a velocidades del viento por encima de un cierto valor de seguridad.

25 Aunque representa un modo potencialmente muy seguro de operar una turbina eólica, la desconexión completa representa inconvenientes, por ejemplo debido al hecho de que cualquier cambio importante en la producción de potencia puede influir en la red eléctrica suministrada de un modo negativo.

El documento US 2007/0018457 describe un procedimiento para operar una turbina eólica de un modo seguro tal que se garantice la seguridad mientras se maximiza la potencia de salida y la disponibilidad.

**30 Descripción de la invención**

35 Es deseable un control mejorado de la turbina eólica por diversas razones incluyendo para proporcionar una producción de potencia más continua incluso con vientos fuertes o similares condiciones climatológicas difíciles, para evitar la caída total de la producción de potencia y para mejorar así el rendimiento y por tanto la economía de la turbina eólica y para proporcionar una protección de turbina eólica que esté diseñada para una turbina eólica específica en un emplazamiento específico.

La presente invención, en un primer aspecto, proporciona un procedimiento para controlar una turbina eólica que tiene un rotor y un generador para producir potencia, estando levantada la turbina eólica en un emplazamiento y diseñada para una carga nominal, comprendiendo el procedimiento:

- 40
- definir una pluralidad de sectores, cada uno de los que especifica un intervalo de direcciones del viento hacia la turbina eólica,
  - definir, para cada sector, una carga del viento esperada desde las direcciones específicas y una estrategia de control del sector que se basa en una comparación predeterminada entre la carga del viento esperada y la carga nominal; y
  - determinar una dirección del viento actual y controlar la turbina eólica de acuerdo con la estrategia de control del sector definida para el sector al que corresponde la dirección del viento actual.

45 Una turbina eólica a la que pertenece la invención se podría levantar en cualquier emplazamiento y podría diseñarse para cualquier condición. Debido al hecho de que las condiciones del emplazamiento se ven influidas enormemente por la superficie y la ubicación geográfica sobre el terreno, la distancia y el ángulo a obstáculos cercanos tales como otras turbinas eólicas en un parque de turbinas eólicas, etc., el procedimiento de acuerdo con la invención utiliza estrategias de control del sector predefinidas que se aplican dependiendo de sectores predefinidos de direcciones del viento hacia la

turbina eólica. De este modo, las estrategias de control del sector, en comparación con el control tradicional de apagado basado en una velocidad del viento fija, pueden utilizar las experiencias a largo plazo relativas a condiciones del viento desde diversas direcciones.

5 Como resultado, la turbina eólica puede producir potencialmente más potencia que turbinas eólicas tradicionales, incluso aunque se observe el mismo límite de seguridad.

“Control” de la turbina eólica significa en este contexto cualquier tipo de ajuste de las palas de la turbina, ajustes de los generadores eléctricos, transformadores u otro equipo electrónico y en general el uso de cualquier medio para controlar la carga de las palas, el tren de potencia, el giro del tren de potencia, y/o la producción de potencia de la turbina eólica.

10 La turbina eólica a la que pertenece la invención podría ser de cualquier tipo comercialmente disponible, en concreto del tipo que produce energía eléctrica basándose en el giro de un árbol principal esencialmente horizontal, es decir, la denominada “turbina eólica de eje horizontal” (cuyo acrónimo en inglés es HAWT).

15 Cada estrategia de control del sector se podría definir basándose en una carga del viento esperada del viento procedente del sector correspondiente de direcciones del viento hacia la turbina para un emplazamiento geográfico específico. A este efecto, las condiciones del viento se pueden supervisar a lo largo de un período de tiempo en un emplazamiento específico deseado para una nueva turbina eólica que se va a levantar o para una turbina eólica ya levantada y basándose en las condiciones o cargas del emplazamiento realmente experimentadas se puede definir la carga del viento esperada para distintos sectores alrededor del emplazamiento de la turbina eólica.

20 La carga del viento esperada puede representar un contenido de energía promedio en el viento, valores extremos de la velocidad del viento, turbulencia promedio o valores extremos de la turbulencia, frecuencia del viento desde direcciones dentro de un sector, desviación de la velocidad del viento a partir de la velocidad promedio del viento, etc. y si no se pueden obtener datos realmente experimentados en un emplazamiento, se podrían utilizar datos meteorológicos, por ejemplo de una estación meteorológica cercana. Típicamente, la carga del viento esperada se determinará antes de que la turbina eólica se levante mediante el uso de un mástil meteorológico que medirá las condiciones del viento a lo largo de un periodo de tiempo.

25 Los sectores de direcciones del viento pueden representar por ejemplo un número fijo de grados en una rosa de los vientos, de tal modo que por ejemplo, los 360° alrededor de un emplazamiento se dividan en un número de sectores, por ejemplo 2-30, de igual o distinto tamaño en grados y para cada uno de estos sectores se podría definir una estrategia de control del sector basándose en las cargas del viento experimentadas en el mismo.

30 Las estrategias de control del sector se pueden definir basándose en una comparación predeterminada entre la carga del viento esperada y una carga nominal para la que se diseña la turbina eólica, es decir cada una de las estrategias de control del sector se puede seleccionar basándose en conocimiento acerca de la carga esperada y la carga para la que ha sido diseñada la turbina.

35 La etapa de controlar realmente la turbina eólica mediante el uso de una estrategia de control del sector que corresponde a una dirección del viento realmente determinada puede incluir o se puede combinar con etapas relacionadas de control y seguridad adicionales, por ejemplo de determinar salida de potencia, determinar la velocidad real del viento, determinar la deformación de la torre, deformación del tren de accionamiento o deformación de las palas, etc., o medir cargas en cualquier otro componente crítico de la turbina eólica y cualquiera de tales etapas adicionales se puede utilizar en la estrategia de control del sector para mejorar la seguridad y eficiencia de potencia de la turbina eólica, o cualquiera de tales etapas puede formar parte de procedimientos de control adicionales que se ejecutan en paralelo con el control de la turbina eólica de acuerdo con la presente invención.

40 El procedimiento puede comprender una salida de potencia dada de la turbina eólica como una función de la velocidad del viento que se define para un intervalo de velocidades del viento, siendo la salida de potencia dada como función de la velocidad del viento la misma para todos los sectores; y la estrategia de control del sector para cada sector controla la turbina eólica de tal modo que la salida de potencia de la turbina eólica es cualquiera de:

- 45
- por debajo de la salida de potencia dada para una velocidad del viento dada;
  - igual a la salida de potencia dada para una velocidad del viento dada; o
  - por encima de la salida de potencia dada para una velocidad del viento dada.

Por “salida de potencia dada de la turbina eólica como una función de la velocidad del viento” se entiende la curva de potencia de la turbina eólica.

50 La salida de potencia de la turbina eólica se puede controlar mediante por lo menos una estrategia de control de potencia seleccionada del grupo que comprende: control del paso de la pala del rotor, control de la velocidad del rotor, control de la

potencia del generador. La salida de potencia se puede regular, por ejemplo, controlando la velocidad del rotor, o la velocidad de cualquier elemento giratorio acoplado para girar con el rotor. La velocidad del rotor se podría controlar como una función de la velocidad del viento, por ejemplo controlando la resistencia proporcionada en el generador contra el giro del árbol principal; o controlando medios de frenado separados para limitar el giro del árbol principal dependiendo de la velocidad del viento. Controlar la salida de potencia controlando la velocidad del rotor se realiza típicamente durante el funcionamiento en carga parcial.

De acuerdo con la presente invención, el procedimiento puede comprender la etapa de definir una pluralidad de estrategias de control de paso donde cada una es para ajustar un paso de la pala del rotor de la turbina eólica como una función de la velocidad del viento o como una función de relación de velocidad periférica, donde la relación de velocidad periférica define un cociente entre la velocidad de la punta de las palas y la velocidad del viento. Las estrategias de control de paso podrían regular la potencia de salida de la turbina eólica como una función de la velocidad del viento cambiando el ángulo de la pala con relación al buje (donde cada pala gira alrededor de su eje longitudinal), por lo que se controla la carga de la turbina.

En un ejemplo, se predefine una pluralidad de combinaciones entre una velocidad del viento y un ajuste del ángulo de paso de las palas con relación al buje para dos situaciones diferentes.

- En una situación, las combinaciones proporcionan el ángulo de paso para una situación donde se necesita un control más agresivo con enfoque en la producción de potencia. Esto podría representar las combinaciones que se seleccionan cuando la dirección del viento actual está dentro de un sector con cargas del viento típicamente estacionarias, por ejemplo, con baja turbulencia o sin una gran desviación respecto a una velocidad promedio del viento.

- En otra situación, las combinaciones proporcionan el ángulo de paso para una situación en la que se necesita un control menos agresivo con enfoque en la seguridad antes que en la producción. El enfoque en la seguridad reduce las cargas que actúan sobre el rotor de la turbina eólica y la propia turbina eólica. Esto podría representar las combinaciones que se seleccionan cuando la dirección actual del viento se encuentran dentro de un sector con cargas del viento típicamente abruptas, por ejemplo con una elevada turbulencia y una gran y/o rápida desviación respecto a una velocidad promedio del viento.

El procedimiento puede comprender asimismo la etapa de definir una pluralidad de estrategias de control de potencia donde cada una es para regular una salida de potencia de la turbina eólica como una función de la velocidad del viento, controlando así de nuevo la carga de la turbina.

En un ejemplo, se podría definir un número de modos predefinidos cada uno de los cuales corresponde a combinaciones de una salida de potencia y una velocidad de giro (rpm) con distintas cargas. Mediante el uso de modos de potencia predefinidos, se puede controlar la turbina eólica basándose en una elección de uno de los modos dependiendo del sector dentro del que se sitúa una dirección del viento actual de un modo correspondiente al descrito anteriormente con respecto a los modos de paso.

Es bien conocido que las turbinas eólicas tienen una velocidad calculada del viento que es la velocidad del viento a la que se alcanza la potencia calculada del generador. Al regular la salida de potencia por encima de la velocidad teórica del viento, la turbina puede rebajar su producción (producir menos de la potencia teórica) o sobrevalorarse (producir más de la potencia teórica).

A este efecto, la estrategia de control del sector para cada sector puede determinar una curva de potencia en relación a la salida de potencia de la turbina eólica como una función de la velocidad del viento. La curva de potencia para cada sector puede definir una región de carga parcial donde la velocidad del viento se encuentra por debajo de una velocidad teórica del viento y una región de plena carga donde la velocidad del viento es igual, o superior a la velocidad teórica del viento.

Consecuentemente, la turbina eólica se puede operar menos agresivamente para reducir cargas y así producción de potencia cuando la turbina está en un estado que es más severo que las condiciones de diseño y se puede operar más agresivamente para aumentar la producción de potencia y por ello las cargas cuando la turbina está en un estado que es más suave que las condiciones para las que se diseñó la turbina.

La estrategia de control del sector para cada sector se podría definir por:

- una de la pluralidad de estrategias de control de paso para regular la salida de potencia de la turbina eólica en la región de carga parcial.

La estrategia de control del sector para cada sector se podría definir por:

- una de la pluralidad de estrategias de control de potencia para regular la salida de potencia de la turbina eólica en la región de plena carga.

O, la estrategia de control del sector para cada sector se podría definir por:

- una de la pluralidad de estrategias de control de paso para regular la salida de potencia de la turbina eólica durante el funcionamiento en carga parcial; y/o
- una de la pluralidad de estrategias de control de potencia para regular la salida de potencia de la turbina eólica durante el funcionamiento a plena carga.

En una implementación, la salida de potencia de la turbina eólica en cada sector se determina meramente mediante una cualquiera de las estrategias de control de paso o de potencia definidas para ese sector.

La carga del viento esperada se puede definir basándose en por lo menos uno de: un promedio de las velocidades del viento realmente medidas o calculadas, un promedio de las turbulencias realmente medidas o calculadas, extremos de velocidad del viento realmente medidos o calculados, turbulencia realmente medida o calculada y frecuencia del viento desde direcciones del viento dentro de cada sector. En el presente documento, la frecuencia se puede incluir en la carga del viento definida principalmente para incorporar las cargas de fatiga en la estrategia de control.

De acuerdo con el procedimiento, se puede determinar una producción de potencia esperada para una turbina eólica específica que se va a levantar en un emplazamiento específico basándose en las estrategias de control del sector y en las cargas del viento esperadas en el futuro incluyendo direcciones del viento y cargas del viento esperadas en el futuro. La producción de potencia esperada puede proporcionar predicciones valiosas de cifras económicas.

En un segundo aspecto, la invención proporciona un sistema de control para una turbina eólica, comprendiendo el sistema de control una estructura de almacenamiento y una estructura de control, donde la estructura de almacenamiento contiene datos que definen una pluralidad de sectores cada uno de ellos especificando un intervalo de direcciones del viento hacia la turbina eólica; y que define para cada sector, una carga del viento esperada desde las direcciones especificadas y una estrategia de control del sector que se basa en una comparación predeterminada entre la carga del viento esperada y la carga nominal y en la que la estructura de control está adaptada, basándose en una dirección del viento actual, para controlar la turbina eólica de acuerdo con la estrategia de control del sector definida para el sector al que corresponde la actual dirección del viento.

El sistema de control se puede adaptar para realizar cualquiera de las actividades descritas en relación al primer aspecto de la invención.

En un tercer aspecto, la invención proporciona una turbina eólica, en particular una turbina eólica del tipo horizontal, que incluye un sistema de control de acuerdo con el segundo aspecto de la invención o que se controla de cualquier modo de acuerdo con el procedimiento del primer aspecto de la invención.

### Breve descripción de los dibujos

Modos de realización de la invención se describirán en mayores detalles con referencia a los dibujos en los que:

las figuras 1 y 2 ilustran esquemáticamente definiciones de distintas cargas del viento desde distintos sectores;

la figura 3 ilustra cómo se controla una turbina eólica con relación a una curva de potencia nominal;

las figs. 4 y 5 ilustran curvas de potencia esquemáticas para estrategias de control del modo de paso y del modo de potencia; y

la figura 6 ilustra un diagrama de un controlador de turbinas eólicas.

### Descripción detallada de modos de realización de la invención

El ámbito adicional de aplicabilidad de la presente invención llegará a ser patente a partir de la siguiente descripción detallada y ejemplos específicos. No obstante, se debe entender que la descripción detallada y los ejemplos específicos, aunque indican modos de realización preferidos de la invención, se ofrecen tan solo a modo de ilustración, ya que diversos cambios y modificaciones dentro del ámbito de la invención llegarán a ser patentes para los expertos en la técnica a partir de esta descripción detallada.

Para un emplazamiento específico, la fig. 1 ilustra una rosa de los vientos con una velocidad promedio del viento anual para 12 sectores; y la fig. 2 ilustra una rosa de los vientos esquemática con una intensidad de turbulencia para los 12 sectores. La rosa de los vientos es una herramienta gráfica que ofrece una vista esquemática de cómo se distribuyen típicamente la velocidad y dirección del viento en un emplazamiento particular. Las frecuencias de los vientos se representan gráficamente mediante una dirección del viento de 360° alrededor de la turbina. Las direcciones de la rosa con el radio más largo muestran la dirección del viento con la mayor frecuencia. Se muestran doce sectores en este ejemplo, representando cada uno 30° alrededor del compás, aunque se puede usar cualquier otro número de sectores.

Como se puede observar de la figura 1, la velocidad promedio del viento en los sectores 0° a 120° y 180° a 300° se puede decir que es la velocidad promedio del viento en ese emplazamiento particular. En el sector 120° a 180°, la velocidad promedio del viento es mayor que la velocidad promedio del viento para ese emplazamiento. En el sector 300° a 360° la velocidad del viento es menor que la velocidad promedio del viento para ese emplazamiento.

5 Como se puede observar de la figura 2, la intensidad promedio de turbulencia en los sectores 0° a 120° y 180° a 300° se puede decir que es la intensidad promedio de turbulencia en ese emplazamiento particular. En el sector 120° a 180° la intensidad promedio de turbulencia es mayor que la intensidad promedio de turbulencia para ese emplazamiento. En el sector 300° a 360° la intensidad de turbulencia es menor que la intensidad promedio de turbulencia para ese emplazamiento.

10 La velocidad promedio anual del viento y la intensidad de turbulencias (tanto efectiva como extrema) son los factores que determinan en qué modo puede funcionar una turbina dada.

La figura 3 ilustra una curva de potencia para una turbina eólica que representa la velocidad del viento en el eje x frente a la potencia en el eje y. La curva 5 es la curva de potencia nominal para la turbina eólica y define la salida de potencia por el generador de la turbina eólica como una función de la velocidad del viento. Como se conoce bien en la técnica, la turbina eólica comienza a generar potencia a una velocidad de puesta en servicio  $V_{\min}$ . A continuación la turbina funciona en condiciones de carga parcial (también conocida como carga en parte) hasta que se alcanza la velocidad teórica del viento en el punto  $V_r$ . A la velocidad nominal del viento en el punto  $V_r$  se alcanza la potencia calculada (o nominal) del generador. La velocidad de puesta en servicio en una turbina eólica típica es de 3 m/s y la velocidad calculada del viento es de 18 m/s. En el punto  $V_{\max}$  está la velocidad de desconexión, esta es la máxima velocidad del viento a la que puede funcionar la turbina eólica suministrando potencia. A velocidades del viento iguales o superiores a la velocidad de desconexión la turbina eólica se desconecta por razones de seguridad, en particular para reducir las cargas que actúan sobre la turbina eólica.

25 Como se mencionó anteriormente, la curva de potencia 5 es la curva nominal de potencia. Una turbina eólica se diseña convencionalmente para soportar ciertas cargas, tales como el momento de flexión de la raíz de la pala del rotor, el momento de curvado de la base de la torre y la carga de diseño del árbol principal. Estas son las “cargas nominales o de diseño” que no deben ser superadas y por tanto la turbina tiene una curva de potencia nominal a la que funcionará la turbina de modo que no se supere ninguna de las cargas definidas.

30 Como se muestra en la figura 3, la turbina se controla de modo tal que pueda producir más o menos potencia que la curva de potencia nominal tanto en las regiones de carga parcial como de plena carga. El término “sobrealorar” se entiende con el significado de producir más de la potencia nominal durante el funcionamiento a plena carga. El término “rebajar su producción” se entiende con el significado de producir menos de la potencia nominal durante el funcionamiento a plena carga. En la invención, la turbina puede producir más o menos potencia tanto en las regiones de plena carga como de carga parcial. Así pues el término “sobreproducción” se utiliza para referirse a un aumento en la producción de potencia tanto en la región de carga parcial como de plena carga en comparación con la curva de potencia nominal; y el término “infraproducción” se utiliza para referirse a una disminución en la producción de potencia tanto en la región de carga parcial como en la de plena carga en comparación con la curva de potencia nominal. Cuando la turbina está sobreproduciendo, la turbina se hace funcionar más agresivamente de lo normal y el generador tiene una salida de potencia que es mayor que la potencia nominal para una velocidad del viento dada. La sobreproducción se muestra en la figura 3 como el área 6. Cuando la turbina está infraproduciendo, la turbina se hace funcionar menos agresivamente de lo normal y el generador de la turbina tiene una salida de potencia que es menor que la potencia nominal para una velocidad del viento dada. La infraproducción se muestra en la figura 3 como el área 7. Se debe indicar que las áreas 6 y 7 se extienden en la región de carga parcial así como en la región de plena carga. Cuando la turbina está sobreproduciendo las cargas que actúan sobre la turbina aumentan y cuando la turbina está infraproduciendo las cargas que actúan sobre la turbina disminuyen.

45 Para cada sector alrededor de la turbina eólica, la turbina tiene una estrategia de control individual que determina la potencia de salida de la turbina. La salida de potencia de la turbina se determina basándose en la velocidad actual del viento y el sector hacia el que se orienta la turbina. Así pues, en cada sector se determina si la turbina debe producir potencia de acuerdo con la curva de potencia nominal 5, o sobreproducir o infraproducir. La decisión de si la turbina debe producir potencia a su nivel nominal, sobreproducir o infraproducir para cada sector se programa en la turbina cuando esta se levanta; esto se basa en las cargas del viento esperadas para cada sector.

50 Hay un número de modos en los que se puede controlar la salida de potencia de la turbina. Esto puede incluir:

- control de paso de las palas del rotor alrededor de un punto de ajuste de paso en funcionamiento en carga parcial y a plena carga; o
- control de la velocidad del rotor alrededor de un punto de ajuste de velocidad que controla la velocidad del rotor alrededor de una velocidad de referencia. Por ejemplo, en funcionamiento en carga parcial se calcula una relación de

velocidad periférica de las palas del rotor. La relación de velocidad periférica es el cociente de la velocidad de la punta de las palas con relación a la velocidad del viento en aproximación. En la región de carga parcial la potencia generada por la turbina se puede regular mediante la relación de velocidad periférica, de modo que si la velocidad del rotor sube o baja, cambia la potencia de salida; o

- 5 – ajustar una referencia de potencia alrededor de un punto de ajuste de potencia en un convertidor de la turbina eólica que puede seguir la turbina eólica y ajustar un ángulo de paso de las palas del rotor; es decir, la salida de potencia puede variar dinámicamente variando la referencia de potencia cuando hay un convertidor.

10 Los siguientes ejemplos con referencia a las figuras 4 y 5 describen cómo se puede regular la salida de potencia con control de paso y potencia, aunque como se mencionó anteriormente son posibles otros modos de regular la salida de potencia.

La figura 4 ilustra una curva de potencia para una turbina eólica que representa gráficamente velocidad del viento en el eje x frente a potencia en el eje y. La curva 10 es una curva de potencia para un modo de paso estándar de una turbina eólica.

15 En una turbina eólica que tiene una curva de potencia que corresponde a la curva 10, la salida de potencia en la región de carga parcial y la salida de potencia en la región de potencia teórica (o plena carga) se regula mediante el paso de las palas alrededor de su eje longitudinal, como se hace típicamente en una turbina eólica con control de paso o pérdida activa.

20 Como se observa en la figura 4, los modos de paso se utilizarán en el funcionamiento en carga parcial para optimizar la utilización de las cargas de diseño y por ello la salida de potencia de la turbina. En los modos de paso el parámetro que se va a alterar, en este ejemplo, es la referencia de ángulo de paso que ajusta el ángulo de las palas con relación al buje.

25 La figura 4 ilustra cinco modos de paso 11 a 15 distintos además del modo de paso estándar 10. Los modos de paso 11, 12 y 13 se configuran de tal modo que las palas de la turbina eólica cabecean de modo que la turbina genera menos potencia (en la región de carga parcial) en comparación con el modo de paso estándar 10. Los modos de paso 14 y 15 se configuran de tal modo que las palas de la turbina eólica cabecean de modo que la turbina eólica genera más potencia (en la región de carga parcial) en comparación con el modo de paso estándar 10. Al cabecear las palas, el ángulo de ataque aerodinámico de las palas varía de modo que las palas generan una mayor o menor sustentación. Cuando las palas cabecean de modo que se reduce la fuerza de sustentación que actúa sobre las palas, la salida de potencia se reduce (infraproducción) en comparación con el modo de paso estándar 10. Cuando las palas cabecean de modo que la fuerza de sustentación que actúa sobre las palas aumenta, aumenta la salida de potencia (sobrepoducción) en comparación con el modo de paso estándar 10.

30 En consecuencia, como se puede observar de la figura 4, hay un “banco” de seis modos de paso en los que puede funcionar la turbina eólica. No obstante, se pueden elegir otros números de modos de paso, tales como diez modos de paso.

35 A partir de la figura 5, se puede observar que los modos de potencia se utilizarán en funcionamiento a plena carga, de nuevo para optimizar la utilización de las cargas de diseño y por ello de la salida de potencia de la turbina. En los modos de potencia los parámetros que se van a alterar son la denominada potencia de referencia y la referencia de rpm

40 La figura 5 ilustra un modo de potencia estándar 30. El modo de potencia estándar 30 corresponde a la potencia teórica (o nominal) de la turbina eólica, es decir, la potencia generada a la velocidad teórica del viento. Los modos de potencia 31, 32 y 33 se configuran de modo que la turbina eólica genere menos de la potencia teórica definida por el modo de potencia estándar 30, es decir la turbina rebaja su producción. Los modos de potencia 34 y 35 se configuran de modo que la turbina eólica genera más de la potencia teórica definida por el modo de potencia estándar 30, es decir, la turbina está sobrealorada.

45 En consecuencia, como se puede observar de la figura 4, hay un “banco” de seis modos de potencia en los que puede funcionar la turbina eólica. No obstante, se pueden elegir otros números de modos de potencia, tales como diez modos de potencia.

50 Las figuras 4 y 5 se han descrito con referencia a “modos de paso” y “modos de potencia”. No obstante, se podrían haber descrito igualmente con referencia a “modos de funcionamiento en carga” y “modos de funcionamiento en potencia”. Aquí, un modo de funcionamiento en carga es cuando la turbina funciona de acuerdo con una curva de potencia por debajo de la curva de potencia estándar 10, 30, es decir en el área 7 en la figura 3. Por ejemplo, las curvas de potencia 11, 12, 13, 31, 32, 33 son modos de funcionamiento en carga. Cuando la turbina funciona de acuerdo con un modo de funcionamiento en carga, la potencia generada por la turbina y las cargas que actúan sobre la turbina se reducen en comparación con cuando la turbina funciona en la curva de potencia estándar 10, 30. Un modo de funcionamiento de potencia es cuando la turbina funciona de acuerdo con una curva de potencia por encima de la curva de potencia estándar

10, 30, es decir en el área 7 de la figura 3. Por ejemplo, las curvas de potencia 14, 15, 34, 35 son modos de funcionamiento en potencia. Cuando la turbina funciona de acuerdo con un modo de funcionamiento en potencia, la potencia generada por la turbina y las cargas que actúan sobre la turbina aumentan en comparación con cuando la turbina funciona en la curva de potencia nominal 10, 30. En consecuencia, aunque los términos modo de paso y modo de potencia se utilizan para describir este ejemplo, el experto en la técnica reconocerá que los términos modo de funcionamiento en carga y modo de funcionamiento en potencia se podrían utilizar igualmente.

En referencia de nuevo a las figuras 1 y 2, al elegir qué modelo particular de turbina eólica se debe levantar en este emplazamiento específico, el procedimiento convencional del estado de la técnica anterior es como sigue: cada modelo de turbina se diseña para unas cargas dadas y es necesario colocar tan solo turbinas en un emplazamiento cuando puedan asumir las cargas que surgen en ese emplazamiento -dicho de otro modo, las cargas que actúan sobre la turbina eólica deben estar dentro de las cargas de diseño. Se estudia la rosa de los vientos a partir de la que se calculan las cargas máximas esperadas a las que se verá sometida la turbina eólica a partir del conocimiento de la velocidad del viento y la intensidad de turbulencia. A continuación, se escoge el modelo particular de turbina que puede soportar las cargas máximas determinadas a partir de la rosa de los vientos. Alternativamente, la turbina se puede desconectar regularmente en ciertos sectores cuando la velocidad del viento se encuentra por encima de la velocidad de desconexión.

Sin embargo, en este ejemplo de acuerdo con la invención, se diseña un modelo particular de turbina para ser sometido a ciertas cargas máximas -las "cargas de diseño". Para la turbina dada en este ejemplo las cargas del emplazamiento (las cargas que actúan sobre la turbina eólica en el emplazamiento real) se encuentran ligeramente por debajo de las cargas de diseño en los sectores 0° a 120° y 180° a 300°. En el sector 120 a 180°, las cargas del emplazamiento están bien por encima de las cargas de diseño y en el sector 300° a 360°, las cargas del emplazamiento están bien por debajo de las cargas de diseño.

Sin disponer de los modos de paso y potencia la turbina en cuestión funcionaría en un modo estándar (de acuerdo con un modo de paso 10 y un modo de potencia 30) en los sectores 0° a 120° y 180° a 360° y por lo tanto no utilizaría la totalidad de las cargas de diseño de la turbina. En el sector 120° a 180°, la turbina se desconectará de modo que no supere las cargas de diseño de la turbina. Por supuesto, esto causaría innecesarias pérdidas de producción.

Disponiendo de los modos de paso y potencia de este ejemplo de la invención es posible que la turbina funcione en los siguientes modos sin superar las cargas de diseño:

- En los sectores 0° a 120° y 180° a 300°, la turbina puede funcionar en el modo de paso 15 con aumento de cargas y salida de potencia en carga parcial. La razón para esto es que las cargas del emplazamiento están ligeramente por debajo de las cargas para las que se diseñó la turbina.
- En el sector 300° a 360°, la turbina puede funcionar en el modo de paso 15 y el modo de paso 34 (aumento de carga y potencia tanto en carga parcial como a plena carga) ya que las cargas del emplazamiento están bien por debajo de las cargas de diseño.
- En el sector 120° a 180°, la turbina puede funcionar en el modo de paso 12 en carga parcial y en el modo de paso 31 por encima de la velocidad teórica del viento, (es decir, con cargas y potencia reducidas tanto en carga parcial como a plena carga) ya que las cargas del emplazamiento están bien por encima de las cargas de diseño.

Para cada sector alrededor de la turbina eólica, se define una estrategia de control del sector. La estrategia de control del sector se refiere a uno de los modos de paso y a uno de los modos de potencia. La estrategia de control del sector para cada sector se predetermina antes de que la turbina eólica se ponga en funcionamiento. Para elegir la estrategia correcta de control del sector para cada sector, se lleva a cabo una comparación entre la carga esperada del viento en ese sector particular y las cargas de diseño de la turbina. La carga de diseño de la turbina se puede denominar igualmente como la carga nominal.

Los modos de paso y potencia se pueden utilizar bien (i) para hacer funcionar la turbina eólica más agresivamente con el fin de aumentar la producción de potencia y consecuentemente las cargas que actúan sobre la turbina cuando la turbina está orientada a un sector con cargas promedio del emplazamiento que son más suaves que las cargas de diseño de la turbina; o (ii) para hacer funcionar la turbina menos agresivamente cuando la turbina está orientada a un sector con cargas promedio del emplazamiento que son más severas que las cargas de diseño para la turbina.

En consecuencia, una turbina eólica que implementa los modos de paso y potencia de la invención se puede levantar en una ubicación en la que no sería posible ubicar la misma turbina eólica que no tiene modos de paso y potencia. Esto es debido a que en los sectores con una carga del viento esperada alta, la turbina eólica infraproduce potencia de modo que las cargas que actúan sobre la turbina eólica se reducen. Además, la turbina eólica puede sobreproducir cuando se orienta a sectores como una carga del viento esperada baja.

Consecuentemente, el uso de modos de paso y potencia es ventajoso no solo debido a que la turbina se puede levantar



en ubicaciones para las que normalmente no está diseñada, sino asimismo debido a que puede generar potencia durante más tiempo, es decir, no es necesario desconectar la turbina.

La figura 6 ilustra una vista esquemática de un controlador de la turbina eólica. Un rotor es controlado por un controlador 41. El controlador 41 recibe entradas de unos medios de supervisión de la dirección 42 y unos medios de medición de la velocidad del viento 43. Los medios de supervisión de la dirección 42 determinan hacia qué sector está orientada la turbina eólica y esto se puede medir conociendo la dirección del viento (ya que el rotor siempre estará orientado hacia el viento de entrada) o midiendo el giro de la góndola (sobre la que está montado el buje) con relación a la torre de la turbina eólica (que soporta la góndola). Los medios de medición de la velocidad del viento 43 son, en este ejemplo, un anemómetro.

- 5 El controlador 41 tiene dentro del mismo unos medios de almacenamiento de datos para almacenar datos acerca de los modos de paso y potencia. Esto puede estar en forma de una tabla de referencia. Se proporciona una tabla de referencia para cada uno de los seis modos de paso y contendrá datos que especifican a qué ángulos deben cabecear las palas para un intervalo de velocidades del viento hasta la velocidad teórica del viento. Se proporciona asimismo una tabla de referencia para cada uno de los seis modos de potencia y contiene datos de cómo se regula la salida de potencia de la turbina eólica por encima de la velocidad teórica del viento.
- 10
- 15

El controlador está preprogramado de tal modo que conoce qué modo de paso y potencia se va a utilizar para cada sector. En el ejemplo ofrecido aquí, se muestran seis modos de paso y seis de potencia, pero solo se utilizan como se describió anteriormente los modos de paso 12 y 15 y los modos de potencia 31 y 34. En consecuencia, se designa un modo de paso y un modo de potencia para cada sector.

- 20 En uso, el controlador 41 recibe información acerca de hacia qué sector está orientado el rotor y cuál es la velocidad del viento. Si la velocidad del viento está por debajo de la velocidad teórica del viento, el controlador 41 ajustará el rotor para funcionar en el modo de paso particular designado para ese sector y además, el controlador 41 consultará la tabla de referencia para ese sector de modo de paso para determinar cuál debe ser el ángulo de paso para las palas como una función de la velocidad del viento. Si la velocidad del viento está por encima de la velocidad teórica del viento, el controlador 41 ajustará la turbina eólica para funcionar en el modo de potencia particular designado para ese sector.
- 25

El controlador 41 puede supervisar igualmente la velocidad actual del viento de un anemómetro e implementar el modo de paso o el modo de potencia dependiendo de la velocidad del viento medida. Así pues, como se puede observar en el ejemplo de la figura 6, los modos de potencia 31, 32, 33 solo se implementan por encima de una velocidad del viento predefinida.

- 30 Además, el controlador 41 se puede programar para una velocidad de puesta en servicio particular y una velocidad de desconexión particular para cada sector. Esto significa que si una ubicación dada tiene una turbulencia muy alta a velocidades del viento bajas en uno o más sectores, la velocidad de puesta en servicio se podría especificar para que fuera 6 m/s en lugar de 3 m/s para evitar que la turbina funcione en un viento altamente turbulento. De modo similar, si una ubicación dada tiene muy bajas turbulencias a altas velocidades del viento en ciertos sectores, la velocidad de desconexión se podría especificar para que fuera, por ejemplo, 27 m/s en lugar de 25 m/s para utilizar una elevada producción del viento sin sobrecargar la turbina.
- 35

- Además, el controlador 41 se puede programar de tal modo que se definan estrategias de control para un periodo particular del día, o un periodo particular del año. Por ejemplo, por la noche o en invierno, las cargas esperadas del viento son mayores que durante el día o el verano, respectivamente, debido a las condiciones atmosféricas tales como la densidad del aire. Así pues, para un sector dado, se puede definir una estrategia de control diferente para diferentes periodos de tiempo.
- 40

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para controlar una turbina eólica que tiene un rotor y un generador para producir potencia, estando levantada la turbina eólica en un emplazamiento y diseñada para una carga nominal, comprendiendo el procedimiento:
- 5     – definir una pluralidad de sectores, cada uno de los que especifica un intervalo de direcciones del viento hacia la turbina eólica,
- definir, para cada sector, una carga del viento esperada desde las direcciones específicas y una estrategia de control del sector que se basa en una comparación predeterminada entre la carga del viento esperada y la carga nominal; y
- 10    – determinar una dirección del viento actual y controlar la turbina eólica de acuerdo con la estrategia de control del sector definida para el sector al que corresponde la dirección del viento actual.
2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que cada estrategia de control del sector se define basándose en una carga del viento esperada procedente del viento del sector correspondiente de direcciones del viento hacia la turbina para un emplazamiento geográfico específico.
3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que una salida de potencia dada de la turbina eólica como función de la velocidad del viento se define para un intervalo de velocidades del viento, siendo la salida de potencia dada como función de la velocidad del viento la misma para todos los sectores; y la estrategia de control del sector para cada sector controla la turbina eólica de tal modo que la salida de potencia de la turbina eólica bien:
- 15     – está por debajo de la salida de potencia dada para una velocidad del viento dada;
- 20     – es igual a la salida de potencia dada para una velocidad del viento dada; o
- está por encima de la salida de potencia dada para una velocidad del viento dada.
4. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la salida de potencia de la turbina eólica se controla mediante al menos una estrategia de control de potencia seleccionada de un grupo que comprende: control del paso de la pala del rotor, control de la velocidad del rotor, control de la potencia del generador.
- 25    5. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el procedimiento definir una pluralidad de estrategias de control de paso, cada estrategia de control de paso para ajustar un paso de la pala del rotor de la turbina eólica como una función de la velocidad del viento con el fin de regular la potencia de salida de la turbina eólica como una función de la velocidad del viento.
- 30    6. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el procedimiento definir una pluralidad de estrategias de control de potencia, cada estrategia de control de potencia para regular una salida de potencia de la turbina eólica como una función de la velocidad del viento.
7. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la salida de potencia se regula mediante el control de una velocidad del rotor de la turbina eólica como una función de la velocidad del viento.
8. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estrategia de control del sector para cada sector determina una curva de potencia relativa a la salida de potencia de la turbina eólica como una función de la velocidad del viento, teniendo la curva de potencia para cada sector:
- 35     – una región de carga parcial donde la velocidad del viento está por debajo de una velocidad teórica del viento ; y
- una región de plena carga donde la velocidad del viento es igual o superior a la velocidad teórica del viento.
9. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5 y 8, en el que la estrategia de control del sector para cada sector se define por:
- 40     – una de la pluralidad de estrategias de control de paso para regular la salida de potencia de la turbina eólica en la región de carga parcial.
10. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6 y 8, en el que la estrategia de control del sector para cada sector se define por:
- 45     – una de la pluralidad de estrategias de control de potencia para regular la salida de potencia de la turbina eólica en la región de plena carga.

11. Un procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 5 a 8, en el que la estrategia de control del sector para cada sector se define por:
- una de la pluralidad de estrategias de control de paso para regular la salida de potencia de la turbina eólica en la región de carga parcial; y/o
- 5    – una de la pluralidad de estrategias de control de potencia para regular la salida de potencia de la turbina eólica en la región de plena carga.
12. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la salida de potencia de la turbina eólica en cada sector se determina por:
- la estrategia de control de paso para ese sector; y/o
- 10   – la estrategia de control de potencia para ese sector.
13. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la carga del viento esperada se define basándose en al menos uno de: un promedio de las velocidades del viento realmente medidas o calculadas, un promedio de las turbulencias realmente medidas o calculadas, extremos de velocidad del viento realmente medidos o calculados, turbulencia realmente medida o calculada y frecuencia del viento desde
- 15   direcciones del viento dentro de cada sector.
14. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estrategia de control del sector para cada sector tiene una velocidad de puesta en servicio predeterminada por encima de la que el generador de la turbina eólica comienza a emitir potencia y una velocidad de desconexión predeterminada por encima de la que el generador de la turbina eólica cesa de emitir potencia; basándose la velocidad de puesta en
- 20   servicio predeterminada y la velocidad de desconexión predeterminada para cada sector en la comparación predeterminada entre la carga esperada del viento y la carga nominal.
15. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estrategia de control del sector para cada sector controla la turbina eólica de acuerdo con una estrategia temporal, de tal modo que la turbina eólica este controlada de acuerdo con el periodo del día y/o el periodo del año.
- 25   16. Un sistema de control para una turbina eólica, comprendiendo el sistema de control una estructura de almacenamiento y una estructura de control, en el que la estructura de almacenamiento contiene datos que definen una pluralidad de sectores cada uno especificando un intervalo de direcciones del viento hacia la turbina eólica; y que define para cada sector, una carga esperada del viento desde las direcciones específicas y una estrategia de control del sector que se basa en una comparación predeterminada entre la carga esperada del viento y la carga
- 30   nominal y en el que la estructura de control se adapta, basándose en una dirección actual del viento, para controlar la turbina eólica de acuerdo con la estrategia de control del sector definida para el sector al que corresponde la dirección del viento.
17. Un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 16, en el que el sistema de control está adaptado para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15.
- 35   18. Una turbina eólica para convertir entre energía eólica y energía eléctrica, comprendiendo la turbina eólica un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 16 o la reivindicación 17.

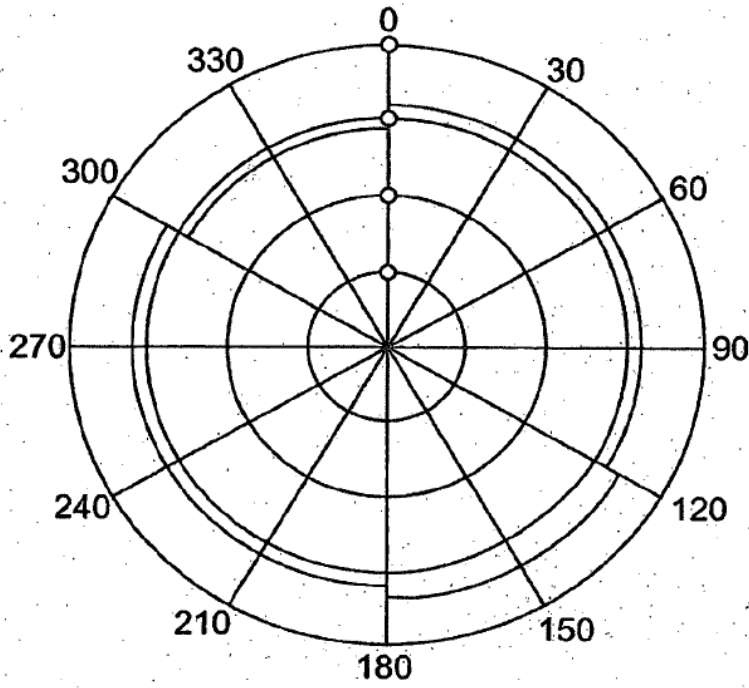


Fig. 1

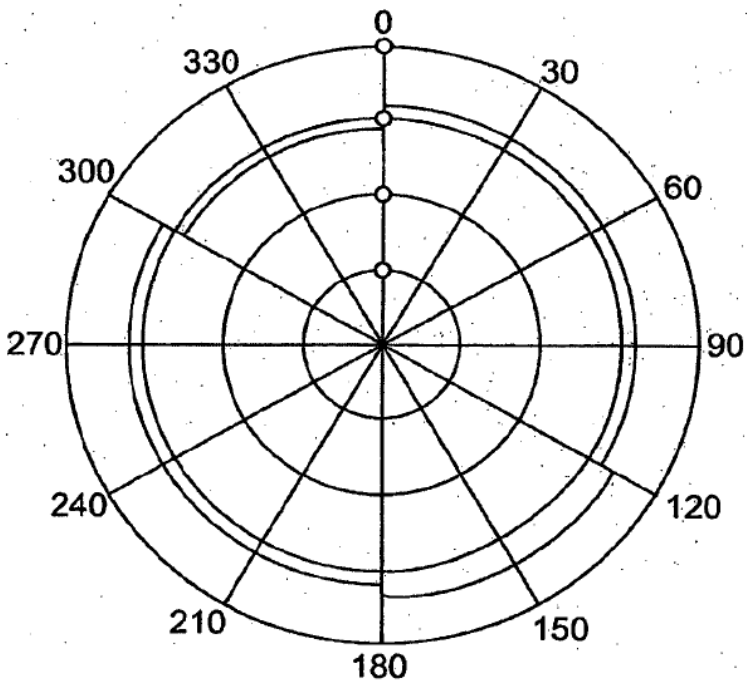


Fig. 2

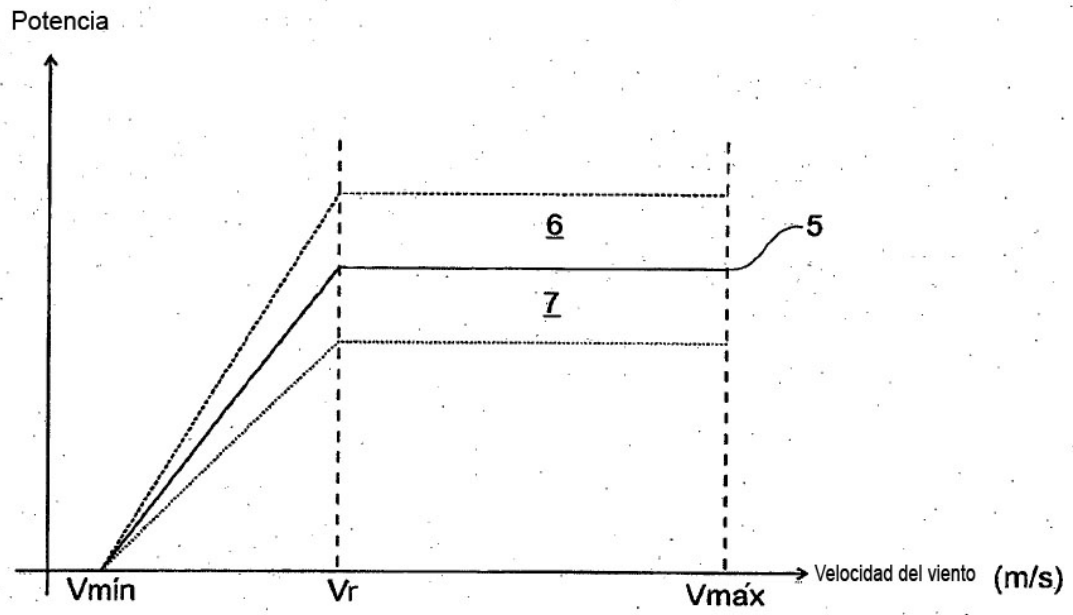


Fig. 3

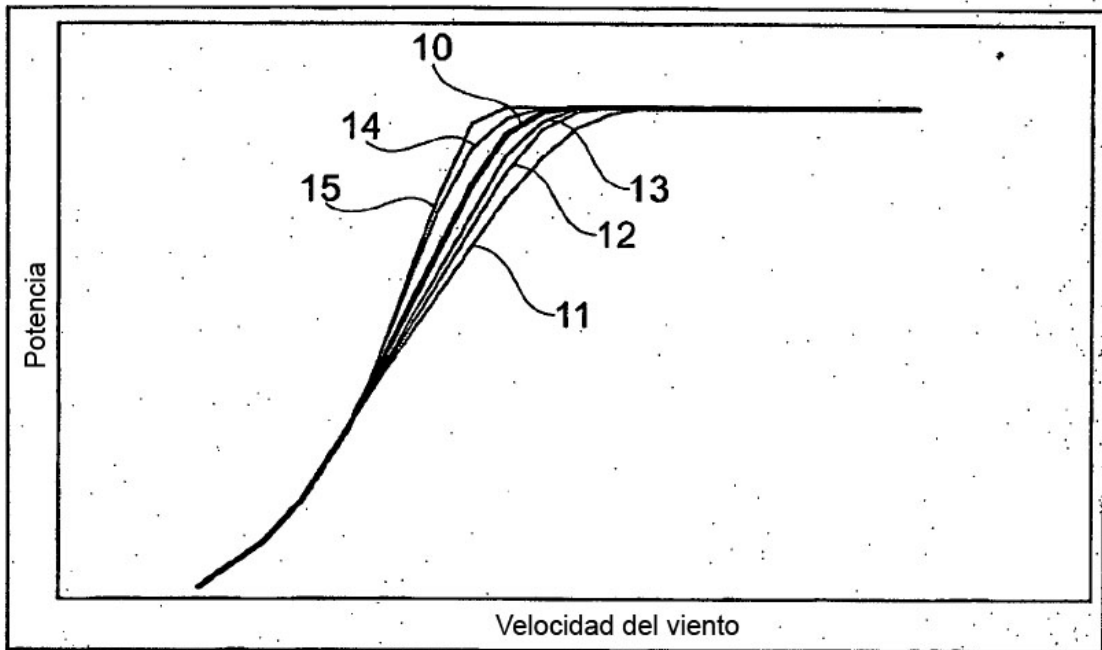


Fig. 4

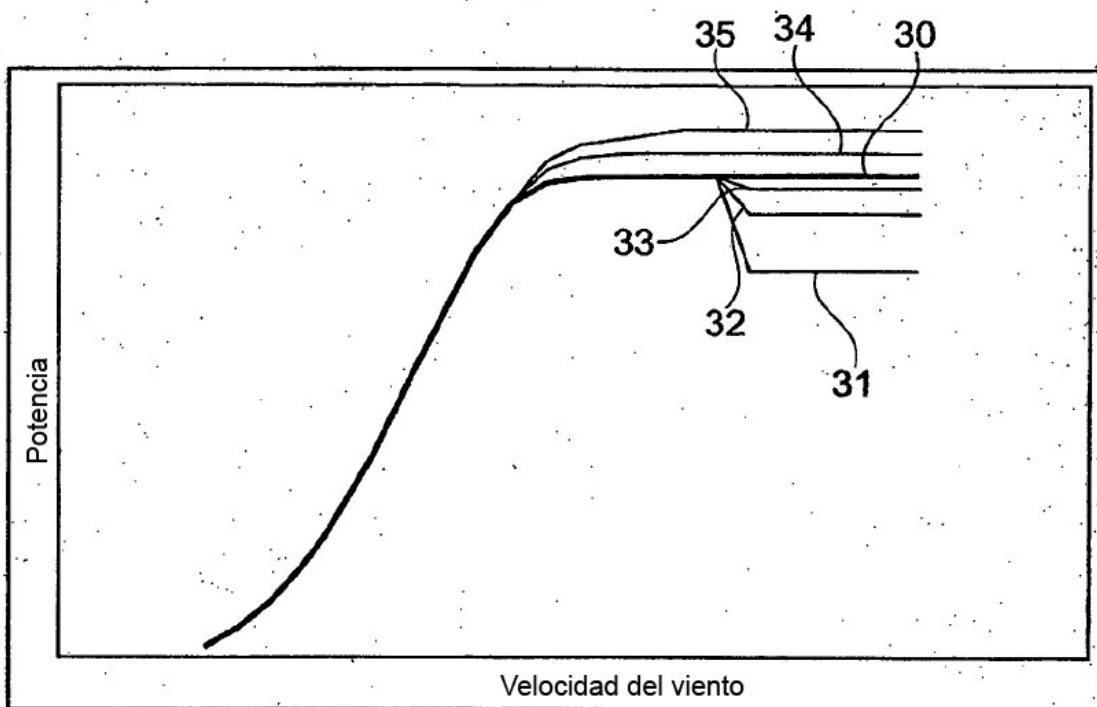
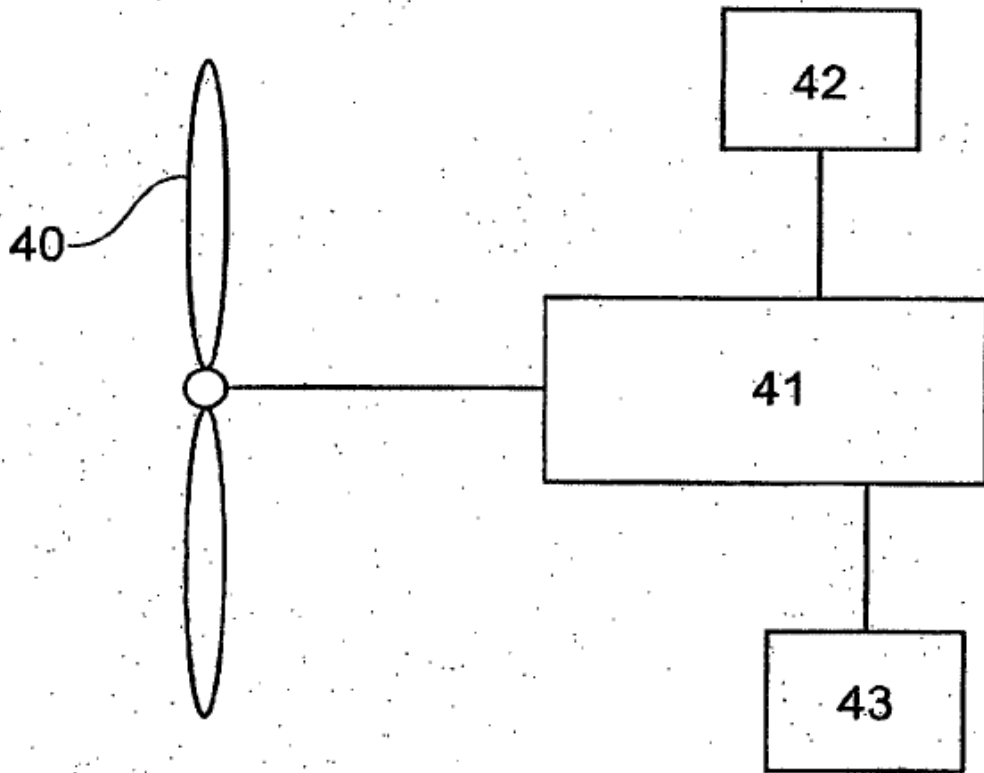


Fig. 5



**Fig. 6**