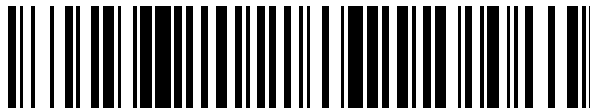


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 800 336**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

H02P 9/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

H02P 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.11.2011 E 11188294 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020 EP 2450569**

54 Título: **Parque eólico y procedimiento de control de al menos una turbina eólica**

30 Prioridad:

09.11.2010 US 942725

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

29.12.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LANDA, BERNARD;
LATORRE, CARLOS EDUARDO;
FRIC, THOMAS FRANK;
CONVERSE, THOMAS OMAR;
DINJUS, THOMAS;
BROWN, MICHAEL GREGORY;
TORBOHM, GERT y
SCHUELL, NADINE**

74 Agente/Representante:

CONTRERAS PÉREZ, Yahel

ES 2 800 336 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

Parque eólico y procedimiento de control de al menos una turbina eólica

5 La materia que se describe en el presente documento se refiere en general a turbinas eólicas y, más en particular, a una turbina eólica y a un procedimiento para controlar al menos una turbina eólica dentro de un parque eólico.

10 En general, una turbina eólica incluye un rotor que incluye un conjunto de eje rotatorio que tiene múltiples palas. Las palas transforman la energía eólica en un par de rotación mecánica que acciona uno o más generadores a través del rotor. Los generadores están a veces, pero no siempre, acoplados rotacionalmente al rotor a través de una multiplicadora. La multiplicadora aumenta la inherente baja velocidad de rotación del rotor para que el generador convierta eficientemente la energía mecánica rotacional en energía eléctrica, la cual es suministrada a una red de suministro de energía a través de al menos una conexión eléctrica.

15 También existen turbinas eólicas de transmisión directa sin multiplicadoras. El rotor, el generador, la multiplicadora y otros componentes suelen estar montados dentro de una carcasa, o góndola, que está situada sobre una base que incluye una estructura o torre tubular. Al menos algunas de las turbinas eólicas conocidas están físicamente incluidas en conjunto en una región geográfica común para formar un parque eólico.

20 En al menos algunas turbinas eólicas conocidas, unas combinaciones de condiciones de aire locales y condiciones de operación de turbina eólica cooperan para inducir deflexiones de una o más de las palas del rotor en rotación. Algunas de dichas deflexiones de pala pueden ser suficientes para reducir una distancia entre las palas en rotación y la estructura o torre tubular, aumentando de este modo la probabilidad de contacto entre las mismas. Ese contacto puede aumentar los costes de mantenimiento de operación y de sustitución, reducir la generación de energía eléctrica durante correspondientes interrupciones de mantenimiento y disminuir la vida útil esperada de las palas y de la estructura o torre. En algunas de las turbinas eólicas conocidas se han instalado sensores de deflexión de pala en cada una de las palas para proporcionar unas indicaciones a los operadores sobre deflexiones de pala existentes (véase, por ejemplo, US 2008/0101930, EP1674724 y EP 2 075 561). Sin embargo, la instalación de sensores de deflexión de pala aumenta los costes de capital de construcción de turbinas eólicas y los costes de mantenimiento de operación, incluidas las actividades de mantenimiento preventivo y de calibración.

35 La presente invención, por el contrario, es definida por las reivindicaciones adjuntas.

Diversos aspectos y formas de realización de la presente invención se describirán ahora en conexión con los dibujos adjuntos, en los cuales:

40 La Figura 1 es una vista esquemática de una turbina eólica de ejemplo.

La Figura 2 es una vista parcial en sección de una góndola de ejemplo adecuada para su uso con la turbina eólica que se muestra en la Figura 1.

La Figura 3 es una vista esquemática de un ejemplo de eje de rotor adecuado para su uso con la góndola que se muestra en la Figura 2.

45 La Figura 4 es una vista esquemática de un parque eólico de ejemplo que incluye la turbina eólica que se muestra en la Figura 1.

La Figura 5 es una vista esquemática de una primera parte de un ejemplo de sistema de control de reducción de carga aerodinámica adecuado para su uso con el parque eólico que se muestra en la Figura 4.

La Figura 6 es una vista esquemática de un ejemplo alternativo de sistema de control de reducción de carga aerodinámica adecuado para su uso en el parque eólico que se muestra en la Figura 4.

50 La Figura 7 es un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo de operación de la turbina eólica que se muestra en la Figura 1 y del parque eólico que se muestra en la Figura 4.

Las formas de realización que se describen en el presente documento proporcionan un sistema de control para una turbina eólica y un parque eólico que implementa un sistema de control de reducción de carga aerodinámica. El sistema de control se integra en hardware y software existente de turbina eólica y de parque eólico para medir y controlar deflexiones de pala de turbina eólica. Más en concreto, el sistema de control de reducción de carga aerodinámica determina dinámicamente unos valores de deflexión de pala de turbina eólica, compara dichos valores existentes con parámetros de deflexión de pala predeterminados y modifica las condiciones de operación de la turbina eólica afectada para reducir dichas deflexiones dentro de dichos parámetros predeterminados (si es necesario) o impedir que se superen dichos parámetros. En una forma de realización, las deflexiones de pala de cada turbina eólica se controlan individualmente a través de controladores de turbina eólica dedicados a dicha turbina eólica individual. En otra forma de realización, las deflexiones de pala de una pluralidad de turbinas eólicas en un parque eólico se controlan conjuntamente o individualmente a través de un controlador del parque eólico. Además, ambas formas de realización utilizan hardware existente, tal como sensores y procesadores, por lo que la implementación de las formas de realización del sistema de control de reducción de carga aerodinámica según se describe en

el presente documento, disminuye los costes de capital de construcción y los costes de operación asociados con el mantenimiento preventivo y correctivo rutinario.

5 Un efecto técnico del sistema de control de reducción de carga aerodinámica que se describe en el presente documento puede ser reducir deflexiones de pala en turbinas eólicas, disminuyendo de este modo un potencial contacto entre una pala y la torre de la turbina eólica. Más en concreto, un efecto técnico del sistema de control de reducción de carga aerodinámica que se describe en el presente documento puede incluir determinar deflexiones de pala mientras la turbina eólica está en operación y controlar al menos una característica de operación de la turbina eólica para reducir las deflexiones de pala de modo que las deflexiones de pala se mantienen dentro de parámetros predeterminados. Un efecto técnico adicional del sistema de control según se describe en el presente documento puede ser determinar y controlar deflexiones de pala para una pluralidad de turbinas eólicas incluidas en un parque eólico.

15 La Figura 1 es una vista esquemática de una turbina eólica de ejemplo 100. En la forma de realización 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 forma de realización 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 unos pernos de anclaje o a través de una pieza de montaje de cimentación (que no se muestran), por ejemplo. Una góndola 106 está acoplada a la torre 102, y un rotor 108 está acoplado a la góndola 106. El rotor 108 incluye un buje rotatorio 110 y una pluralidad de palas de rotor 112 acopladas al buje 110. En la forma de realización 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 permite a la turbina eólica 100 operar según se describe en el presente documento. La torre 102 puede tener cualquier altura y/o construcción adecuada que permita a la turbina eólica 100 operar según se describe en el presente documento.

30 Las palas de rotor 112 están espaciadas en torno al buje 110 para facilitar la rotación del rotor 108, transfiriendo de este modo energía cinética del viento 114 en forma de energía mecánica utilizable, y posteriormente, en forma de energía eléctrica. El rotor 108 y la góndola 106 son rotados alrededor de la torre 102 en un eje de orientación del rotor 116 para controlar una perspectiva, o ángulo de acimut, de las palas de rotor 112 con respecto a la dirección del viento 114. Las palas de rotor 112 están acopladas al buje 110 mediante acoplamiento de una parte de raíz de pala 118 al buje 110 en una pluralidad de regiones de transferencia de carga 120. Cada región de transferencia de carga 120 tiene una región de transferencia de carga de buje y una región de transferencia de carga de pala (ambas no se muestran en la Figura 1).

35 Las cargas inducidas en las palas de rotor 112 son transferidas al buje 110 a través de las regiones de transferencia de carga 120. Cada pala de rotor 112 también incluye una parte de punta de pala 122.

40 En la forma de realización de ejemplo, las palas de rotor 112 tienen una longitud de entre aproximadamente 30 metros (m) (99 pies) y aproximadamente 120 m (394 pies). Alternativamente, las palas de rotor 112 pueden tener cualquier longitud adecuada que permita a la turbina eólica 100 operar según se describe en el presente documento. Por ejemplo, las palas de rotor 112 pueden tener una longitud adecuada inferior a 30 m o superior a 120 m. A medida que el viento 114 entra en contacto con una pala de rotor 112, se inducen unas fuerzas de elevación de pala en la pala del rotor 112 y se induce una rotación del rotor 108 en torno a un eje de rotación 124 a medida que se acelera la parte de punta de pala 122.

45 Un ángulo de paso (que no se muestra) de las palas de rotor 112, es decir, un ángulo que determina la perspectiva de las palas de rotor 112 con respecto a la dirección del viento 114, puede ser cambiado por un mecanismo de ángulo de paso (no mostrado en la Figura 1). Aumentando el ángulo de paso de las palas de rotor 112 disminuye la deflexión de las palas reduciendo las cargas aerodinámicas sobre las palas de rotor 112 y aumentando la rigidez fuera de plano a causa del cambio de orientación geométrica. Los ángulos de paso de las palas de rotor 112 son ajustados en torno a un eje de paso 128 en cada una de las palas de rotor 112. En la forma de realización de ejemplo, los ángulos de paso de las palas de rotor 112 se controlan individualmente. Alternativamente, los ángulos de paso de las palas de rotor 112 se controlan como un grupo.

50 Cada pala 112 también incluye al menos una aleta o flap deflectora de pala 129 que está acoplada a un mecanismo de control de aleta de pala (que no se muestra). En una forma de realización, la aleta de pala 129 está acoplada de manera pivotante o articulada al mecanismo de control de aleta de pala. La aleta de pala 129 normalmente está alineada con un área de superficie de la pala 126, sin embargo, en ocasiones, la aleta de pala 129 se desvía hacia fuera de la superficie 126 para inducir fuerzas de resistencia en la pala 112 para contrarrestar las fuerzas de rotación inducidas que se han descrito anteriormente.

65 La Figura 2 es una vista parcial en sección de la góndola 106 de la turbina eólica de ejemplo 100. Diversos componentes de la turbina eólica 100 se encuentran alojados en la góndola 106. En la forma de realización de ejemplo, el rotor 108 incluye tres mecanismos de ángulo de paso 130. Cada mecanismo de ángulo de paso 130 está acoplado a una pala de rotor asociada 112 (que se muestra en la Figura 1), y modula un paso de la pala de rotor asociada 112 en torno al eje de paso 128. En la Figura 2 sólo se muestra uno de

los tres mecanismos de ángulo de paso 130. En la forma de realización de ejemplo, cada mecanismo de ángulo de paso 130 incluye al menos un motor de control del ángulo de paso 131.

5 Según se muestra en la Figura 2, el rotor 108 está acoplado de forma rotatoria a un generador eléctrico 132 situado dentro de la góndola 106 a través del eje de rotor 134 (a veces denominado eje principal o eje de baja velocidad), una multiplicadora 136, un eje de alta velocidad 138 y un acoplamiento 140. La rotación del eje del rotor 134 acciona de forma rotatoria la multiplicadora 136 que posteriormente acciona el eje de alta velocidad 138. El eje de alta velocidad 138 acciona de forma rotatoria el generador 132 a través del acoplamiento 140 y la rotación del eje de alta velocidad 138 facilita la producción de energía eléctrica por parte del generador 132. La multiplicadora 136 es soportada por el soporte 142 y el generador 132 es soportado por el soporte 144. En la forma de realización de ejemplo, la multiplicadora 136 utiliza una geometría de doble trayectoria para accionar el eje de alta velocidad 138. Alternativamente, el eje del rotor 134 está acoplado directamente al generador 132 a través del acoplamiento 140.

15 La góndola 106 también incluye un mecanismo de rotación de la góndola u orientación del rotor 146 que hace rotar la góndola 106 y el rotor 108 en torno al eje de orientación del rotor 116 (que se muestra en la Figura 1) para controlar la perspectiva de las palas de rotor 112 con respecto a la dirección del viento 114. La góndola 106 también incluye al menos un mástil meteorológico 148 que incluye una veleta y un anemómetro (que no se muestran en la Figura 2). En una forma de realización, el mástil 148 proporciona información, que incluye la dirección y/o la velocidad del viento, a un armario del sistema de control 150. El armario del sistema de control 150 incluye uno o más controladores u otros procesadores configurados para ejecutar algoritmos de control y lógica de control. Según se utiliza en el presente documento, el término "procesador" incluye cualquier sistema programable, incluidos sistemas y microcontroladores, circuitos de conjunto de instrucciones reducidas (RISC), circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC), circuitos lógicos programables (PLC) y cualquier otro circuito capaz de ejecutar las funciones que se describen en el presente documento. Los ejemplos anteriores son sólo de ejemplo y, por lo tanto, no pretenden limitar en modo alguno la definición y/o el significado del término procesador. Además, el armario del sistema de control 150 puede albergar suficientes capacidades de procesamiento para ejecutar aplicaciones de soporte, que incluyen, pero no se limitan a, un programa de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA).

20 En la forma de realización de ejemplo, el armario del sistema de control 150 está situado dentro de la góndola 106. Alternativamente, el armario del sistema de control 150 está situado dentro de la torre 102 (que se muestra en la Figura 1), por ejemplo, cerca del suelo 104 (que se muestra en la Figura 1). En otras formas de realización, el armario del sistema de control 150 está situado en cualquier lugar que permita la operación de la turbina eólica 100 según se describe en el presente documento, que incluye, pero no se limita a, un recinto remoto (que no se muestra) situado a cierta distancia de la turbina eólica 100.

25 El mecanismo de ángulo de paso 130 está acoplado operativamente al armario del sistema de control 150. En la forma de realización de ejemplo, la góndola 106 también incluye un rodamiento de soporte principal o delantero 152 y un rodamiento de soporte trasero 154. El rodamiento de soporte delantero 152 y el rodamiento de soporte trasero 154 facilitan un soporte radial y una alineación del eje del rotor 134. El rodamiento de soporte delantero 152 está acoplado al eje del rotor 134 cerca del buje 110. El rodamiento de soporte trasero 154 está situado en el eje del rotor 134 cerca de la multiplicadora 136 y/o del generador 132. Alternativamente, la góndola 106 incluye cualquier número de rodamientos de soporte que permiten que la turbina eólica 100 funcione según se describe en el presente documento. En la forma de realización de ejemplo, el eje del rotor 134, el generador 132, la multiplicadora 136, el eje de alta velocidad 138, el acoplamiento 140, y cualquier dispositivo de sujeción, soporte y/o seguridad asociado que incluye, pero no se limita a, el soporte 142, el soporte 144, el rodamiento de soporte delantero 152, y el rodamiento de soporte trasero 154, se denominan en conjunto tren de transmisión 156. Además, en ciertas formas de realización, el tren de transmisión 156 incluye un dispositivo de frenado (que no se muestra) que facilita una reducción de una velocidad de rotación del tren de transmisión 156.

30 La Figura 3 es una vista esquemática de ejemplo de un eje de rotor 134. En la forma de realización de ejemplo, el eje del rotor 134 es un eje unitario fabricado y formado a partir de cualquier material o combinación de materiales adecuados que permiten la operación de la turbina eólica 100 según se describe en el presente documento. El eje del rotor 134 incluye una brida de acoplamiento del buje 162 que define una pluralidad de pasajes de sujeción de acoplamiento del buje 164. La brida 162 y los pasajes 164 facilitan el acoplamiento del eje del rotor 134 al buje 110 (que se muestran en las Figuras 1 y 2).

35 El eje del rotor 134 define una región de rodamiento de soporte delantero 166 que facilita el acoplamiento del rodamiento de soporte delantero 152 (que se muestra en la Figura 2) al mismo. El eje del rotor 134 también define una región de rodamiento de soporte trasero 168 que facilita el acoplamiento del rodamiento de soporte trasero 154 (que se muestra en la Figura 2) al mismo. Además, el eje del rotor 134 define una región de acoplamiento de la multiplicadora 172 que facilita el acoplamiento del eje del rotor 134 a la multiplicadora 136 (que se muestran en la Figura 2). Además, el eje del rotor 134 define una región de altas tensiones/estrés 174 en el eje del rotor 134 en la brida de acoplamiento del buje 162. En la forma de

realización de ejemplo, el eje del rotor 134 es fabricado con parámetros de resistencia a la tracción y de límite elástico relativamente altos, de modo que el eje del rotor 134 facilita la recepción de valores relativamente grandes de tensiones de carga de tracción del buje 110 en la región de altas tensiones 174. En la forma de realización de ejemplo, las tensiones de tracción previstas inducidas en la región de altas tensiones 174 durante la operación oscilan entre aproximadamente 50 MPa (7.250 psi) y aproximadamente 500 MPa (72.500 psi).

En general, se puede producir una carga asimétrica a través del eje del rotor 134 a causa de unas condiciones que incluyen, pero no se limitan a, cizalladuras verticales y horizontales del viento y turbulencias localizadas que actúan sobre las palas de rotor de la turbina eólica 112, induciendo de este modo una deflexión en las palas 112. Dichas cargas asimétricas que actúan sobre las palas de rotor de la turbina eólica 112 también se convierten en momentos que actúan sobre el buje 110 y posteriormente sobre el eje del rotor 134. Estos momentos se manifiestan en forma de tensiones y/o deflexiones en la región de altas tensiones 174 en la brida de acoplamiento del buje 162. La medición de las deflexiones del eje, por ejemplo, desplazamiento axial, se puede utilizar para determinar una magnitud de carga asimétrica y deflexión de las palas 112.

En la forma de realización de ejemplo, una pluralidad de sensores 176 que incluyen, pero no se limitan a, sensores de proximidad miden las deflexiones de la brida de acoplamiento del buje 162 en la región de altas tensiones 174. Se puede utilizar cualquier número de sensores 176 en cualquier disposición, orientación y configuración que permita la operación de la turbina eólica 100 según se describe en el presente documento. Los sensores 176 están acoplados operativamente al armario del sistema de control 150 de modo que, por ejemplo, el armario 150 transmite señales de comando de paso de pala a cada motor de control de ángulo de paso 131 (que se muestran en la Figura 2) para modular un ángulo de paso de cada pala 112 en torno al respectivo eje de paso 128 (que se muestra en la Figura 1) para reducir la carga asimétrica del rotor y equilibrar las cargas a través del rotor de la turbina eólica 108, incluidos el buje 110 y la brida de acoplamiento del buje 162.

La Figura 4 es una vista esquemática de un parque eólico de ejemplo 200 que incluye al menos una turbina eólica 100. En la forma de realización de ejemplo, el parque de turbinas eólicas 200 incluye una pluralidad de turbinas eólicas 100, el número total de turbinas eólicas 100 designado por la letra N, y N es cualquier número entero. Más en concreto, el parque de turbinas eólicas 200 incluye una primera turbina eólica 100-A, una segunda turbina eólica 100-B, y una serie subsiguiente de turbinas eólicas 100 hasta una N-ésima turbina eólica 100-N. Cada una de las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N son sustancialmente similares, sin embargo, se puede utilizar cualquier turbina eólica que tenga cualquier configuración. El parque de turbinas eólicas 200 también incluye un sistema de control del parque eólico 202 que está acoplado operativamente a cada una de las turbinas eólicas 100-A, 100-B, hasta la 100-N a través de canales de comunicación asociados 204-A, 204-B y 204-N, respectivamente. Los canales del 204-A hasta el 204-N incluyen unos conductos de comunicaciones que incluyen, pero no se limitan a, cables CAT-5, CAT-5e y CAT-6 y dispositivos de comunicaciones inalámbricas. Los canales del 204-A hasta el 204-N también incluyen cualesquiera protocolos de comunicaciones que permitan la operación de cada turbina eólica 100 y del parque de turbinas eólicas 200 según se describe en el presente documento, que incluyen, pero no se limitan a, protocolos de Internet. Además, en la forma de realización de ejemplo, los canales de comunicación del 204-A hasta el 204-N tienen unas configuraciones sustancialmente similares, sin embargo, se puede utilizar cualquier configuración de canales de comunicación del 204-A hasta el 204-N que permita la operación de cada una de las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N y del parque de turbinas eólicas 200 según se describe en el presente documento.

En la forma de realización de ejemplo, el parque de turbinas eólicas 200 incluye un controlador de parque 206 y cada una de las turbinas eólicas 100-A, 100-B y 100-N incluye un controlador de turbina 208-A, 208-B y 208-N, respectivamente. Cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N están configurados dentro de armarios asociados del sistema de control 150 (que se muestran en la Figura 2). Alternativamente, cualquier parte de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N están configuradas dentro de cualquier receptáculo y/o armario que permita la operación de cada una de las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N y del parque de turbinas eólicas 200 según se describe en el presente documento. La comunicación entre el controlador del parque 206 y los controladores de turbina 208-A, 208-B y hasta el 208-N es facilitada por los canales de comunicación 204-A, 204-B y hasta el 204-N, respectivamente. Además, en la forma de realización de ejemplo, los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N son sustancialmente similares, sin embargo, cualquiera de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N tiene cualquier configuración que permita la operación de cada una de las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N y del parque de turbinas eólicas 200 según se describe en el presente documento.

La Figura 5 es una vista esquemática de una primera parte 302 de un ejemplo de sistema de control de reducción de carga aerodinámica 300 adecuado para su uso con el parque de turbinas eólicas 200 (que se muestra en la Figura 4). En la forma de realización de ejemplo, el sistema de control de reducción de carga aerodinámica 300 es un sistema de control distribuido que está implementado dentro de una pluralidad de

controladores, tal como en cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N (que se muestran en la Figura 4). Además, en la forma de realización de ejemplo, la primera parte 302 está implementada dentro del controlador de turbina 208-A. Además, en la forma de realización de ejemplo, unas partes adicionales del sistema 300 que son sustancialmente similares a la primera parte 302 están implementadas dentro de cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N. Alternativamente, cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N tiene cualquier configuración de sistema de control de reducción de carga aerodinámica 300 implementada en el mismo que permite la operación de cada turbina eólica 100 y del parque de turbinas eólicas 200 según se describe en el presente documento. Además, en algunas formas de realización, al menos una parte de la primera parte 302 y partes adicionales (que no se muestran) del sistema de control de reducción de carga aerodinámica 300 pueden estar implementadas dentro de cualquier procesador que permita la operación de cada turbina eólica 100 y del parque de turbinas eólicas 200 según se describe en el presente documento, que incluye, pero no se limita a, aquellos procesadores residentes dentro de dispositivos informáticos personales, servidores remotos, PLC y armarios de sistemas de control distribuido, y dispositivos portátiles con acceso a Internet.

En la forma de realización de ejemplo, la primera parte 302 incluye un módulo de interfaz de comandos de parque eólico 304 acoplado operativamente a todos los controladores de turbina eólica del 208-A hasta el 208-N a través de canales de comunicación del 204-A hasta el 204-N, respectivamente. El módulo de interfaz de comandos de parque eólico 304 está implementado dentro del controlador del parque eólico 206. La primera parte 302 también incluye un módulo de interfaz de comandos de turbina 305 implementado dentro de la primera parte 302 y acoplado operativamente a cada uno de los otros controladores de turbina del 208-B hasta el 208-N a través del módulo de interfaz de comandos de parque eólico 304 y del canal de comunicaciones 204-A. En la forma de realización de ejemplo, ambos módulos de interfaz de comandos 304 y 305 están programados para facilitar comunicaciones entre cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N y comunicaciones entre cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N con el controlador del parque eólico 206.

La primera parte 302 también incluye un módulo de selección del modo de operación 306 acoplado operativamente al módulo de interfaz de comandos de parque eólico 304. El módulo 306 facilita la selección de un modo de control de turbina independiente y un modo de operación de control de parque eólico para el controlador de turbina 208-A y la primera parte 302. Más en concreto, el módulo 306 opera como un conmutador de selección de modo discreto que recibe una entrada de selección de un operador procedente de un conmutador de placa de control físico (que no se muestra) o de un conmutador virtual emulado en un panel/pantalla de interfaz de operador (que no se muestra). Además, el módulo 306 está configurado para pasar automáticamente del modo de control de turbina independiente al modo de control de parque eólico para reaccionar de forma proactiva a condiciones que incluyen, pero no se limitan a, condiciones y/o desviaciones de viento excesivo.

En la forma de realización de ejemplo, el modo de control de turbina independiente es el modo de operación por defecto de las turbinas eólicas 100 dentro del parque de turbinas eólicas 200. El modo de control de turbina independiente facilita que cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N controle las turbinas eólicas asociadas 100-A hasta 100-N, respectivamente, sin la influencia del control del parque eólico a través del controlador del parque eólico 206. En cambio, el modo de control de parque eólico se selecciona a través de una acción del operador del parque eólico (que se describe más adelante) y facilita el control de cada una de las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N a través del controlador del parque eólico 206, de modo que unas partes predeterminadas de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N son controladas por el controlador del parque eólico 206.

Además, en la forma de realización de ejemplo, cuando se selecciona el modo de control de turbina independiente, se cierra un interruptor de modo turbina 308 y se abre un interruptor de modo parque eólico 310, aislando de este modo el controlador de turbina 208-A con respecto del controlador del parque eólico 206. Por el contrario, cuando se selecciona el modo de control de parque eólico, se abre el interruptor de modo turbina 308 y se cierra el interruptor de modo parque eólico 310, facilitando de este modo la comunicación entre el controlador de turbina 208-A y el controlador del parque eólico 206. En la forma de realización de ejemplo, los interruptores 308 y 310 son dispositivos "software" programados dentro del sistema de control 300. Alternativamente, los interruptores 308 y 310 son dispositivos "hardware-cableados" situados físicamente dentro del sistema de control 300.

Además, en la forma de realización de ejemplo, la primera parte 302 incluye un módulo de entradas de control de turbina 312 acoplado operativamente a una pluralidad de dispositivos de entrada, por ejemplo, pero sin limitarse a, un mástil meteorológico 148 (que se muestra en la Figura 2) de tal manera que una pluralidad de entradas discretas y analógicas 314 son recibidas por el módulo 312. Estas entradas 314 incluyen unas condiciones de operación inherentes a la operación de una turbina eólica y/o a unos factores ambientales que afectan a la operación de las turbinas eólicas que incluyen, pero no se limitan a, una posición de paso de pala procedente del motor de control de ángulo de paso 131 (que se muestra en la Figura 2), una posición de orientación del rotor procedente del mecanismo de rotación de la góndola u

orientación del rotor 146 (que se muestra en la Figura 2), un par del eje del rotor, una velocidad del buje, una velocidad y/o dirección del viento y temperaturas del aire localizadas. Además, el módulo de entradas de control de turbina 312 recibe señales procedentes de los sensores 176 (que se muestran en la Figura 3) que incluyen, pero no se limitan a, sensores de proximidad que miden deflexiones de la brida de acoplamiento del buje 162 en la región de altas tensiones 174 (que se muestra en la Figura 3).

Además, en la forma de realización de ejemplo, la primera parte 302 incluye un módulo de determinación de deflexión 318 acoplado operativamente al módulo de entradas de control de turbina 312. La primera parte 302 también incluye un módulo de datos de pala 320 acoplado operativamente al módulo de determinación de deflexión 318. El módulo de datos de pala 320 incluye registros de datos de pala tales como, pero sin limitarse a, datos de rendimiento de diseño y datos de rendimiento empírico en función de condiciones de operación predeterminadas. El módulo de determinación de deflexión 318 está programado para recibir datos procedentes del módulo de datos de pala 320 y entradas o inputs 314 procedentes del módulo de entradas/inputs de control de turbina 312 y determinar una respuesta inferida y predictiva con respecto a la deflexión de las palas 112 (que se muestran en la Figura 1) a través de una pluralidad de procedimientos.

Un primer procedimiento para determinar una respuesta inferida y predictiva con respecto a una deflexión dinámica de palas 112 incluye determinar unos límites de referencia de deflexión de pala en función de los registros de datos de palas recibidos procedentes del módulo de datos de pala 320. En una forma de realización, pero sin limitación, el primer procedimiento incluye determinar unos límites de deflexión de pala en función de unos valores medidos de salida de energía eléctrica de la turbina eólica en comparación con datos registrados históricamente.

Un segundo procedimiento para determinar una respuesta inferida y predictiva con respecto a una deflexión dinámica de palas 112 incluye determinar dinámicamente unos valores de deflexión de pala existentes en base a unas respuestas estructurales predeterminadas de pala 112 a condiciones de carga existentes que se calculan a través de entradas 314 transmitidas por el módulo de entradas de control de turbina 312 y al menos un algoritmo programado dentro del módulo de determinación de deflexión 318. Dichos valores de deflexión de pala se comparan con unos límites de deflexión de pala conocidos y se determina un intervalo para los límites de deflexión de pala.

Además, el módulo de determinación de deflexión 318 está programado con al menos un algoritmo para determinar un valor de par inferido y predictivo operativamente presente en el tren de transmisión 156 (que se muestra en la Figura 2) en base a unas relaciones conocidas entre al menos una de las entradas 314 y dichos valores de par. Dichos valores de par en el tren de transmisión 156 y la deflexión de cada pala 112 se transmiten como señales de deflexión 321 al controlador del parque eólico 206 a través del módulo de interfaz de comandos de turbina 305 y del módulo de interfaz de comandos de parque eólico 304.

En la forma de realización de ejemplo, la primera parte 302 incluye un módulo de función de limitación de deflexión 322 acoplado operativamente al módulo de determinación de deflexión 318. El módulo de función de limitación de deflexión 322 está programado con al menos un algoritmo de limitación de deflexión superior que se utiliza para generar señales de limitación de deflexión superior 324 en función de al menos uno de entre unos límites superiores de deflexión de pala e intervalos predeterminados para límites superiores de deflexión de pala. Posteriormente, en caso de que se aproxime, alcance o supere un límite de deflexión superior de pala, se generan unas señales de limitación de deflexión superior 324 que se transmiten a al menos uno de entre una pluralidad de dispositivos de regulación de turbina eólica 326. Los dispositivos de regulación de turbina eólica 326 son dispositivos de bucle cerrado con al menos un mecanismo de retroalimentación definido en los mismos, transmitiendo de este modo una señal de retroalimentación 340 al módulo de entradas de control de turbina 312.

Los dispositivos de regulación de turbina eólica 326 incluyen un regulador de paso 328 que está acoplado operativamente al módulo de función de limitación de deflexión 322 y al mecanismo de ángulo de paso 130 (que se muestra en la Figura 2). El regulador de paso 328 incluye suficiente programación para facilitar una modulación de un paso de pala 112 en función de las señales de limitación de deflexión 324 transmitidas por el módulo de función de limitación de deflexión 322. El regulador de paso 328 recibe las señales de limitación de deflexión 324 y hace mover el mecanismo de ángulo de paso 130 (que se muestra en la Figura 2) hacia una posición angular en torno al eje de paso 128 (que se muestra en la Figura 2) para facilitar una reducción de un valor de deflexión inducida de las palas 112. Ajustar el ángulo de paso de las palas 112 facilita modificar unas características de flujo de aire alrededor de cada una de las palas 112 y reducir la deflexión de las palas 112 aumentando una rigidez fuera de plano con respecto al viento 114 (que se muestra en la Figura 1), es decir, las palas 112 son movidas por el mecanismo de ángulo de paso 130 hacia un valor de paso de las palas que reduce las fuerzas inducidas en las palas 112 por el viento 114, logrando de este modo una reducción de la carga aerodinámica.

En la forma de realización de ejemplo, el paso de pala se ajusta en incrementos de paso predeterminados, limitados y discretos. Dichos incrementos discretos de paso se basan en al menos un valor predeterminado

y los ajustes incrementales se ejecutan en función de variables que incluyen, pero no se limitan a, una magnitud de deflexión y un intervalo de la deflexión para los parámetros predeterminados. Además, dichos ajustes periódicos del paso de las palas se determinan en función de una velocidad de rotación de las palas, es decir, los ajustes del paso de las palas se realizan y mantienen en un estado estático durante un período de una revolución completa de la pala afectada 112, seguidos de una determinación de nuevos ajustes del paso de pala. Alternativamente, el paso de las palas se ajusta de cualquier manera que permita la operación de la turbina eólica 100 y del parque de turbinas eólicas 200 según se describe en el presente documento.

Los dispositivos de regulación de turbina eólica 326 también incluyen un regulador de aleta o flap 330 que está acoplado operativamente al módulo de función de limitación de deflexión 322 y a la aleta articulada y deflectora 129 (que se muestra en la Figura 2) a través de un mecanismo de control de aleta (que no se muestra). El regulador de aleta 330 incluye suficiente programación para facilitar una modulación de la aleta de pala 129 en función de las señales de limitación de deflexión 324 transmitidas por el módulo de función de limitación de deflexión 322. El regulador de aleta 330 recibe las señales de limitación de deflexión 324 y mueve o extiende la aleta de pala 129 hacia una posición predeterminada con respecto al área de superficie de la pala 126 (que se muestra en la Figura 2) en función de la deflexión determinada de la pala. La extensión de la aleta de pala 129 facilita la modificación de las características de flujo de aire en torno a la pala 112, reduciendo de este modo la deflexión de las palas 112 disminuyendo las cargas de empuje inducidas en las palas 112 por el viento 114, logrando de este modo una reducción de la carga aerodinámica.

En la forma de realización de ejemplo, las aletas de pala 129 se ajustan en incrementos predeterminados, limitados y discretos. Dichos incrementos discretos se basan en al menos un valor predeterminado y los ajustes incrementales se ejecutan en función de unas variables que incluyen, pero no se limitan a, una magnitud de deflexión y un intervalo de deflexión para los parámetros predeterminados. Además, dichos ajustes periódicos de aleta de pala 129 se determinan en función de una velocidad de rotación de las palas, es decir, los ajustes de aleta de pala 129 se realizan y se mantienen estáticos durante un período de una revolución completa de la pala 112 afectada, seguidos de una determinación de nuevos ajustes de la aleta de pala 129. Este uso de aletas de pala 129 para reducir la deflexión de la pala se conoce como pérdida de empuje del rotor, es decir, una reducción de potencial de deflexión de pala reduciendo un potencial de deflexión dinámica del rotor. Alternativamente, las aletas de pala 129 se ajustan de cualquier manera que permita la operación de la turbina eólica 100 y del parque de turbinas eólicas 200 según se describe en el presente documento.

Los dispositivos de regulación de turbina eólica 326 incluyen además un regulador de par 332 que está acoplado operativamente al módulo de función de limitación de deflexión 322 y un generador eléctrico 132 que induce un par en el tren de transmisión 156. El regulador de par 330 incluye suficiente programación para facilitar una modulación del par en el tren de transmisión 156 a través del control de la generación de energía eléctrica en el generador eléctrico 132 en función de las señales de limitación de deflexión 324 transmitidas por el módulo de función de limitación de deflexión 322. El regulador de par 332 recibe las señales de limitación de deflexión 324 y varía el par inducido en el tren de transmisión 156, que a su vez varía la velocidad del rotor y la carga de empuje inducida por el rotor 134.

Los dispositivos de regulación de turbina eólica 326 también incluyen un regulador de control de flujo avanzado 334 que está acoplado operativamente al módulo de función de limitación de deflexión 322. En la forma de realización de ejemplo, cada pala de turbina 112 incluye dispositivos de control de flujo avanzado (que no se muestran) que incluyen, pero no se limitan a, perforaciones, patrones de hendiduras, portales u otras características de flujo de aire en o cerca de la superficie 126 (que se muestra en la Figura 1) de la pala 112 que pueden generar presiones positivas o negativas para facilitar el mantenimiento del flujo acoplado o generar un flujo separado a lo largo de la superficie en sentido de cuerda de la pala 112. Las características del flujo a lo largo de la superficie de la pala afectan directamente a la cantidad de carga de empuje generada por el rotor 134 y a la correspondiente deflexión de las palas 112. En la forma de realización de ejemplo, el regulador de control de flujo avanzado 334 podría funcionar en paralelo con otros dispositivos de regulación, tales como, pero sin limitarse a, un regulador de paso 328, un regulador de aleta 330 y un regulador de par 332 para afectar a la deflexión de la pala. Por lo tanto, el regulador de control de flujo avanzado 334 transmite señales de corte (trimming) para facilitar una optimización de las condiciones de flujo en torno a las superficies de pala 126.

Los dispositivos de regulación de turbina eólica 326 también incluyen un regulador de orientación del rotor o de rotación de la góndola 336 que está acoplado operativamente al módulo de función de limitación de deflexión 322 y al mecanismo de orientación del rotor 146 (que se muestra en la Figura 2). El regulador de orientación del rotor 336 incluye suficiente programación para facilitar una modulación del mecanismo de orientación del rotor 146 en función de las señales de limitación de deflexión 324 transmitidas por el módulo de función de limitación de deflexión 322. El regulador de orientación del rotor 336 recibe las señales de limitación de deflexión 324 y hace mover el mecanismo de orientación del rotor 146 hacia una posición angular en torno al eje de orientación del rotor 116 (que se muestra en la Figura 1) para facilitar la reducción de la carga aerodinámica en las palas 112. Modificando una posición de orientación del rotor de la turbina

eólica 100 con respecto al viento 114 facilita la reducción de la deflexión de las palas 112 disminuyendo el ángulo incidente de las palas 112 con respecto al viento 114, es decir, la turbina eólica 100 es controlada por el mecanismo de control de orientación del rotor 146 hacia un valor de orientación del rotor que reduce las fuerzas inducidas en las palas 112 por el viento 114, logrando de este modo una reducción de la carga aerodinámica.

En la forma de realización de ejemplo, el mecanismo de orientación del rotor 146 se ajusta en incrementos predeterminados, limitados y discretos. Dichos incrementos discretos se basan en al menos un valor predeterminado y los ajustes incrementales se ejecutan en función de unas variables que incluyen, pero no se limitan a, una magnitud de deflexión e intervalo de deflexión para los parámetros predeterminados. Además, dichos ajustes del mecanismo de control de orientación del rotor 146 se determinan en función de una velocidad de rotación de las palas, es decir, los ajustes del mecanismo de control de orientación del rotor 146 se realizan y se mantienen estáticos durante un período de una revolución completa de la pala afectada 112, seguidos de una determinación de nuevos ajustes del mecanismo de control de orientación del rotor 146. Alternativamente, el mecanismo de orientación del rotor 146 se ajusta de cualquier manera que permita la operación de la turbina eólica 100 y del parque de turbinas eólicas 200 según se describe en el presente documento.

Los dispositivos de regulación de turbina eólica 326 incluyen además un regulador de freno mecánico 338 que está acoplado operativamente a un dispositivo de frenado (que no se muestra) para el tren de transmisión 156. El regulador de freno mecánico 338 incluye suficiente programación para facilitar la modulación del dispositivo de frenado en función de las señales de limitación de deflexión 324 transmitidas por el módulo de función de limitación de deflexión 322. En concreto, la reducción del par del rotor y la reducción de la deflexión de las palas se consiguen reduciendo la velocidad de rotación operacional del tren de transmisión 156.

En operación, una pluralidad de turbinas eólicas 100-A hasta 100-N que están incluidas en un parque de turbinas eólicas 200 genera energía eléctrica. En el caso de la turbina eólica 100-A, cuando el controlador de turbina 208-A, es decir, la primera parte 302 del sistema de control de reducción de carga aerodinámica 300 se selecciona para que opere en modo de control de turbina independiente (el modo por defecto) a través del módulo de selección del modo de operación 306, se cierra el interruptor del modo turbina 308 y se abre el interruptor del modo parque eólico 310. El módulo de entradas de control de turbina 312 recibe una pluralidad de señales de entrada discretas y analógicas 314 procedentes de la pluralidad de sensores y dispositivos situados en la turbina eólica 100-A. Dichas entradas 314 incluyen unas señales de deflexión del rotor procedentes de los sensores 176 que son representativas de valores de deflexión de pala 112. El módulo de determinación de deflexión 318 también recibe registros de datos de palas, tales como, pero sin limitarse a, datos de rendimiento de diseño y datos empíricos de rendimiento en función de condiciones de operación predeterminadas procedentes del módulo de datos de pala 320. El módulo de determinación de deflexión 318 determina una respuesta inferida y predictiva con respecto a la deflexión de las palas 112 a través de una determinación de unos límites de referencia de deflexión de pala en función de los registros de datos de pala recibidos procedentes del módulo de datos de pala 320. Alternativamente, el módulo de determinación de deflexión 318 determina una respuesta inferida y predictiva con respecto a la deflexión de las palas 112 determinando dinámicamente unos valores de deflexión de pala existentes en base a respuestas estructurales predeterminadas de pala 112 a unas condiciones de carga existentes que se calculan a través de las entradas 314 y al menos un algoritmo programado dentro del módulo de determinación de deflexión 318. Dichos valores de deflexión de pala se comparan con los límites de deflexión conocidos de las palas y se determina un intervalo para los límites de deflexión de pala.

Las señales de entrada 314 también se transmiten al módulo de función de limitación de deflexión 322 a través del interruptor 308 y módulo de selección del modo de operación 306. El módulo de función de limitación de deflexión 322 determina dinámicamente un valor superior para la deflexión de pala en función de unas condiciones de operación existentes de la turbina eólica 100-A. El módulo de determinación de deflexión 318 genera y transmite señales de deflexión 321 al módulo de función de limitación de deflexión 322. En el caso de que las señales 321 sean inferiores al límite de deflexión superior determinado dentro del módulo de función de limitación de deflexión 322, el módulo 322 no genera ninguna señal. En el caso de que las señales 321 sean iguales o superen el límite de deflexión superior, el módulo 322 genera y transmite señales de limitación de deflexión superior 324 a los reguladores del 328 hasta el 338. En la forma de realización de ejemplo, los reguladores del 328 hasta el 338 están programados para responder de manera jerárquica con una prioridad predeterminada para reducir la deflexión de las palas 112. Cada uno de los reguladores del 328 hasta el 338 genera y transmite una señal de retroalimentación en bucle cerrado 340 al módulo de entradas 312 para facilitar nuevas determinaciones dinámicas de señales 321 y 324, facilitando de este modo una reducción de un exceso de potencia por parte de los reguladores 328 y 338 y una reducción del tiempo de ajuste de los mismos. La señal de deflexión 321 se transmite también al controlador del parque eólico 206 a través del módulo de interfaz de comandos de turbina 305 y del módulo de interfaz de comandos de parque eólico 304, facilitando de este modo la operación de las turbinas eólicas de la 100-B hasta la 100-N que están operando en modo de control de parque eólico, según se comenta más adelante.

En operación, cuando la primera parte 302 del sistema de control de reducción de carga aerodinámica 300 se selecciona para operar en modo de control de parque eólico a través del control de operador del módulo de selección del modo de operación 306, se abre el interruptor de modo turbina 308 y se cierra el interruptor de modo parque eólico 310. El módulo de entradas de control de turbina 312, el módulo de determinación de deflexión 318 y el módulo de datos de pala 320 funcionan según se ha descrito anteriormente para generar y transmitir la señal 321. Sin embargo, en lugar de que el módulo de función de limitación de deflexión 322 genere un valor de deflexión superior a través del módulo de entradas 312, se transmite el límite de deflexión superior al módulo 322 a través del módulo de interfaz de comandos de parque eólico 304 del procesador de parque eólico 206, módulo de interfaz de comandos de turbina 305, interruptor 310 y módulo de selección 306. Dichos límites de deflexión superiores se basan en unas condiciones de operación dinámicas de las turbinas eólicas de la 100-B hasta la 100-N, con independencia de los modos de operación seleccionados para las turbinas eólicas de la 100-B hasta la 100-N.

Por lo tanto, por ejemplo, si el parque de turbinas eólicas 200 está generando suficiente energía eléctrica, el controlador del parque eólico 206 puede limitar la deflexión de las palas 112 de la turbina eólica 100-A a valores menores de deflexión que de otro modo se utilizarían si la demanda de energía eléctrica del parque de turbinas eólicas 200 fuera mayor y/o el controlador de la turbina eólica 208-A estuviera operando en modo de control de turbina independiente. La operación de los reguladores del 328 hasta el 338 y las señales de retroalimentación 340 es sustancialmente similar a la que se ha descrito anteriormente. Además, en general, mientras se opera en el modo de control de parque eólico, el cambio de los valores de deflexión de pala superiores de una primera turbina eólica se facilita cambiando al menos una segunda condición de operación de una segunda turbina eólica, y el cambio de un valor de deflexión de pala de la segunda turbina eólica se facilita cambiando al menos una segunda condición de operación de la primera turbina eólica.

La Figura 6 es una vista esquemática de un ejemplo alternativo de sistema de control de reducción de carga aerodinámica 350 adecuado para su uso en el parque de turbinas eólicas 200 (que se muestra en la Figura 4). En este ejemplo de forma de realización alternativa, el sistema de control de reducción de carga aerodinámica 350 es un sistema de control distribuido que se implementa dentro de una pluralidad de controladores, es decir, el sistema de control de reducción de carga aerodinámica 350 se implementa dentro de cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N (que se muestran en la Figura 4) y del controlador del parque eólico 206. En este ejemplo de forma de realización alternativa, el sistema de control de reducción de carga aerodinámica 350 incluye una primera parte 352 implementada en cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N y una segunda parte 354 implementada en el controlador del parque eólico 206. Además, en este ejemplo de forma de realización alternativa, se implementan unas partes adicionales del sistema 350 que son sustancialmente similares a la primera parte 352 dentro de cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N, de modo que cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N incluye unas versiones sustancialmente idénticas de la primera parte 352 implementada en los mismos. Alternativamente, cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N tiene cualquier configuración del sistema de control de reducción de carga aerodinámica 350 implementado en el mismo que permite la operación de cada turbina eólica 100 (que se muestra en las Figuras 1, 2 y 4) y del parque de turbinas eólicas 200 según se describe en el presente documento. Además, en algunas formas de realización, al menos una parte de la primera parte 352, la segunda parte 354 y partes adicionales (que no se muestran) del sistema de control de reducción de carga aerodinámica 350 se pueden implementar en cualquier procesador que permita la operación de cada turbina eólica 100 y del parque de turbinas eólicas 200 según se describe en el presente documento, que incluye, pero no se limita a, procesadores residentes en dispositivos informáticos personales, servidores remotos, PLC, y armarios de sistemas de control distribuidos y dispositivos portátiles con acceso a Internet.

En este ejemplo de forma de realización alternativa, la primera parte 352 incluye un módulo de interfaz de comandos de turbina 355 implementado dentro de la primera parte 352 y acoplado operativamente a cada uno de los otros controladores de turbina del 208-B hasta el 208-N a través del módulo de interfaz de comandos de parque eólico 304 y del canal de comunicaciones 204-A. El módulo de interfaz de comandos de turbina 355 es sustancialmente similar al módulo de interfaz de comandos 305 (que se muestra en la Figura 5) y facilita las comunicaciones entre cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N y las comunicaciones entre cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N con el controlador del parque eólico 206.

La primera parte 352 también incluye un módulo de detección del modo de operación 356 acoplado operativamente al módulo 355 y al controlador del parque eólico 206. El módulo 356 facilita la detección del modo de control existente de cada controlador de turbina 208-A, 208-B y 208-N y del controlador del parque eólico 206 para determinar si está seleccionado el modo de control de turbina independiente o el modo de control de parque eólico, ambos según se han descrito anteriormente, para cada turbina 100 y/o parque de turbinas eólicas 200.

A diferencia del módulo de selección del modo de operación 306 (que se muestra en la Figura 5), que opera como un conmutador de selección de modo discreto que recibe una entrada de selección de un operador

procedente de un conmutador de placa de control físico o de un conmutador virtual emulado en un panel/pantalla de interfaz de operador, el módulo de detección del modo de operación 356 sólo detecta que modo de control está activo actualmente. Por lo tanto, el módulo 356 facilita informar a un operador y a partes apropiadas del sistema 350 sobre si el sistema 350 está operando en el modo de control de turbina independiente o en el modo de control de parque eólico.

La primera parte 352 incluye además un módulo de planificación de reducción de carga aerodinámica 358 que está acoplado operativamente al módulo de detección del modo de operación 356 y al controlador del parque eólico 206. El módulo 358 está programado con una pluralidad de valores discretos predeterminados para cada turbina eólica 100 en una matriz, es decir, un programa de reducción de carga aerodinámica 360. Cada una de las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N está incluida en la planificación 360 y están designadas en la misma como T_A , T_B , y hasta T_N .

La planificación 360 también incluye una pluralidad de modos de selección, es decir, cada una de las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N puede ser seleccionada para su inclusión dentro de un esquema de reducción de carga aerodinámica del parque de turbinas eólicas 200 a través de una selección de operador a través del módulo de detección del modo de operación 356 en función del modo de operación, es decir, los modos de control de turbina eólica independiente o de parque eólico. Una selección de "desactivado" u "off" se designa dentro de la planificación 360 como un valor "0" discreto y una selección de "activado" u "on" se designa dentro de la planificación 360 como un valor "1" discreto. Cuando se realiza la selección de "off", esa turbina eólica en particular está operando en el modo de control de turbina independiente y no es incluida en un esquema de reducción aerodinámica para todo el parque. Cuando se realiza la selección de "on", esa turbina eólica en particular está operando en el modo de control de parque eólico y es incluida dentro de un esquema de reducción aerodinámica para todo el parque.

La planificación 360 incluye además una pluralidad de configuraciones individualizadas para cada una de las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N. Estas configuraciones de configuración se designan como X_A , X_B , y hasta X_N en la misma y pueden incluir unos valores de configuración estáticos predeterminados y unos valores de configuración dinámicos. Por ejemplo, pero sin limitación, los valores de configuración X_A para la turbina eólica 100-A pueden incluir una priorización de regulación como la que se ha descrito anteriormente para dispositivos de regulación de turbina eólica 326 (que se muestran en la Figura 5). Además, por ejemplo, la estrategia de regulación para la turbina eólica 100-A puede ser, por orden de prioridad de ejecución, una regulación de control de ángulo de paso con un valor mínimo de ángulo de paso, una regulación de control de par con un valor máximo de par, una regulación de control de flujo avanzado con un valor predeterminado de presión negativa, y la regulación de aleta o flap está desactivada. Dicha estrategia de regulación puede ser dinámica al pasar de un modo de control de turbina eólica a un modo de control de parque eólico y al pasar del modo de control de parque eólico al modo de control de turbina eólica. Además, dichos cambios y control de regulación dinámica asociados pueden incluir unos valores temporales de modo que al menos parte de la regulación cambia de un modo dinámico de regulación a un modo estático de regulación después de un período de tiempo predeterminado. Estas configuraciones individualizadas pueden ser uniformes o únicas para cada turbina eólica 100-A hasta 100-N.

La planificación 360 también incluye una pluralidad de configuraciones de vectores de entrada que pueden ser únicas o idénticas para cada una de las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N. Dichas configuraciones de vectores de entrada se designan como I_A , I_B , y hasta I_N en la misma, e incluyen una selección de variables de entrada que es suministrada a un controlador de turbina eólica asociado 208 por el módulo de interfaz de comandos de parque eólico 364.

La planificación 360 incluye además una pluralidad de señales de salida que son únicas para cada una de las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N. Estas señales de salida se designan en la misma como Y_A , Y_B , hasta Y_N y se denominan en conjunto como señales de reducción de carga aerodinámica 362 y se basan en el modo seleccionado "desactivado" o "activado", la configuración seleccionada de la X_A hasta la X_N , los vectores de entrada seleccionados del I_A hasta el I_N , y las condiciones reales de la turbina eólica 100 y del parque de turbinas eólicas 200 procedentes del módulo de interfaz de comandos de parque eólico 364.

En este ejemplo de forma de realización alternativa, el sistema de control de reducción de carga aerodinámica 350 incluye la segunda parte 354 implementada en el controlador del parque eólico 206. La segunda parte 354 incluye un módulo de interfaz de comandos de parque eólico 364 que es sustancialmente similar al módulo de interfaz de comandos de parque eólico 304 (que se muestra en la Figura 5). El módulo de interfaz de comandos de parque eólico 364 está acoplado operativamente a todos los controladores de turbina eólica del 208-A hasta el 208-N a través de los canales de comunicación del 204-A hasta el 204-N (que se muestran en la Figura 4), respectivamente. El módulo de interfaz de comandos de parque eólico 364 está implementado en el controlador del parque eólico 206. En este ejemplo de forma de realización alternativa, ambos módulos de interfaz de comandos 364 y 355 están programados para facilitar las comunicaciones entre cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N y las comunicaciones entre cada uno de los controladores de turbina del 208-A hasta el 208-N con el controlador del parque eólico 206.

Además, en este ejemplo de forma de realización alternativa, el módulo de interfaz de comandos de parque eólico 364 está acoplado operativamente a una pluralidad de dispositivos de entrada (que no se muestran) de tal manera que una pluralidad de entradas discretas y analógicas 372 son recibidas por el módulo 364. El módulo 364 también puede recibir al menos una parte de las entradas 314. Dichas entradas 314 y 372 están asociadas a las condiciones de operación inherentes a la operación de una turbina eólica y/o a los factores ambientales que afectan a la operación de las turbinas eólicas que incluyen, pero no se limitan a, la posición de paso de las palas, el par del eje del rotor, la velocidad del buje, la velocidad y/o dirección del viento, el tamaño y la dirección de las olas en alta mar, la presión barométrica y la temperatura y humedad del aire ambiente.

Además, en esta forma de realización de ejemplo alternativa, la segunda parte 354 incluye un módulo de interfaz de control de operador de parque eólico 366. El módulo 366 es un dispositivo de entrada para el operador que incluye, pero no se limita a, una interfaz hombre-máquina (HMI: human machine interface) con una interfaz gráfica de usuario (GUI: graphical user interface), un teclado y un ratón. A discreción del operador del parque, se puede asumir el control de las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N a través del módulo 366.

Además, en esta forma de realización de ejemplo alternativa, la segunda parte 354 incluye un módulo de configuración del parque eólico 368 que está acoplado operativamente al módulo de interfaz de control de operador del parque eólico 364 y al módulo de detección del modo de operación 356. El módulo de configuración del parque eólico 368 facilita la selección por parte de un operador del parque eólico de configuraciones de cada turbina eólica 100 en el parque de turbinas eólicas 200 a través del módulo de interfaz de control de operador del parque eólico 366.

En operación, el módulo de detección del modo de operación 356 detecta si el sistema de control de reducción de carga aerodinámica 350 es seleccionado para operar en modo de control de turbina independiente o en modo de control de parque eólico. Cuando se selecciona el modo de control de turbina independiente, las entradas 314 y 372 se transmiten al módulo de planificación de reducción de carga aerodinámica 358 a través del módulo de interfaz de comandos de parque eólico 364, el módulo de configuración del parque eólico 368 y el módulo de detección del modo de operación 356. Si esa turbina eólica en particular está operando en el modo de control de parque eólico, es incluida dentro de un esquema de reducción aerodinámica para todo el parque. Posteriormente, partes predeterminadas de las entradas 314 y 372 se comparan con los valores programados en la planificación de reducción de la matriz de carga aerodinámica 360 y se transmite al módulo de interfaz de comandos de turbina 355 una pluralidad de señales de reducción de carga aerodinámica 362 que incluyen las señales de salida Y_A , Y_B , hasta Y_N que son únicas para cada una de las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N. Las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N en el parque de turbinas eólicas 200 que operan en el modo de control de parque eólico reciben la señal de salida asociada y las turbinas eólicas 100-A hasta 100-N que operan en el modo de control de turbina independiente no reciben la señal transmitida desde la primera parte 352 y siguen operando en función de las condiciones de operación específicas de la turbina eólica.

Una distinción entre los sistemas de control de reducción de carga aerodinámica 300 y 350 es que el sistema de control 300 está configurado para determinar dinámicamente una deflexión esperada de pala en función de unas mediciones de operación dinámicas y unas relaciones físicas conocidas, y mitiga dichas deflexiones de pala determinadas a través de una diversidad de reguladores. El sistema de control 300 está configurado para proporcionar un rendimiento óptimo a nivel de turbina, es decir, en el modo de control de turbina independiente. Por el contrario, el sistema de control 350 aplica una planificación predeterminada y estática de condiciones de operación con unas entradas procedentes de sensores que pueden ser locales a la turbina o en otro lugar. Además, a diferencia del sistema de control 300, el sistema de control 350 altera la operación de la turbina y reduce las deflexiones de las palas sin hacer necesariamente determinaciones directas de deflexiones en las palas. Además, a diferencia del sistema de control 300, el sistema de control 350 está configurado para proporcionar un rendimiento óptimo a nivel de parque eólico, es decir, en el control del parque eólico.

La Figura 7 es un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo 400 de operación de la turbina eólica 100 (que se muestra en la Figura 1) y del parque de turbinas eólicas 200 (que se muestra en la Figura 4). En la forma de realización de ejemplo, se mide 402 una primera condición de operación de la turbina eólica 100 y se genera una primera señal de condición de operación 404 a partir de la misma. La primera condición de operación es representativa de un valor de deflexión de pala 112. Además, en la forma de realización de ejemplo se mide al menos una segunda condición de operación de turbina eólica 406 y a partir de la misma se genera al menos una segunda señal de condición de operación 408. Además, en la forma de realización de ejemplo, se modifica el valor de deflexión de pala cambiando 410 la segunda condición de operación.

Varias de las formas de realización que se describen en el presente documento proporcionan un sistema de control para una turbina eólica y un parque eólico. En una forma de realización, se implementa e integra

un sistema de control de reducción de carga aerodinámica dentro del hardware y software existentes en la turbina y el parque eólico para medir y controlar deflexiones de pala de la turbina. Hay dos enfoques para controlar dichas deflexiones de pala de turbina eólica. Un primer enfoque consiste en utilizar el sistema de control para determinar dinámicamente valores de deflexión de pala de la turbina eólica, comparar dichos valores existentes con parámetros de deflexión de pala predeterminados y modificar las condiciones de operación de la turbina eólica afectada a través de al menos un dispositivo de regulación para reducir dichas deflexiones hasta que se encuentren dentro de dichos parámetros predeterminados o impedir que se superen dichos parámetros según se han medido por medio de una retroalimentación en bucle cerrado. Un segundo enfoque consiste en utilizar respuestas predeterminadas y priorizadas, programadas en el sistema de control, para responder de manera reactiva a las condiciones de la turbina eólica y/o del parque eólico, con el fin de alterar y/o acomodar dichas condiciones sin una retroalimentación en bucle cerrado. Las deflexiones de pala de cada turbina eólica se controlan individualmente a través de controladores de turbina eólica dedicados a dicha turbina eólica individual o se controla conjuntamente o individualmente una pluralidad de turbinas eólicas en el parque eólico mediante un controlador del parque eólico. Además, se utiliza el hardware existente, tal como sensores y procesadores, por lo que la implementación del sistema de control de reducción de carga aerodinámica, según se describe en el presente documento, disminuye los costes de capital de construcción y los costes de operación asociados con el mantenimiento preventivo y correctivo rutinario.

Anteriormente se han descrito en detalle unas formas de realización de ejemplo de una turbina eólica, un parque eólico, un sistema de control de reducción de carga aerodinámica y un procedimiento de operación de una turbina eólica y de un parque eólico. La turbina eólica, el parque eólico, el sistema de control de reducción de carga aerodinámica y el procedimiento no se limitan a las formas de realización específicas que se describen en el presente documento, sino que los componentes de turbina eólica y/o del parque eólico y/o del sistema de control de reducción de carga aerodinámica y/o las etapas del procedimiento se pueden utilizar independientemente y por separado con respecto a otros componentes y/o etapas que se describen en el presente documento. Por ejemplo, el sistema y el procedimiento de control de reducción de carga aerodinámica también se pueden utilizar en combinación con otros sistemas y procedimientos de energía, y no se limitan a la práctica sólo con la turbina eólica y el parque eólico según se describe en el presente documento. Más bien, la forma de realización de ejemplo puede ser implementada y utilizada en conexión con muchas otras aplicaciones de turbinas eólicas o sistemas de energía.

Aunque se pueden mostrar características específicas de diversas formas de realización de la invención en algunos dibujos y no en otros, esto es sólo por conveniencia. De acuerdo con los principios de la invención, cualquier característica de un dibujo puede ser referenciada y/o reivindicada en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, que incluyen la modalidad preferida, y también para permitir a cualquier persona experta en la materia llevar la invención a la práctica, incluyendo la fabricación y el uso de cualesquiera dispositivos o sistemas y la realización de cualesquiera procedimientos incorporados. El alcance patentable de la invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

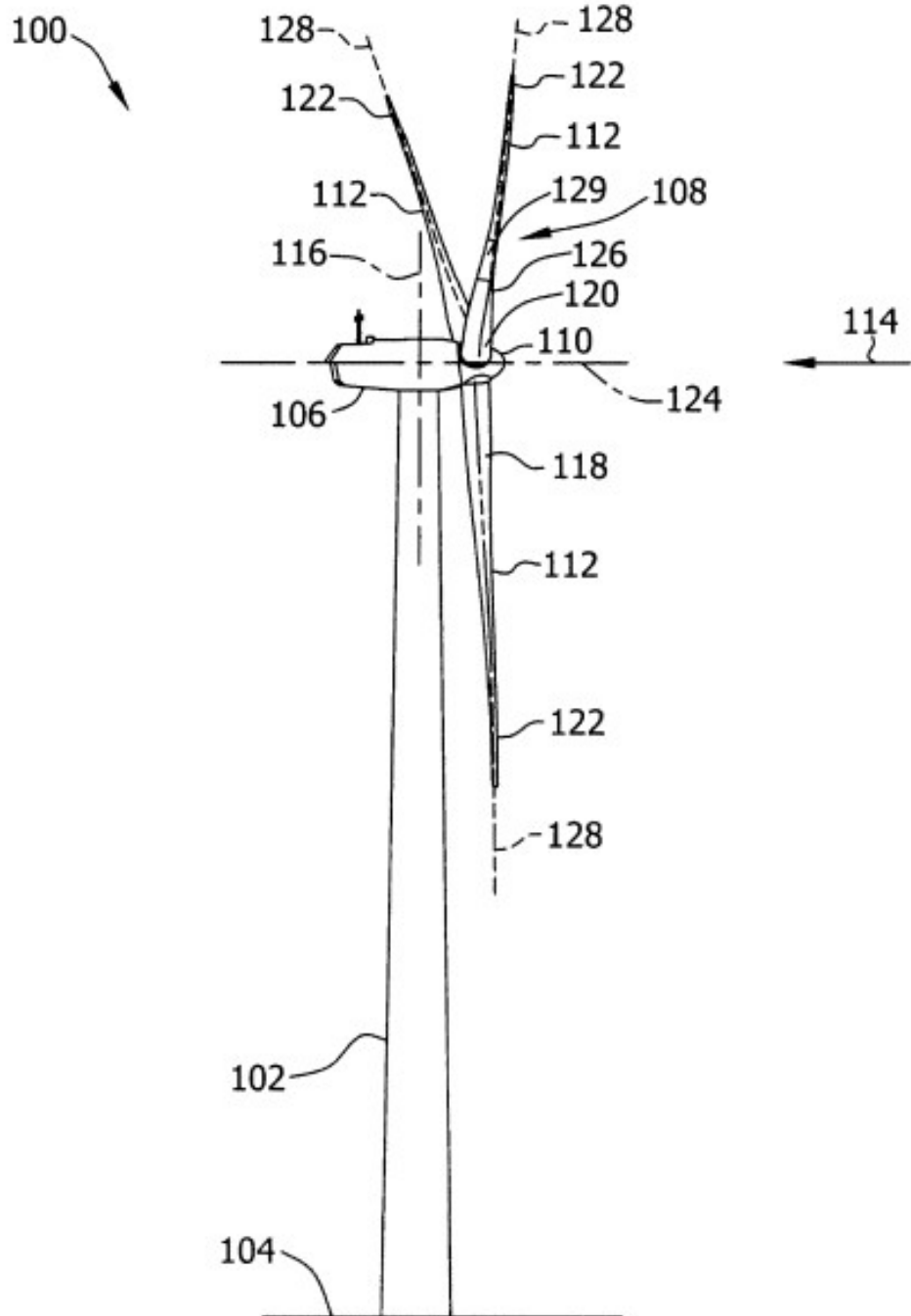
1. Un sistema de control de reducción de carga aerodinámica (300, 350), que comprende:
 5 al menos un primer dispositivo de entrada de turbina eólica configurado para transmitir una primera señal de operación (314, 372) representativa de una primera condición de operación, incluyendo la primera condición de operación una condición de deflexión de pala (112);
 al menos un segundo dispositivo de entrada de turbina eólica (131, 146, 148) configurado para transmitir al menos una segunda señal de operación (314, 372) representativa de al menos una segunda condición de operación inherente a una operación de turbina eólica y/o a factores ambientales que afectan a una
 10 operación de turbina eólica;
 al menos un dispositivo de regulación de turbina eólica (326); y **caracterizado por el hecho de que:**
 el al menos un primer dispositivo de entrada de turbina eólica es una pluralidad de sensores (176) que miden una deflexión de rotor; y por al menos un procesador (150, 206, 208-A, 208-B, 208-N) acoplado operativamente con dicho primer dispositivo de entrada de turbina eólica (176), dicho segundo dispositivo
 15 de entrada de turbina eólica (131, 146, 148), y dicho dispositivo de regulación (326), estando dicho procesador (150, 206, 208-A, 208-B, 208-N) programado para recibir la primera y segunda señales de operación a través de un módulo de entradas de control de turbina (312) acoplado operativamente al primer y segundo dispositivos de entrada de turbina eólica, y estando el procesador programado además para transmitir al menos una señal (324, 362, 321) a dicho dispositivo de regulación de turbina eólica (326) para
 20 cambiar la segunda condición de operación para cambiar la condición de deflexión de pala.
2. Un sistema de control de reducción de carga aerodinámica (300, 350) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho procesador (150, 206, 208-A, 208-B, 208-N) está programado con al menos un algoritmo representativo de una relación entre datos de operación de turbina eólica y valores de deflexión de pala de
 25 turbina eólica.
3. Un sistema de control de reducción de carga aerodinámica (300, 350) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además:
 al menos un controlador de turbina eólica (208-A, 208-B, 208-N); y
 30 al menos un controlador de parque eólico (206) acoplado operativamente a dicho controlador de turbina eólica (208-A, 208-B, 208-N).
4. Un sistema de control de reducción de carga aerodinámica (300, 350) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que dicho dispositivo de regulación de turbina eólica (326) comprende al menos
 35 uno de los siguientes elementos:
 un regulador de paso (328) acoplado a al menos un mecanismo de ángulo de paso de pala de turbina eólica (130);
 un regulador de aleta o flap (330) acoplado a al menos una aleta de pala de turbina eólica (129);
 un regulador de par (332) acoplado a un generador eléctrico (132);
 40 un regulador de flujo avanzado (334) acoplado a al menos uno de dicho mecanismo de ángulo de paso de pala de turbina eólica y dicha aleta de pala de turbina eólica;
 un regulador de orientación del rotor (336) acoplado a al menos un mecanismo de orientación del rotor (146); y
 un regulador de freno mecánico (338) acoplado a al menos una parte de un eje de rotor de turbina eólica
 45 (134).
5. Un parque eólico (200), que comprende:
 una pluralidad de turbinas eólicas (100-A, 100-B, 100-N); y
 un sistema de control de reducción de carga aerodinámica (300, 350), según se define en cualquier
 50 reivindicación anterior implementado en al menos una parte de cada una de dicha pluralidad de turbinas eólicas.
6. Un parque eólico (200) de acuerdo con la reivindicación 5, que comprende además:
 un primer controlador de turbina eólica (208-A, 208-B, 208-N) acoplado operativamente con al menos un
 55 segundo controlador de turbina eólica (208-A, 208-B, 208-N); y
 al menos un controlador del parque eólico (206) acoplado operativamente con dicho primer controlador de turbina eólica (208-A, 208-B, 208-N) y dicho segundo controlador de turbina eólica (208-A, 208-B, 208-N).
7. Un parque eólico (200) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 6, en el que dicho procesador (150, 206, 208-A, 208-B, 208-N) está programado con al menos un algoritmo que facilita una operación de dicho primer controlador de turbina eólica (208-A, 208-B, 208-N) y dicho segundo controlador de turbina eólica (208-A, 208-B, 208-N) en un modo de control de turbina eólica independiente.
8. Un parque eólico (200) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que dicho procesador (150, 206, 208-A, 208-B, 208-N) está programado con al menos un algoritmo que facilita una operación de dicho primer controlador de turbina eólica (208-A, 208-B, 208-N), dicho segundo controlador

de turbina eólica (208-A, 208-B, 208-N), y dicho controlador del parque eólico (206) en un modo de control de parque eólico.

- 5 9. Un parque eólico (200) de acuerdo con la reivindicación 8, en el que dicho modo de control de parque eólico facilita un cambio de al menos una de:
- una condición de deflexión de pala de una primera turbina eólica (100-A, 100-B, 100-N) cambiando al menos una segunda condición de operación de una segunda turbina eólica (100-A, 100-B, 100-N); y
 - una condición de deflexión de pala de dicha segunda turbina eólica cambiando al menos una segunda condición de operación de dicha primera turbina eólica.

10

FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR



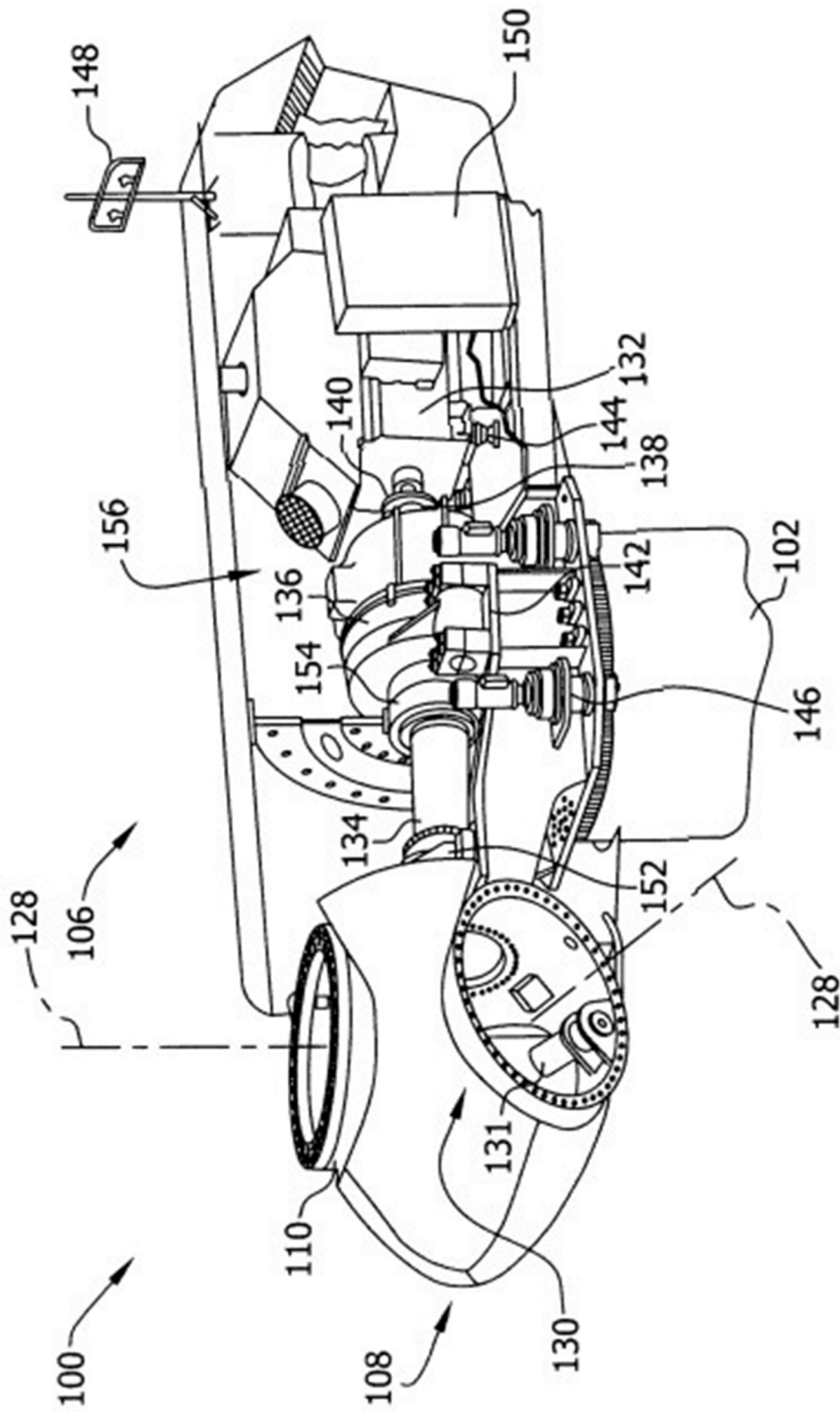


FIG. 2
TÉCNICA ANTERIOR

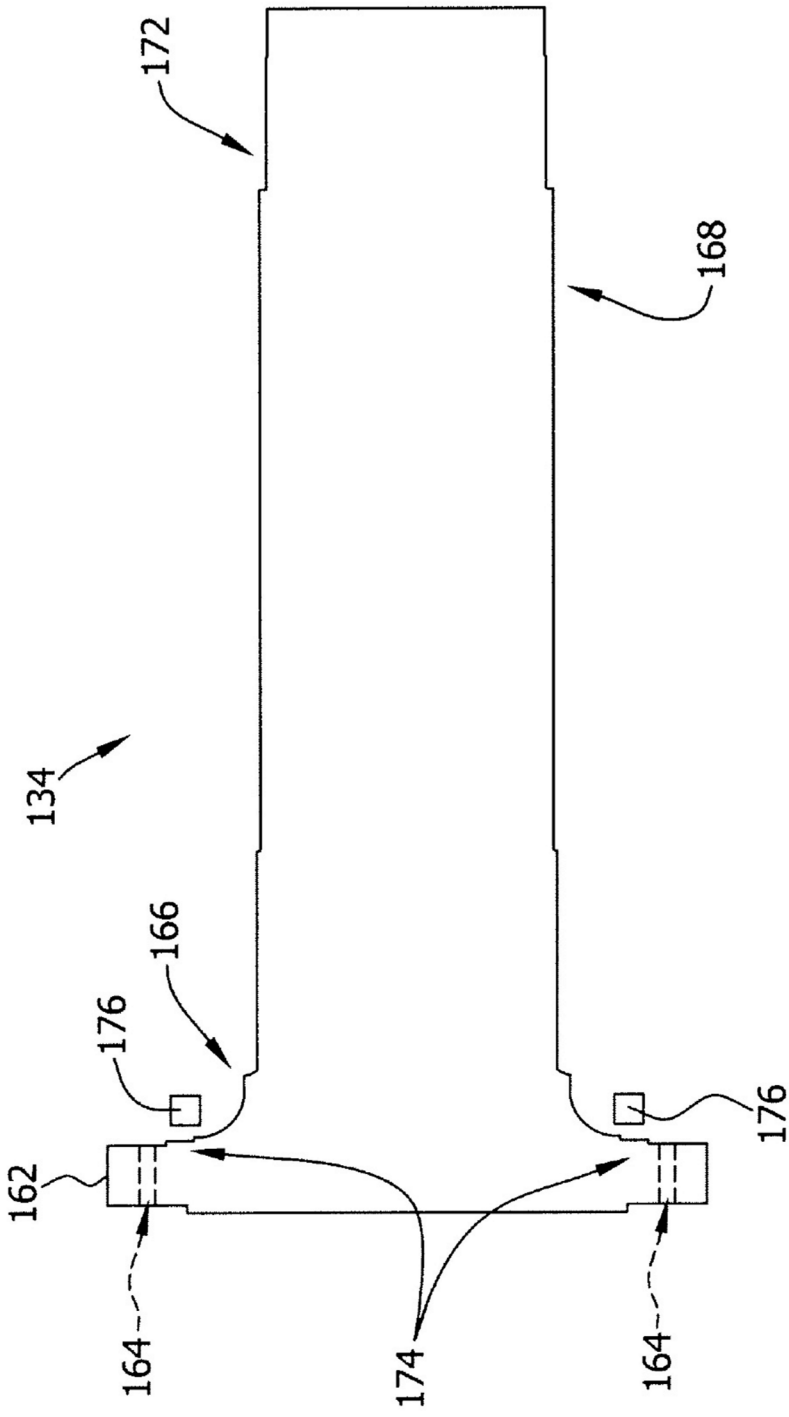


FIG. 3

FIG. 4

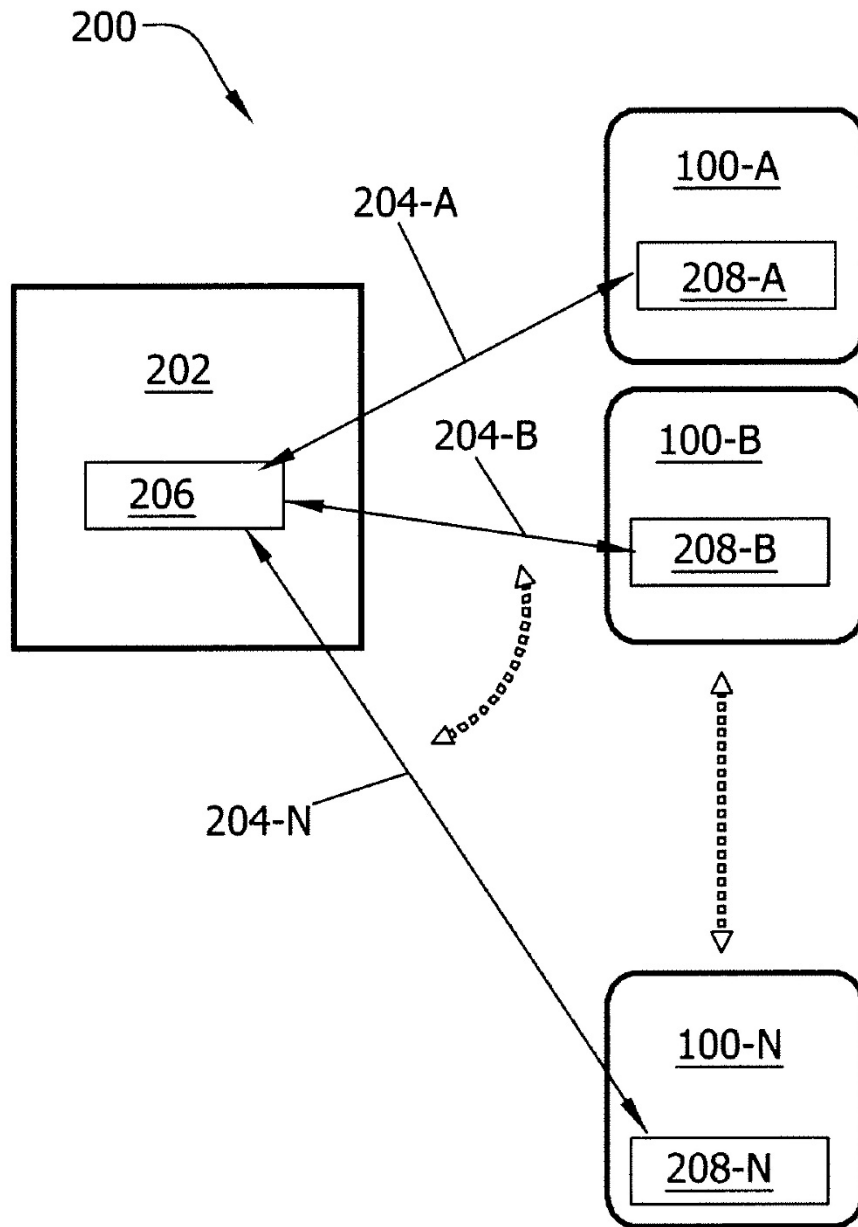


FIG. 5

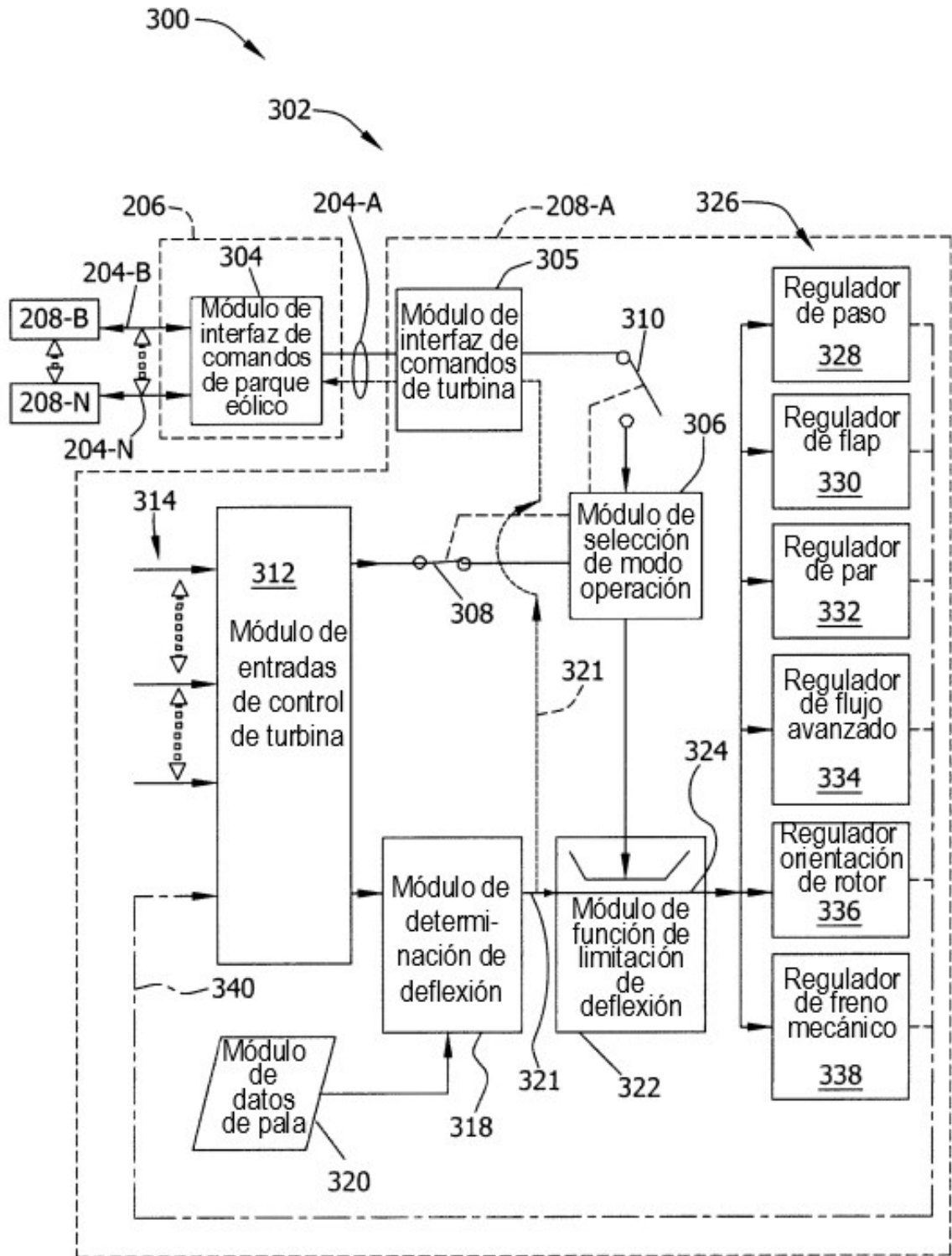


FIG. 6

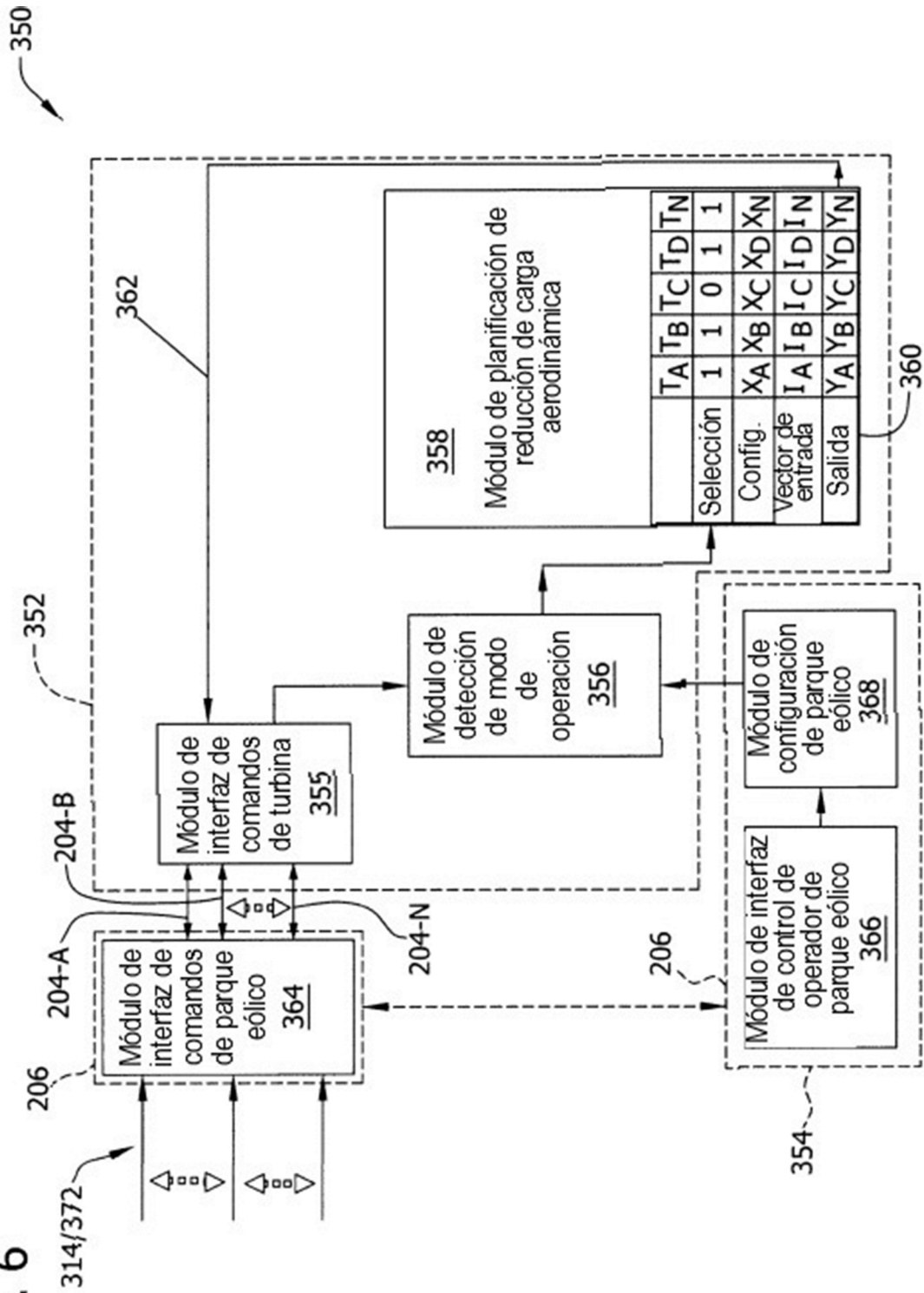


FIG. 7

