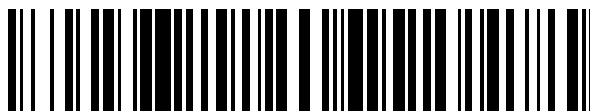


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 442 590**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/04** (2006.01)

**F03D 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2010** **E 10179696 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2013** **EP 2306007**

54 Título: **Procedimiento y sistema para controlar una turbina eólica**

30 Prioridad:

**30.09.2009 US 570676**

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

**12.02.2014**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)**  
**1 River Road**  
**Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**HUANG, XIONGZHE;**  
**ZHENG, DANIAN y**  
**XIONG, WEI**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 442 590 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**

Procedimiento y sistema para controlar una turbina eólica

La materia objeto que se describe en el presente documento se refiere, en general, a turbinas eólicas y, más particularmente, a un procedimiento y a un sistema para controlar una turbina eólica.

- 5 Las turbinas eólicas, por lo general, incluyen un rotor que tiene múltiples palas de rotor que están fijadas a un cubo giratorio. El rotor transforma la energía del viento en un par de rotación que acciona uno o más ejes. A menudo, los ejes están acoplados de manera giratoria a una caja de engranajes que intensifica la velocidad de rotación inherentemente baja del rotor. La caja de engranajes hace girar un eje de alta velocidad que acciona un generador para producir energía eléctrica, que alimentada una red de suministro eléctrico u otro destino.
- 10 Al menos algunas turbinas eólicas conocidos están diseñados para funcionar dentro de ciertos límites de par o de energía para minimizar el daño a uno o más componentes de las turbinas eólicas debido a la fuerza del viento. Cuando el viento golpea una pala de turbina eólica, la fuerza del viento genera un par y una fuerza de empuje sobre la pala. El par hace que la pala gire y produzca energía eléctrica. La fuerza de empuje, sin embargo, puede causar daños a la pala y/o a otros componentes de la turbina eólica. Al menos algunas turbinas eólicas conocidas no miden
- 15 con eficacia la fuerza de empuje inducida a palas de una turbina eólica por la fuerza del viento. Para evitar que la fuerza de empuje llegue a ser excesiva, al menos algunas turbinas eólicas conocidas calculan la fuerza de empuje de la velocidad del viento, y utilizan un sistema de control de bucle abierto que incluye grandes márgenes en parámetros operativos. Estos grandes márgenes pueden reducir la cantidad de par, y por lo tanto de energía, que puede ser generada por la turbina eólica. De este modo, las turbinas eólicas conocidas a menudo ajustan un ángulo
- 20 de paso de una o más palas de rotor para reducir una cantidad de energía capturada por las palas del rotor cuando las velocidades del viento son superiores a niveles nominales.

- Al menos una turbina eólica conocida utiliza un acelerómetro para medir un desplazamiento de la torre y/o góndola de turbina eólica debido a una fuerza del viento que golpea la torre y/o góndola, y para calcular la velocidad del viento. Sin embargo, se pueden utilizar l acelerómetros conocidos para medir el desplazamiento de alta frecuencia,
- 25 pero los acelerómetros conocidos pueden ser menos precisos para el desplazamiento de baja velocidad y/o baja frecuencia. Por ejemplo, al menos algunas grandes turbinas eólicas pueden oscilar a aproximadamente 0,35Hz o menos, y un acelerómetro puede no ser suficientemente preciso para medir tal desplazamiento. Por otra parte, al menos una turbina eólica conocida incluye un sistema de control que controla una salida de energía del generador y aumenta el ángulo de paso de las palas de rotor si la velocidad del generador y/o la energía de salida está cerca de
- 30 los niveles nominales. Sin embargo, tal sistema de control puede hacer que la turbina eólica funcione de manera ineficaz.

El documento EP 2 063 110 divulga un procedimiento de amortiguación de vibraciones de energía de un sistema control de turbina eólica y de inclinación.

- 35 Diversos aspectos y realizaciones de la presente invención sin embargo, son definidos por las reivindicaciones adjuntas.

Diversos aspectos y realizaciones de la presente invención se describirán ahora en conexión con los dibujos anexos, en los cuales:

- 40 La figura 1 es una vista esquemática de una turbina eólica a modo de ejemplo,  
La figura 2 es una vista en sección parcial de una góndola a modo de ejemplo que se puede usar con la turbina eólica mostrada en la figura 1.  
La figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento a modo de ejemplo para controlar una turbina eólica apropiado para su uso con la turbina eólica mostrada en la figura 1.  
La figura 4 es un diagrama de bloques de un bucle de control apropiado para su uso con la turbina eólica mostrada en la figura 1.

- 45 Varias de las realizaciones descritas en el presente documento miden un ángulo de paso de una torre de turbina eólica respecto de una superficie. Un sistema de control calcula una o más propiedades de la turbina eólica en función del ángulo de inclinación medido y compara las propiedades de la turbina eólica con una o más propiedades operativas deseadas de la turbina eólica. El sistema de control ajusta un ángulo de paso de una o más palas de rotor de la turbina eólica y/o un par reactivo de generador basado en la comparación. El ajuste del ángulo de paso y/o el
- 50 par reactivo de generador aumentan o reducen una cantidad de fuerza que se transfiere a la turbina eólica desde el viento, ajustando de este modo un desplazamiento y/o una carga de una góndola, una torre, y/o un cubo de la turbina eólica.

- La figura 1 es una vista esquemática de una turbina eólica 100 a modo de ejemplo. En la realización a modo de ejemplo, la turbina eólica 100 es una turbina eólica de eje horizontal. Alternativamente, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica de eje vertical. En la realización a modo de ejemplo, la turbina eólica 100 incluye una torre 102 que se extiende desde y está acoplada a una superficie de soporte 104. La torre 102 puede estar acoplada a la superficie 104 con pernos de anclaje o a través de una pieza de montaje de cimentación (no mostrada), por ejemplo.
- 55

Una góndola 106 está acoplada a la torre 102, y un rotor 108 está acoplado a la góndola 106. El rotor 108 incluye un cubo giratorio 110 y una pluralidad de palas de rotor 112 acopladas al cubo 110. En la realización a modo de ejemplo, el rotor 108 incluye tres palas de rotor 112. Alternativamente, el rotor 108 puede tener cualquier número adecuado de palas de rotor 112 que permita que la turbina eólica 100 funcione como se ha descrito en el presente documento. La torre 102 puede tener cualquier altura y/o construcción adecuada que permita que la turbina eólica 100 funcione como se ha descrito en el presente documento.

Las palas del rotor 112 están espaciados alrededor del cubo 110 para facilitar la rotación del rotor 108, transfiriendo de este modo energía cinética del viento a energía mecánica 124 utilizable, y, posteriormente, a energía eléctrica. El rotor 108 y la góndola 106 giran alrededor de la torre 102 sobre un eje de guiñada 116 para controlar la perspectiva de las palas de rotor 112 respecto de la dirección de viento 124. Las palas del rotor 112 están acopladas al cubo 110 acoplando una porción de raíz de pala 120 al cubo 110 en una pluralidad de regiones de transferencia de carga 122. Las regiones de transferencia de carga 122 tienen cada una una región de transferencia de carga de cubo y una región de transferencia de carga de pala (ambas no mostradas en la Figura 1). Las cargas inducidas a las palas de rotor 112 se transfieren al cubo 110 a través regiones de transferencia de carga 122. Cada pala de rotor 112 incluye también una porción de punta de la pala 125.

En la realización a modo de ejemplo, las palas de rotor 112 tienen una longitud de entre aproximadamente 30 metros (m) (99 pies (ft)) y aproximadamente 120 metros (394 pies). Alternativamente, las palas de rotor 112 pueden tener cualquier longitud adecuada que permita que el generador de turbina eólica funcione como se ha descrito en el presente documento. Cuando el viento 124 entra en contacto con la pala de rotor 112, fuerzas de levantamiento de pala son inducidas a las palas de rotor 112 y la rotación del rotor 108 alrededor de un eje de rotación 114 es inducida a medida que se acelera la porción de punta de la pala 125.

Un ángulo de paso (no mostrado) de las palas de rotor 112, es decir, un ángulo que determina un ángulo de ataque de la pala de rotor 112 respecto de una dirección de viento 124, puede ser cambiado por un conjunto de paso (no mostrado en la Figura 1). Específicamente, aumentando un ángulo de paso de pala de rotor 112 se disminuye el ángulo de ataque de la pala de rotor 112 y, por el contrario, reduciendo un ángulo de paso de la pala de rotor 112 se aumenta el ángulo de ataque de pala de rotor 112. Los ángulos de paso de las palas de rotor 112 se ajustan alrededor de un eje de paso 118 en cada pala de rotor 112. En la realización a modo de ejemplo, los ángulos de paso de las palas de rotor 112 son controlados individualmente. Alternativamente, los ángulos de paso de las palas del rotor 112 son controlados como un grupo. En una realización, los ángulos de paso de las palas de rotor 112 son controlados como un grupo con, por ejemplo, un par reactivo de un generador (no mostrado en la Figura 1) y/o una dirección de guiñada.

La Figura 2 es una vista en sección parcial de la góndola 106 de la turbina eólica a modo de ejemplo 100 (mostrada en la Figura 1). Varios componentes de la turbina eólica 100 están alojados en góndola 106. En la realización a modo de ejemplo, la góndola 106 incluye tres conjuntos de paso 130. Cada conjunto de paso 130 está acoplado a una pala de rotor asociada 112 (mostrada en la Figura 1), y modula un paso de una pala de rotor asociada 112 alrededor del eje de cabeceo 118. Sólo uno de los tres conjuntos de paso 130 se muestra en la Figura 2. En la realización a modo de ejemplo, cada conjunto de paso 130 incluye al menos un motor de accionamiento de paso 131.

Como se muestra en la Figura 2, el rotor 108 está acoplado de manera giratoria a un generador eléctrico 132 colocado dentro de la góndola 106 mediante el árbol de rotor 134 (a veces denominado ya sea árbol principal o árbol de baja velocidad), una caja de engranajes 136, árbol de alta velocidad 138, y un acoplamiento 140. La rotación del árbol 134 acciona de forma giratoria la caja de engranajes 136 que posteriormente acciona el árbol de alta velocidad 138. El árbol de alta velocidad 138 acciona de forma giratoria el generador 132 a través del acoplamiento 140 y la rotación del árbol de alta velocidad 138 facilita la producción de energía eléctrica por el generador 132. La caja de engranajes 136 se apoya en el soporte 142 y el generador 132 se apoya en el soporte 144. En la realización a modo de ejemplo, la caja de cambios 136 utiliza una geometría de doble vía para accionar el árbol de alta velocidad 138. Alternativamente, el árbol de rotor 134 está acoplado directamente al generador 132 a través del acoplamiento 140.

La góndola 106 también incluye un mecanismo de accionamiento de guiñada 146 que gira la góndola 106 y el rotor 108 alrededor del eje de guiñada 116 (mostrado en la Figura 1) para controlar la perspectiva de las palas del rotor 112 respecto de la dirección de viento 124. La góndola 106 también incluye al menos un mástil meteorológico 148 que incluye una veleta y un anemómetro (no mostrados en la Figura 2). En una realización, el mástil 148 proporciona información, que incluye la dirección del viento y/o la velocidad del viento, a un sistema de control 150. El sistema de control 150 incluye uno o más controladores u otros procesadores configurados para ejecutar algoritmos de control. Como se usa en el presente documento, el término "procesador" incluye cualquier sistema programable que incluye sistemas y microcontroladores, circuitos de conjunto de instrucciones reducidas (RISC), circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), circuitos lógicos programables (PLC), y cualquier otro circuito capaz de ejecutar las funciones descritas en el presente documento. Los ejemplos anteriores lo son solamente a modo de ejemplo, y por lo tanto no están destinados a limitar de ninguna manera la definición y/o el significado del término procesador. Por otra parte, el sistema de control 150 puede ejecutar un programa SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos).

El conjunto de paso 130 está acoplado operativamente al sistema de control 150. En la realización a modo de ejemplo, la góndola 106 también incluye el cojinete de soporte delantero 152 o principal y el cojinete de apoyo trasero 154. El cojinete de soporte delantero 152 y el cojinete de soporte trasero 154 facilitan el apoyo radial y la alineación del árbol de rotor 134. El cojinete de soporte delantero 152 está acoplado al árbol de rotor 134 cerca del cubo 110. El cojinete de soporte trasero 154 se coloca en el árbol de rotor 134 cerca de la caja de engranajes 136 y/o el generador 132. Alternativamente, la góndola 106 incluye cualquier número de cojinetes de soporte que permiten que la turbina eólica 100 funcione como se describe en el presente documento. El árbol de rotor 134, el generador 132, la caja de engranajes 136, el árbol de alta velocidad 138, el acoplamiento 140, y cualquier elemento de fijación, soporte, y/o dispositivo afianzamiento, asociado que incluye, pero no se limita a, soportes 142 y 144, y cojinetes de soporte 152 y 154, son a veces denominados tren de transmisión 145.

En la realización a modo de ejemplo, la góndola 106 incluye un sensor 160 que mide una inclinación de la torre 102. Como se usa en el presente documento, el término "inclinación" se refiere a un ángulo de inclinación 162 que forma el eje guiñada 116 respecto de una línea 164 normal o sustancialmente normal a la superficie 104. En la realización a modo de ejemplo, el sensor 160 es un inclinómetro. Alternativamente, el sensor 160 es cualquier instrumento adecuado que mide la inclinación de la torre 102. En una realización alternativa, el sensor 160 está situado dentro de la torre 102, o cualquier otra ubicación adecuada en o cerca de la torre 102 para medir el ángulo de inclinación 162.

La Figura 3 ilustra un procedimiento a modo de ejemplo 200 para controlar una turbina eólica, tal como una turbina eólica 100 (mostrada en la Figura 1). En la realización a modo de ejemplo, el procedimiento 200 incluye medir 202 una inclinación de la torre 102 (mostrada en la Figura 1) utilizando el sensor 160 (mostrado en la Figura 2). En una realización, el sensor 160 mide 202 la inclinación de la torre de 102 periódicamente, por ejemplo entre 20 y 100 veces por segundo, o en cualquier intervalo de tiempo adecuado. En otra realización, el sensor 160 mide 202 la inclinación de la torre 102 de forma continua. El sensor 160 transmite una o más señales que representan cada una la medición de inclinación al sistema de control 150 (mostrado en la Figura 2).

El sistema de control 150 analiza las señales de medición de inclinación recibidas del sensor 160 y calcula 204 una o más propiedades de viento y/o una o más propiedades operativas de turbina eólica de las señales. En la realización a modo de ejemplo, el sistema de control 150 calcula 204 una fuerza de empuje ejercida sobre la turbina eólica 100 por el viento 124 (mostrada en la Figura 1) (denominada en lo sucesivo "fuerza de empuje"). Más específicamente, cuando el viento 124 golpea el rotor 108 y la góndola 106, la fuerza de empuje desplaza el rotor 108 y la góndola 106. El desplazamiento del rotor 108 y la góndola 106 hace que la torre 102 se curve y aumenta el ángulo de inclinación 162 y/o una frecuencia de oscilación de la torre 102, la góndola 106, y el rotor 108. El sensor 160 mide 202 el ángulo de inclinación 162 y transmite señales que representan el ángulo de inclinación 162 para controlar el sistema 150. El sistema de control 150 utiliza el ángulo de inclinación medido 162 para calcular 204 la fuerza de empuje inducida a la turbina eólica 100 por el viento 124. En una realización, el sistema de control 150 referencia una tabla de consulta (no mostrada) para determinar una cantidad de fuerza requerida para curvar la torre 102 en una cantidad aproximadamente igual al ángulo de inclinación 162, y utiliza la cantidad determinada de fuerza como la fuerza de empuje calculada 204. En la realización a modo de ejemplo, el sistema de control 150 utiliza un modelo de torre 204 para calcular 204 la fuerza de empuje sobre la base del ángulo de inclinación 162. Como se usa en el presente documento, el término "modelo de torre" se refiere a una combinación de ecuaciones, datos y representaciones matemáticas que describe, calcula, y/o predice una operación de uno o más componentes de turbina eólica 100.

Una vez que el sistema de control 150 calcula la fuerza de empuje 204, el sistema de control 150 puede utilizar la fuerza de empuje calculado para calcular 204 otras propiedades del viento, tales como una velocidad, una aceleración, y/o cualquier propiedad adecuada de viento 124. La fuerza de empuje se basa en la velocidad del viento 124. En consecuencia, el sistema de control 150 puede calcular 204 la velocidad del viento 124 utilizando la fuerza de empuje calculada usando el modelo de torre. Además, el sistema de control 150 puede calcular 204 una aceleración de viento 124 midiendo y/o calculando una tasa de cambio de la velocidad del viento 124. De manera similar, el sistema de control 150 puede utilizar la fuerza de empuje calculada para calcular 204 otras propiedades de turbina eólica, tales como una velocidad de oscilación, la frecuencia, y la aceleración de la torre 102, la góndola 106, y el rotor 108.

El sistema de control 150 compara 206 las propiedades del viento y/o las propiedades de la turbina eólica con una o más propiedades operativas deseadas correspondientes de la turbina eólica 100. En la realización a modo de ejemplo, las propiedades operativas deseadas incluyen una velocidad nominal o deseada del viento para la turbina eólica 100, una fuerza de empuje nominal o deseada, y/o cualquier propiedad adecuada. En la realización a modo de ejemplo, las propiedades operativas deseadas están predeterminadas y se almacenan dentro del sistema de control 150, tal como dentro de una memoria (no mostrada) del sistema de control 150. Alternativamente, las propiedades operativas deseadas pueden ser almacenada a distancia, tal como en un servidor remoto (no mostrado), o en cualquier ubicación adecuada.

El sistema de control 150 ajusta 208 el ángulo de paso de las palas del rotor 112 y/o un par reactivo del generador 132 (denominado en lo sucesivo "par de generador ") basado en la comparación 206. Por ejemplo, si la velocidad del viento calculada 124 y/o la fuerza de empuje calculada es superior a una velocidad operativa deseada y/o una fuerza de empuje deseada, respectivamente, de la turbina eólica 100, el sistema de control 150 aumenta el ángulo de paso

de las palas de rotor 112 mientras se mantiene sustancialmente el par de generador para reducir una cantidad de la fuerza de empuje transferida a las palas de rotor 112 por el viento 124. En una realización, el sistema de control 150 aumenta el ángulo de paso de las palas de rotor 112 y aumenta o disminuye el par de generador cuando la velocidad del viento 124 calculada 204 y / o la fuerza de empuje calculada es superior a una velocidad operativa deseada y/o una fuerza de empuje deseada, respectivamente, de la turbina eólica 100. La reducción en la fuerza de empuje transmitida a las palas de rotor 112 reduce una cantidad de desplazamiento, deformación, y la carga de la torre 102, góndola 106, y/o rotor 108, reduce el ángulo de inclinación 162, y reduce la frecuencia de oscilación de la turbina eólica 100. Por el contrario, si la velocidad calculada 204 y/o la fuerza de empuje calculada es inferior a una velocidad operativa deseada y/o una fuerza de empuje deseada de la turbina eólica 100, respectivamente, el sistema de control 150 disminuye el ángulo de paso de las palas de rotor 112 para aumentar una cantidad de fuerza de empuje transferida a las palas de rotor 112 y/o aumentar el par de generador para aumentar una cantidad de energía capturada por la turbina eólica 100. El aumento en la fuerza de empuje transferida a las palas de rotor 112 aumenta una cantidad de desplazamiento, deformación, y carga de la torre 102, góndola 106 y/o rotor 108, aumenta el ángulo de inclinación 162, y aumenta la frecuencia de oscilación de la turbina eólica 100. Después de ajustar 208 el ángulo de paso de las palas de rotor 112 y/o de ajustar el par de generador, el procedimiento 200 vuelve a medir 202 la inclinación de la torre 102. Como se ha descrito anteriormente, el procedimiento 200 usa un primer ángulo de inclinación 162 o ángulo de inclinación previamente medido para ajustar un segundo ángulo de inclinación 162 o ángulo de inclinación posterior.

La figura 4 muestra esquemáticamente un bucle de control 300 a modo de ejemplo adecuado para su uso con la turbina eólica 100 (mostrada en la Figura 1) y el procedimiento 200 (mostrado en la Figura 3). El bucle de control 300 incluye el sistema de control 150 que incluye un módulo de referencia 302, un módulo de comparación 304, un modelo de torre 306, y un controlador 308. El bucle de control 300 también incluye la turbina eólica 100, el sensor 160, y un filtro 310. En una realización, el filtro 310 incluye uno o más circuitos del sistema de control 150. En otra realización, el filtro 310 incluye uno o más circuitos del sensor 160 y/o cualquier componente adecuado de la turbina eólica 100. En aún otra realización, el filtro 310 es un filtro aplicado en software que se ejecuta en uno o más procesadores del sistema de control 150, como controlador 308.

En la realización a modo de ejemplo, el módulo de referencia 302 transmite al módulo de comparación 304 una señal que incluye un valor que representa una fuerza de empuje deseada o nominal (o un intervalo de fuerzas de empuje) a la que la turbina eólica 100 está diseñada para funcionar de manera óptima. El modelo de torre 306 transmite al módulo de comparación 304 una señal que incluye un valor que representa una fuerza de empuje calculada a partir del par motor de generador y/o de las condiciones medidas por el sensor 160. En la realización a modo de ejemplo, el modelo de torre 306 incluye un modelo de sistema dinámico de masa-resorte-amortiguador de segundo orden que calcula un desplazamiento de la torre 102 y/o la góndola 106 y la fuerza de empuje desde el ángulo de inclinación 162 utilizando la teoría de vigas de Euler-Bernoulli. Alternativamente, el modelo de torre 306 incluye cualquier modelo de sistema que permita que el sistema de control 150 opere como se describe en el presente documento. El módulo de comparación 304 compara los valores de módulo de referencia 302 y el modelo de torre 306, y transmite el resultado al controlador 308. En la realización a modo de ejemplo, el controlador 308 y/o de sistema de control 150 ejecuta un algoritmo proporcional integral derivativo (PID) para facilitar el seguimiento y el ajuste de la cantidad de fuerza que la turbina eólica 100 recibe del viento 124. En una realización alternativa, el controlador 308 y/o el sistema de control 150 ejecuta cualquier algoritmo de control de bucle cerrado adecuado que permite que la turbina eólica 100 opere como se describe en el presente documento.

El controlador 308 usa (es decir, controla) uno o más conjuntos de paso 130 (mostrados en la Figura 2) para ajustar el ángulo de paso de las palas de rotor 112 (mostrado en la Figura 1) y/o controla el par de generador en función del resultado de la comparación. Más específicamente, si la fuerza de empuje calculada es menor que la fuerza de empuje deseada, el controlador 308 disminuye el ángulo de paso de las palas de rotor 112 y/o aumenta el par de generador de tal manera que las palas de rotor 112 capturan más fuerza del viento 124 (mostrado en la Figura 1). Si la fuerza de empuje calculada es mayor que la fuerza de empuje deseada, el controlador 308 aumenta el ángulo de paso de las palas de rotor 112, mientras que se mantiene sustancialmente el par de generador de tal manera que las palas de rotor 112 capturan menos fuerza del viento 124. El sensor 160 mide una inclinación de la torre 102 (mostrada en la Figura 1) como se ha descrito anteriormente. El filtro 310 recibe señales que representan la inclinación medida de la torre 102 del sensor 160 y el filtro 310 proporciona señales de medición de inclinación filtradas al modelo de torre 306. Más específicamente, el filtro 310 elimina un componente de ruido, tal como el ruido de alta frecuencia, de las señales recibidas desde el sensor 160. El modelo de torre 306 calcula la fuerza de empuje de las señales filtradas, y transmite el valor que representa la fuerza de empuje calculada al módulo de comparación 304 como se ha descrito anteriormente.

Como se ha descrito anteriormente, el uso del procedimiento 200 (mostrado en la Figura 3) y bucle de control 300 (mostrado en la Figura 4) facilita, proporcionar una captura de energía adicional en comparación con las turbinas eólicas conocidos. La capacidad de una turbina eólica para capturar energía está limitada por una cantidad de par inducido a las palas de turbina eólica y una cantidad de fuerza de empuje inducida a la turbina eólica por el viento. Los procedimientos conocidos para hacer funcionar turbinas eólicas utilizan un control de bucle abierto para operar la turbina eólica 100 dentro de los límites nominales. Tales procedimientos pueden ser menos precisos en el cálculo de la fuerza de empuje que el procedimiento 200 y el bucle de control 300, y tales procedimientos pueden requerir

elevados márgenes operativos para mantenerse en parámetros que pueden reducir una cantidad de energía que es capaz de ser capturada. El uso del procedimiento 200 y del bucle de control 300 facilita el funcionamiento de la turbina eólica 100 con márgenes más bajos y más precisos para maximizar la cantidad de energía capturada por la turbina eólica 100.

- 5 Varios efectos técnicos del sistema y el procedimiento de ciertas realizaciones descritas en el presente documento incluyen al menos uno de: (a) acoplar una torre a una superficie, (b) acoplar una góndola a una torre; (c) acoplar un cubo a una góndola; (d) acoplar al menos una pala a un cubo, (e) acoplar un generador a la turbina eólica, y (f) acoplar un sistema de control dentro de una góndola. El sistema de control tiene un sensor configurado para medir un ángulo de inclinación de una torre respecto de una superficie, al menos un conjunto de paso configurado para
- 10 ajustar un ángulo de paso de al menos una pala, y un controlador configurado para controlar al menos uno de al menos un conjunto de paso y el generador basado en el ángulo de inclinación medido.

- Las realizaciones descritas anteriormente facilitan proporcionar un sistema eficiente y rentable para el control de una turbina eólica. El sistema de control facilita calcular una fuerza de empuje que se transfiere a la turbina eólica en función de un ángulo de inclinación medido de la turbina eólica. Se pueden calcular propiedades del viento
- 15 adicionales y propiedades de turbinas eólicas de manera eficiente mediante la fuerza de empuje calculada. Como tal, el sistema de control facilita proporcionar una solución rentable para el funcionamiento de la turbina eólica y el generador dentro de los límites nominales. El sistema de control también facilita permitir que la turbina eólica capture más energía del viento que otros sistemas de turbinas eólicas conocidos. Por otra parte, midiendo precisa y
- 20 eficientemente la fuerza de empuje que se aplica a la turbina eólica, se puede minimizar una cantidad de carga de la turbina eólica y componentes asociados, si se desea. De este modo, la turbina eólica y/o los componentes de la turbina eólica pueden presentar una larga vida útil.

**REIVINDICACIONES**

1.- Una turbina eólica (100), que comprende:

5 una torre (102) acoplada a una superficie (104);  
al menos una pala de rotor (112);  
un generador (132); y  
un sistema de control (150), comprendiendo el sistema de control:

10 un sensor (160) configurado para medir un ángulo de inclinación (162) de la torre respecto de una  
superficie (104);  
al menos un conjunto de paso (130) configurado para ajustar un ángulo de paso de la paleta de  
rotor; y  
15 un controlador (308) configurado para controlar al menos uno de dicho conjunto de paso y el  
generador sobre la base del ángulo de inclinación medido; **caracterizada porque**

20 dicho sistema de control está configurado para calcular una fuerza de empuje transferida a la  
turbina eólica (100) sobre la base del ángulo de inclinación medido (162) y para comparar la fuerza  
de empuje calculada con un valor predeterminado, y para ajustar un par del generador (132) si la  
fuerza de empuje calculada se superior o inferior al valor predeterminado.

2.- Una turbina eólica según la reivindicación 1, que comprende, además, un filtro (310) acoplado operativamente a  
dicho sensor (160), en el que dicho filtro está configurado para recibir una señal que representa el ángulo de  
inclinación medido (162) de dicho sensor y para filtrar la señal.

25 3.- Una turbina eólica según cualquier reivindicación anterior, en la que dicho sensor (160) está configurado para  
medir un primer ángulo de inclinación (162) y dicho sistema de control está configurado para ajustar un segundo  
ángulo de inclinación de la torre (102) sobre la base del primer ángulo de inclinación.

30 4.- Una turbina eólica según cualquier reivindicación anterior, en la que dicho sistema de control está configurado  
para reducir el ángulo de paso de la pala de rotor (112) si la fuerza de empuje calculada es inferior al valor  
predeterminado y, configurado para aumentar el ángulo de paso de la pala de rotor (112) si la fuerza de empuje  
calculada es superior al valor predeterminado.

FIGURA 1

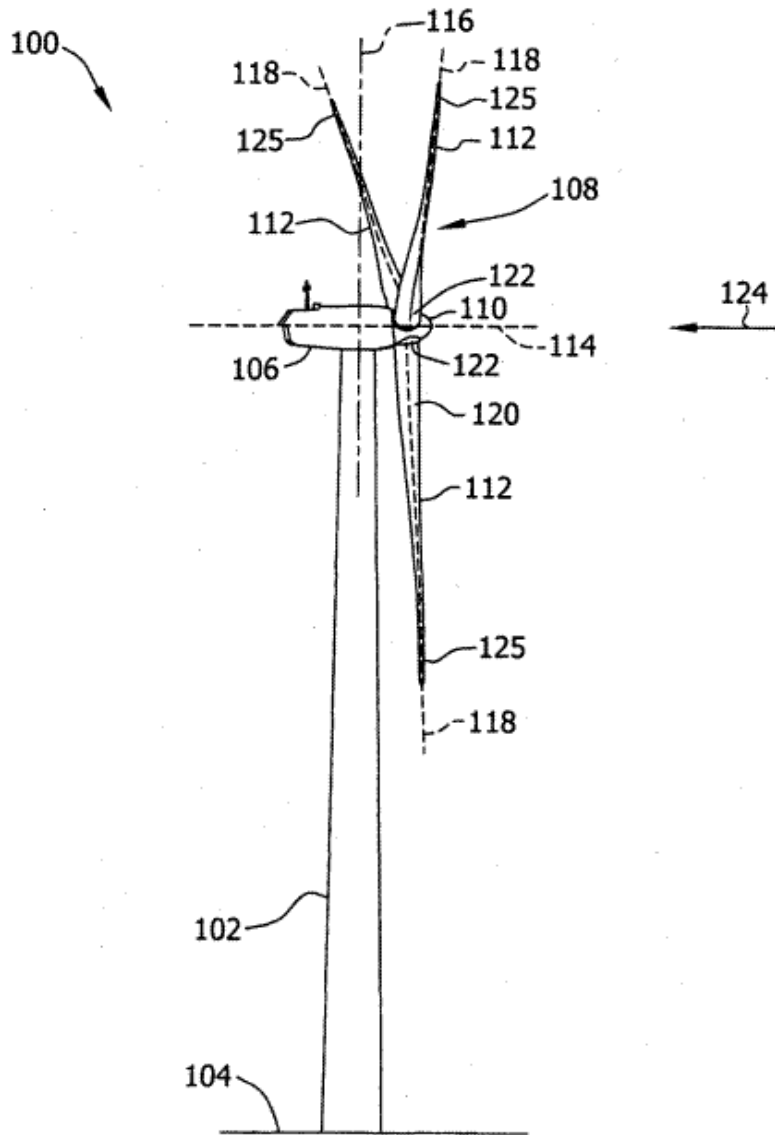
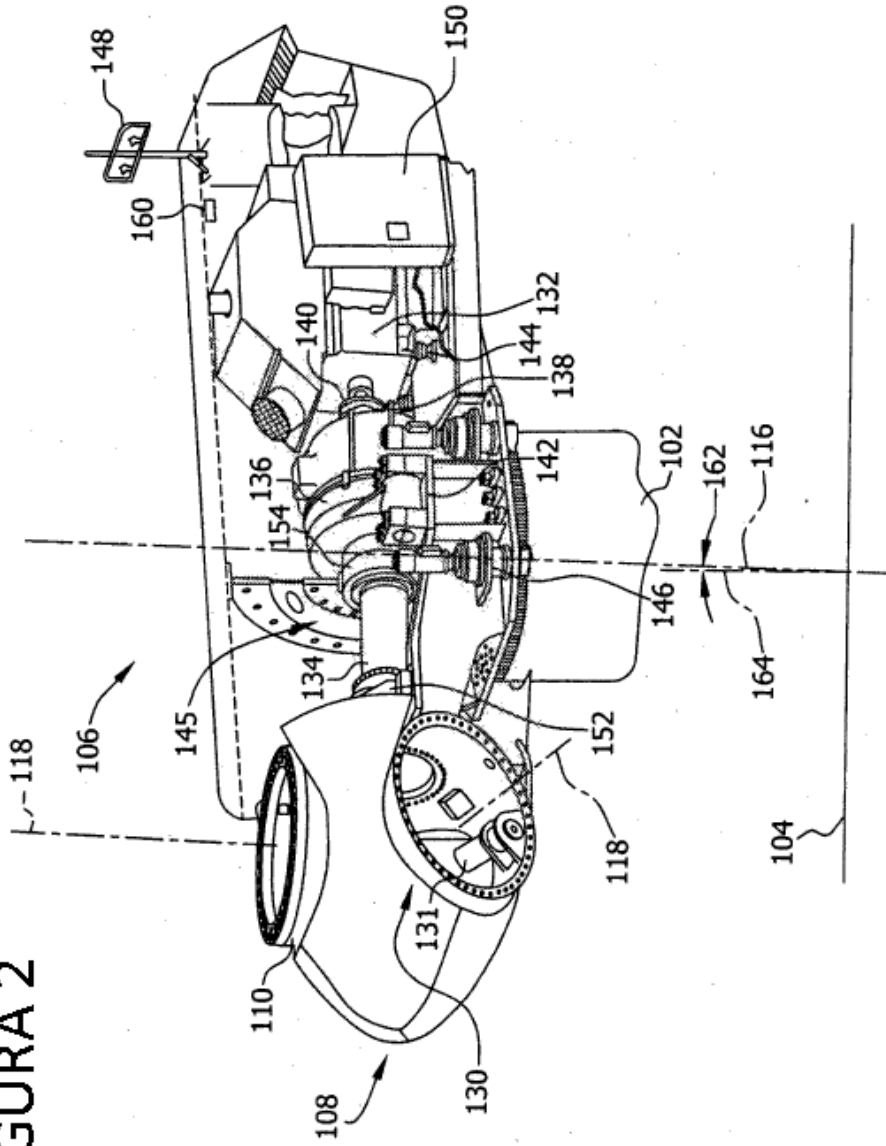
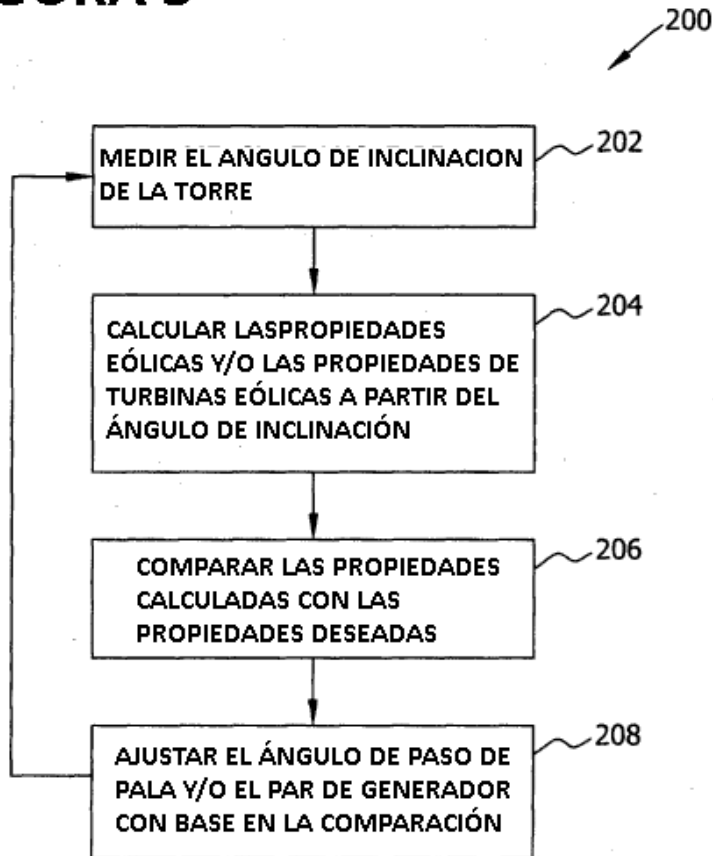




FIGURA 2



**FIGURA 3**



**FIGURA 4**

