

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 845 934**

51 Int. Cl.:

F03D 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2011** E 11167294 (5)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.10.2020** EP 2390501

54 Título: **Procedimiento y sistema de validación de turbina eólica**

30 Prioridad:

28.05.2010 US 790130

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

28.07.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HOFFMANN, TILL;
TORBOHM, GERT;
GANDHI, JIGNESH;
SLACK, ROBERT PETER y
PIERCE, KIRK GEE**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 845 934 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 de validación de turbina eólica

5 **[0001]** La materia descrita en el presente documento se refiere, en general, a turbinas eólicas y, más en particular, a un sistema para validar una turbina eólica.

10 **[0002]** En general, una turbina eólica incluye un rotor que incluye un montaje de buje rotatorio que tiene múltiples palas de rotor. Las palas de rotor transforman la energía eólica en un par rotativo mecánico que acciona uno o más generadores por medio del rotor. Los generadores algunas veces, pero no siempre, están acoplados de forma rotativa al rotor a través de una multiplicadora. La multiplicadora aumenta la velocidad de rotación inherentemente baja del rotor para que el generador convierta eficazmente la energía mecánica rotativa en energía eléctrica, que se alimenta a una red de suministro por medio de, al menos, una conexión eléctrica. También existen turbinas eólicas de accionamiento directo sin engranajes. El rotor, el generador, la multiplicadora y otros componentes se montan típicamente dentro de un alojamiento, o góndola, que se sitúa en la parte superior de una torre.

15 **[0003]** En al menos algunas turbinas eólicas conocidas, se pueden producir uno o más errores durante la instalación de uno o más componentes de turbina eólica. Por ejemplo, un gabinete de control de palas de rotor puede estar cableado en un orden atípico y/o se puede instalar un sensor de posición de rotor con una referencia de punto cero incorrecta. Dichos errores pueden no ser fácilmente detectables, al menos en parte debido a una simetría del rotor en las turbinas eólicas conocidas. Si no se detectan dichos errores, las cargas mecánicas se pueden aumentar sustancialmente en uno o más componentes de turbina eólica con poca o ninguna indicación visual de un funcionamiento anormal de la turbina eólica. Para detectar dichos errores, al menos algunas turbinas eólicas conocidas incluyen sensores redundantes que miden cada uno la posición de un rotor. Sin embargo, los errores pueden permanecer sin ser detectados en dichas turbinas eólicas porque, una vez que se instala erróneamente un primer sensor, los sensores subsiguientes también se pueden instalar erróneamente.

20 **[0004]** Además, al menos algunas turbinas eólicas conocidas equilibran una carga en uno o más componentes de turbina eólica usando un sistema de Control de Carga Asimétrica (ALC). Dichos sistemas ALC ajustan en general un ángulo de pitch de cada pala de rotor de forma independiente para equilibrar la carga inducida al rotor. Durante el funcionamiento de la turbina eólica, puede cambiar el rendimiento aerodinámico de las palas de rotor. Por ejemplo, un borde de ataque de una o más palas de rotor se puede desgastar con el tiempo, cambiando por tanto el rendimiento aerodinámico de la pala de rotor en respuesta a los ángulos de pitch inducidos a la pala de rotor. Para medir dichos cambios, a menudo se requiere el uso de costosos equipos de prueba.

30 **[0005]** Por ejemplo, se divulgan diversas técnicas convencionales en los documentos US 2004/0081551, EP 1 612 413, US 2007/0294049, WO 2008/049426 y WO 99/36695.

35 **[0006]** En cambio, las reivindicaciones adjuntas definen diversos aspectos y modos de realización de la presente invención.

40 **[0007]** Ahora se describirán diversos aspectos y modos de realización de la presente invención en relación con los dibujos adjuntos, en los cuales:

45 La Fig. 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica ejemplar.

La Fig. 2 es una vista parcial en sección de una góndola ejemplar adecuada para su uso con la turbina eólica mostrada en la Fig. 1.

50 La Fig. 3 es una vista en perspectiva de un sistema de sensor ejemplar adecuado para su uso con la turbina eólica mostrada en la Fig. 1.

55 La Fig. 4 es un diagrama esquemático de un sistema de control de carga ejemplar adecuado para su uso con la turbina eólica mostrada en la Fig. 1.

La Fig. 5 es un diagrama de flujo de un procedimiento ejemplar para validar una turbina eólica adecuada para su uso con la turbina eólica mostrada en la Fig. 1.

60 **[0008]** Diversos de los modos de realización descritos en el presente documento proporcionan un sistema de control de carga y un procedimiento para validar una turbina eólica. El sistema de control de carga induce desequilibrios aerodinámicos en un rotor y mide los desplazamientos o momentos de flexión resultantes inducidos al rotor. El sistema de control de carga usa las mediciones para detectar un error de medición de la posición del rotor y/o una instalación o un orden de cableado incorrectos de las palas de rotor. El sistema de control de carga también usa las mediciones para calcular un factor de calibración para los ángulos de pitch que se inducen a las palas de rotor. Como tal, se pueden detectar errores de rotor y al menos un componente de la turbina eólica se puede calibrar sin un equipo de prueba costoso.

[0009] La Fig. 1 muestra una vista esquemática de una turbina eólica 100 ejemplar. En el modo de realización ejemplar, la turbina eólica 100 es una turbina eólica de eje horizontal. De forma alternativa, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica de eje vertical. En el modo de realización ejemplar, la turbina eólica 100 incluye una torre 102 que se extiende desde y está acoplada a una superficie de soporte 104. La torre 102 se puede acoplar a la superficie 104 con pernos de anclaje o por medio una pieza de montaje de cimentación (no se muestra ninguno), 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 el modo de realización ejemplar, el rotor 108 incluye tres palas de rotor 112. De forma alternativa, el rotor 108 puede tener cualquier número adecuado de palas de rotor 112 que permita que la turbina eólica 100 funcione como se describe en el presente documento. La torre 102 puede tener cualquier altura y/o construcción adecuada que facilite el funcionamiento de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento.

[0010] Las palas de rotor 112 están espaciadas alrededor del buje 110 para facilitar la rotación del rotor 108, permitiendo de este modo que la transferencia de energía cinética del viento 114 en energía mecánica utilizable, y posteriormente, en energía eléctrica. El rotor 108 y la góndola 106 se hacen rotar alrededor de la torre 102 en un eje de guiñada 116 para controlar una perspectiva de las palas de rotor 112 con respecto a la dirección del viento 114. Las palas de rotor 112 se acoplan al buje 110 acoplando una porción de raíz de pala de rotor 118 al buje 110 en una pluralidad de regiones de transferencia de carga 120. Las regiones de transferencia de carga 120 tienen cada una una región de transferencia de carga del buje y una región de transferencia de carga de la pala de rotor (ninguna se muestra en la Fig. 1). Las cargas inducidas a las palas de rotor 112 se transfieren al buje 110 por medio de las regiones de transferencia de carga 120. Cada pala de rotor 112 también incluye una porción de punta de pala de rotor 122.

[0011] En el modo de realización ejemplar, las palas de rotor 112 tienen una longitud de entre aproximadamente 30 metros (m) (99 pies) y aproximadamente 120 m (394 pies). De forma alternativa, las palas de rotor 112 puede tener cualquier longitud adecuada que permita que la turbina eólica 100 funcione como 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. Cuando el viento 114 entra en contacto con la pala de rotor 112, se inducen fuerzas de elevación a la pala de rotor 112 y se induce la rotación del rotor 108 alrededor de un eje de rotación 124 a medida que se acelera la porción de punta de pala de rotor 122.

[0012] Un ángulo de pitch (no mostrado) de las palas de rotor 112, es decir, un ángulo que determina la perspectiva de la pala de rotor 112 con respecto a la dirección del viento 114, se puede cambiar mediante un montaje de pitch (no mostrado en la Fig. 1). Más específicamente, aumentar el ángulo de pitch de la pala de rotor 112 disminuye la cantidad del área de superficie de pala de rotor 126 expuesta al viento 114 y, a la inversa, al disminuir el ángulo de pitch de la pala de rotor 112 aumenta la cantidad del área de superficie de pala de rotor 126 expuesta al viento 114. Los ángulos de pitch de las palas de rotor 112 se ajustan alrededor de un eje de pitch 128 en cada pala de rotor 112. En el modo de realización ejemplar, los ángulos de pitch de las palas de rotor 112 se controlan individualmente.

[0013] La Fig. 2 es una vista parcial en sección de la góndola 106 de la turbina eólica 100 ejemplar (mostrada en la Fig. 1). Diversos componentes de la turbina eólica 100 están alojados en la góndola 106. En el modo de realización ejemplar, la góndola 106 incluye tres montajes de pitch 130. Cada montaje de pitch 130 está acoplado a una pala de rotor 112 asociada (mostrada en la Fig. 1) y modula una pitch de una pala de rotor 112 asociada alrededor del eje de pitch 128. En la Fig. 2 se muestra solo uno de los tres montajes de pitch 130. En el modo de realización ejemplar, cada montaje de pitch 130 incluye al menos un motor de accionamiento de pitch 131.

[0014] Como se muestra en la Fig. 2, el rotor 108 está acoplado de forma rotatoria a un generador eléctrico 132 situado dentro de la góndola 106 por medio de un eje de rotor 134 (algunas veces denominado eje principal o eje de baja velocidad), una multiplicadora 136, un eje rápido 138 y un acoplamiento 140. La rotación del eje de rotor 134 acciona de forma rotatoria la multiplicadora 136 que posteriormente acciona el eje rápido 138. El eje rápido 138 acciona de forma rotatoria el generador 132 por medio del acoplamiento 140 y la rotación del eje rápido 138 facilita la producción de energía eléctrica por el generador 132. La multiplicadora 136 recibe soporte de un soporte 142 y el generador 132 recibe soporte de un soporte 144. En el modo de realización ejemplar, la multiplicadora 136 utiliza una geometría de ruta dual para accionar el eje rápido 138. De forma alternativa, el eje de rotor 134 está acoplado directamente al generador 132 por medio del acoplamiento 140.

[0015] La góndola 106 también incluye un mecanismo de accionamiento de guiñada 146 que hace rotar la góndola 106 y el rotor 108 alrededor del eje de guiñada 116 (mostrado en la Fig. 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 (ninguno de los dos se muestra en la Fig. 2). En un modo de realización, el mástil meteorológico 148 proporciona información, incluyendo la dirección del viento y/o la velocidad del viento, a un sistema de control de turbina 150. El sistema de control de turbina 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, incluyendo sistemas y

microcontroladores, circuitos de conjunto de instrucciones reducidas (RISC), circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC), circuitos lógicos programables (PLC) y cualquier otro circuito capaz de ejecutar las funciones descritas en el presente documento. Los ejemplos anteriores son solamente ejemplares y por tanto no se desea limitar de ninguna forma la definición y/o significado del término "procesador". Además, el sistema de control de turbina 150 puede ejecutar un programa SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos).

[0016] El montaje de pitch 130 está acoplado de forma operativa al sistema de control de turbina 150. En el modo de realización ejemplar, la góndola 106 también incluye un cojinete de soporte delantero 152 y un cojinete de soporte trasero 154. El cojinete de soporte delantero 152 y el cojinete de soporte trasero 154 facilitan el soporte radial y la alineación del eje de rotor 134. El cojinete de soporte delantero 152 está acoplado al eje de rotor 134 cerca del buje 110. El cojinete de soporte trasero 154 está situado en el eje de rotor 134 cerca de la multiplicadora 136 y/o del generador 132. La góndola 106 puede incluir cualquier número de cojinetes de soporte que permitan que la turbina eólica 100 funcione como se divulga en el presente documento. El eje de rotor 134, el generador 132, la multiplicadora 136, el eje rápido 138, el acoplamiento 140 y cualquier dispositivo de sujeción, soporte y/o aseguramiento asociado que incluye, entre otros, el soporte 142, el soporte 144, el cojinete de soporte delantero 152 y el cojinete de soporte trasero 154, a veces se denominan tren de transmisión 156.

[0017] La Fig. 3 es una vista en perspectiva de un sistema sensor 200 adecuado para su uso en la detección de carga asimétrica en uno o más componentes de la turbina eólica 100 (mostrada en la Fig. 1). En general, la carga asimétrica ocurre como resultado de cizalladuras del viento verticales y horizontales, desalineación de guiñada y turbulencia. Las cargas asimétricas que actúan sobre las palas de rotor 112 se traducen en momentos que actúan sobre el rotor 108, el buje 110 y, posteriormente, el eje de rotor 134. Estos momentos se manifiestan como deflexiones o deformaciones en una brida de eje de rotor 202. Los sensores 204, tales como sensores de proximidad, se utilizan para medir un desplazamiento de la brida de eje de rotor 202. En algunas configuraciones, cada sensor 204 está montado en un soporte de sensor 206 que está acoplado al cojinete de soporte delantero 152. Las lecturas de los sensores 204 que indican los desplazamientos y/o momentos medidos se usan por un sistema de control, tal como el sistema de control de turbina 150 y/o un sistema de control de carga (no mostrado en la Fig. 3), para determinar un comando de pitch para cada pala de rotor 112 para reducir o contrarrestar la carga asimétrica del rotor y para determinar una orientación de guiñada favorable para reducir la actividad de pitch. En algunas configuraciones, se usan cuatro sensores 204 con un espaciado de 90 grados para medir el desplazamiento de la brida de eje de rotor 202 resultante de cargas asimétricas. Además, en algunas configuraciones, los sensores 204 son sensores de proximidad que miden el desplazamiento de la brida de eje de rotor 202 con respecto a un marco de referencia no deflectante, por ejemplo, el cojinete de soporte delantero 152.

[0018] La Fig. 4 es una vista esquemática de un sistema de control de carga 300 ejemplar adecuado para su uso con la turbina eólica 100 (mostrada en la Fig. 1). En el modo de realización ejemplar, el sistema de control de carga 300 se implementa al menos parcialmente por y/o se incorpora dentro del sistema de control de turbina 150 (mostrado en la Fig. 2). El sistema de control de carga 300 mide y/o reduce las cargas asimétricas inducidas al rotor 108, al eje de rotor 134 y/o a otros componentes de turbina eólica. Además, el sistema de control de carga 300 valida una instalación y/o un funcionamiento de al menos un componente de turbina eólica. Más específicamente, en el modo de realización ejemplar, el sistema de control de carga 300 valida un orden de instalación o cableado de las palas de rotor 112 dentro de un gabinete de control de palas de rotor (no mostrado) (a continuación en el presente documento denominado "orden de las palas de rotor") y/o una medición de la posición del rotor. La medición de la posición del rotor se refiere a una medición de un sensor adecuado (no mostrado) que identifica una posición angular o rotativa del rotor 108 con respecto a un marco fijo o no rotatorio de referencia.

[0019] En el modo de realización ejemplar, el sistema de control de carga 300 incluye cuatro sensores 204 que están espaciados aproximadamente 90 grados entre sí alrededor del eje de rotor 134 y/o del cojinete de soporte delantero 152. Los sensores 204 miden un desplazamiento de la brida de eje de rotor 202 debido a las cargas inducidas al rotor 108. Los sensores 204 transmiten una o más señales representativas de los momentos (es decir, los desequilibrios de carga medidos) o el desplazamiento medido de la brida de eje de rotor 202 a un módulo de conversión 302. El módulo de conversión 302 convierte las señales de un marco rotativo de referencia en un marco fijo de referencia. Las señales convertidas se transmiten como un componente D 304 y un componente Q 306 de las señales de momento. Como se usa en el presente documento, el componente D 304 y el componente Q 306 representan componentes de carga en una dirección D y en una dirección Q del marco fijo de referencia. El módulo de conversión 302 transmite el componente D 304 y el componente Q 306 a un módulo de calibración 308. El componente Q 306 se multiplica por una señal de factor de ecalización 310, y el componente Q 306 y el componente D 304 calibrados se multiplican por una señal de factor de conversión 312 para normalizar las señales. Las señales normalizadas se transmiten a un módulo regulador de carga 314. El módulo regulador de carga 314 ajusta un ángulo de pitch de una o más palas de rotor 112 en base a las señales normalizadas para equilibrar la carga en el rotor 108. Más específicamente, el módulo regulador de carga 314 transmite una primera señal de ángulo de pitch 316 para ajustar un ángulo de pitch de una primera pala de rotor 112, una segunda señal de ángulo de pitch 318 para ajustar un ángulo de pitch de una segunda pala de rotor 112 y una tercera señal de ángulo de pitch 320 para ajustar un ángulo de pitch de una tercera pala de rotor 112.

[0020] El módulo de calibración 308 recibe el componente D 304 y el componente Q 306 de la señal de momento y una señal de posición de rotor 322 transmitida por un sensor de posición del rotor (no mostrado). El módulo de calibración 308 genera la señal de factor de ecualización 310 y la señal de factor de conversión 312. La señal de factor de ecualización 310 se usa para normalizar el componente D 304 y el componente Q 306 para tener en cuenta las diferentes elasticidades mecánicas que pueden existir en las direcciones de carga D y Q de uno o más componentes de una estructura de soporte de rotor (no mostrada), tal como el cojinete de soporte delantero 152, el cojinete de soporte trasero 154, la torre 102, un marco de cama (no mostrado) y/o cualquier otro componente adecuado. La señal de factor de conversión 312 se usa para convertir el componente D 304 y el componente Q 306 en una unidad de medición adecuada para el módulo regulador de carga 314. Además, el módulo de calibración 308 genera una o más señales representativas de un factor de escala o calibración para los ángulos de pitch de la pala de rotor 112. Más específicamente, en el modo de realización ejemplar, el módulo de calibración 308 genera una primera señal de factor de calibración 324, una segunda señal de factor de calibración 326 y una tercera señal de factor de calibración 328. En un modo de realización, la primera señal de factor de calibración 324, la segunda señal de factor de calibración 326 y la tercera señal de factor de calibración 328 se pueden promediar juntas para generar una única señal de factor de calibración (no mostrada). De forma alternativa, la primera señal de factor de calibración 324, la segunda señal de factor de calibración 326 y la tercera señal de factor de calibración 328 se pueden aplicar cada una por separado a una respectiva pala de rotor 112.

[0021] En un modo de realización, la primera señal de factor de calibración 324 se añade a la primera señal de ángulo de pitch 316 para generar una primera señal de control de pitch 330, la segunda señal de factor de calibración 326 se añade a la segunda señal de ángulo de pitch 318 para generar una segunda señal de control de pitch 332, y la tercera señal de factor de calibración 328 se añade a la tercera señal de ángulo de pitch 320 para generar una tercera señal de control de pitch 334. La primera señal de control de pitch 330, la segunda señal de control de pitch 332 y la tercera señal de control de pitch 334 se transmiten cada una a los montajes de pitch 130 respectivos (mostrados en la Fig. 2) para controlar un ángulo de pitch de las palas de rotor 112 respectivas. En el modo de realización ejemplar, el módulo de calibración 308 también verifica la señal de posición de rotor 322 y el orden de las palas de rotor, como se describe con más detalle en el presente documento. Si se detecta un error, el módulo de calibración 308 transmite una señal de error de posición de rotor 336 y/o una señal de error de orden de palas de rotor 338 a un módulo de monitorización de carga 340.

[0022] En el modo de realización ejemplar, el módulo de monitorización de carga 340 controla si el sistema de control de carga 300 está acoplado a los montajes de pitch 130. Más específicamente, el módulo de control de carga 340 acopla el sistema de control de carga 300 a los montajes de pitch 130 mediante una pluralidad de conmutadores 342 si la señal de error de posición de rotor 336 y/o la señal de error de orden de palas de rotor 338 son aceptables o están dentro de un rango aceptable. Si la señal de error de posición de rotor 336 y/o la señal de error de orden de palas de rotor 338 no son aceptables o no están dentro de un rango aceptable, el módulo de monitorización de carga 340 desacopla el sistema de control de carga 300 de los montajes de pitch 130 por medio de conmutadores 342. Si el sistema de control de carga 300 está acoplado a los montajes de pitch 130, la primera señal de control de pitch 330, la segunda señal de control de pitch 332 y la tercera señal de control de pitch 334 se transmiten a los montajes de pitch 130 para controlar los ángulos de pitch de cada pala de rotor 112. Como tal, la carga sobre el rotor 108 se puede ajustar y/o equilibrar mediante el sistema de control de carga 300. En un modo de realización alternativo, el módulo de calibración 308 usa un algoritmo adecuado para corregir errores de posición de rotor y/o errores de orden de palas de rotor, en lugar de hacer funcionar los conmutadores 342 y/o transmitir la señal de error de posición de rotor 336 y la señal de error de orden de palas de rotor.

[0023] La Fig. 5 es un diagrama de flujo de un procedimiento 400 ejemplar para validar una turbina eólica, tal como una turbina eólica 100 (mostrado en la Fig. 1). En el modo de realización ejemplar, el procedimiento 400 se ejecuta al menos parcialmente por el sistema de control de turbina 150 (mostrado en la Fig. 2) y/o por el sistema de control de carga 300 (mostrado en la Fig. 4). De forma alternativa, el procedimiento 400 se ejecuta mediante cualquier sistema de control adecuado dentro de la turbina eólica 100 y/o alejado de la turbina eólica 100.

[0024] En el modo de realización ejemplar, se inicia o se reanuda una prueba de carga 402. El sistema de control de turbina 150 y/o el sistema de control de carga 300 establece 404 al menos un ángulo de pitch de pala de rotor en un primer valor o conjunto de valores para inducir intencionalmente un desequilibrio de carga aerodinámica en al menos un componente de turbina eólica, tal como el rotor 108. En otras palabras, el sistema de control de turbina 150 y/o el sistema de control de carga 300 cambia un ángulo de pitch de al menos una pala de rotor 112. El ángulo de pitch de una primera pala de rotor 112 es diferente del ángulo de pitch de al menos otra pala de rotor 112 de modo que se induce intencionalmente un desequilibrio de carga en al menos un componente de turbina eólica. En el modo de realización ejemplar, una primera pala de rotor 112 se gira a una posición de "energía", es decir, a una posición que se dirige hacia el viento de modo que la primera pala de rotor 112 extrae más energía. Una segunda pala de rotor 112 y una tercera pala de rotor 112 están cada una girada a una posición de "bandera", es decir, a una posición que se dirige lejos del viento de modo que se extrae sustancialmente menos energía por la segunda pala de rotor 112 y la tercera pala de rotor 112. En un modo de realización alternativa, las palas de rotor 112 están giradas a ángulos de pitch de entre aproximadamente 0,5 grados y aproximadamente 1,5 grados con respecto a un ángulo de referencia o "cero". Además, los ángulos de pitch para las palas de rotor 112 se eligen para crear desequilibrios de carga adecuados dentro del rotor 108 en una variedad de direcciones y con polaridades opuestas

para crear una medición diferencial de una orientación de desequilibrio de carga alineada con cada eje de pitch de pala de rotor 128 (mostrado en la Fig. 1). De forma alternativa, las palas de rotor 112 se pueden girar a cualquier posición adecuada que permita inducir un desequilibrio de carga medible en el rotor 108.

5 **[0025]** Después de que las palas de rotor 112 se hayan girado al primer conjunto de valores de ángulo de pitch, se mide 406 una carga en al menos un componente de turbina eólica. En el modo de realización ejemplar, una carga en el rotor 108 se mide 406 por al menos un sensor adecuado, tal como por uno o más sensores 204 (mostrados en la Fig. 3). Mientras que las palas de rotor 112 se colocan en el primer conjunto de valores de ángulo de pitch, el procedimiento 400 determina si se ha producido 408 un fallo o una condición de viento no deseada. Si se ha producido 408 un fallo o condición de viento no deseada, la prueba de carga se interrumpe 410 hasta que el fallo se haya corregido o eliminado o la condición de viento haya cambiado. Una vez que el fallo se ha corregido o eliminado o la condición del viento ha cambiado, el procedimiento 400 inicia o reanuda 402 la prueba de carga.

15 **[0026]** Una vez que ha transcurrido 412 un tiempo predefinido, el procedimiento 400 determina si la prueba de carga ha terminado 414. En un modo de realización, el tiempo predefinido está entre aproximadamente cinco minutos y aproximadamente diez minutos. De forma alternativa, el tiempo predefinido es cualquier cantidad de tiempo adecuada que permita que el procedimiento 400 funcione como se describe en el presente documento. En el modo de realización ejemplar, la prueba de carga se repite 416 un número predefinido o adecuado de veces, incluyendo cada repetición de la prueba de carga diferentes conjuntos de valores predefinidos para los ángulos de pitch de pala de rotor. En un modo de realización, la prueba de carga se repite 416 seis veces, con diferentes combinaciones de ángulos de pitch de las palas de rotor 112 inducidas a las palas de rotor 112 en cada repetición de la prueba. Por ejemplo, durante una segunda repetición de la prueba de carga, la primera pala de rotor 112 y la tercera pala de rotor 112 se pueden girar a una posición de potencia, mientras que la segunda pala de rotor 112 se gira a una posición de bandera. Durante una tercera repetición de la prueba de carga, la primera pala de rotor 112 y la segunda pala de rotor 112 se pueden girar a una posición de bandera, mientras que la tercera pala de rotor 112 se gira a una posición de potencia. Las repeticiones de prueba adicionales pueden incluir diferentes combinaciones de ángulos de pitch de la pala de rotor. De forma alternativa, en cada repetición de la prueba de carga, cada pala de rotor 112 se puede girar a cualquier posición adecuada que permita inducir un desequilibrio de carga medible en el rotor 108.

30 **[0027]** Una vez finalizada la prueba de carga 414, los datos de la prueba de carga se procesan 418. Los datos pueden incluir, por ejemplo, uno o más valores del componente D 304 y/o del componente Q 306 de las señales de momento, la señal de posición de rotor 322 (todas mostradas en la Fig. 4) y/o cualquier otra señal o datos adecuados. En un modo de realización, los datos de prueba de carga se procesan 418 durante o después de que se haya completado cada repetición de la prueba de carga. En dicho modo de realización, los datos se pueden compilar y/o integrar mientras se espera que transcurra 412 el tiempo predefinido. En el modo de realización ejemplar, los datos de prueba de carga se procesan 418 para extraer y/o calcular fases de los desequilibrios de carga y/o magnitudes de los desequilibrios de carga. En un modo de realización, los datos de prueba se integran en sumas de Fourier que se procesan además 418 para determinar las fases de los desequilibrios de carga y/o las magnitudes de los desequilibrios de carga. De forma alternativa, se puede usar cualquier algoritmo o proceso de descomposición de frecuencia adecuado para extraer y/o calcular las fases y magnitudes de los desequilibrios de carga a partir de los datos de prueba. Después de que se hayan procesado los datos de prueba 418, se verifican 420 las mediciones de posición de rotor, es decir, la señal de posición de rotor 322 (mostrada en la Fig. 3) y/o el orden de palas de rotor. Más específicamente, las fases del desequilibrio de carga calculadas por la prueba de carga se comparan con las fases esperadas del desequilibrio de carga para los ángulos de pitch probados. Una diferencia entre las fases calculadas y las fases esperadas que exceda un umbral de error predefinido indica que la medición de la posición del rotor no está dentro de un rango de error aceptable y/o que el orden de palas de rotor es incorrecto. Además, si la diferencia entre las fases calculadas y las fases esperadas excede el umbral de error predefinido, el sistema de control de turbina 150 y/o el módulo de calibración 308 pueden generar una o más señales de error y/o pueden ajustar automáticamente un ángulo de pitch y/o un factor de calibración de una o más palas de rotor 112 para corregir y/o eliminar sustancialmente la diferencia.

55 **[0028]** Las magnitudes calculadas o extraídas de los desequilibrios de carga se usan para calcular 422 al menos un factor de calibración para al menos un componente de turbina eólica. En el modo de realización ejemplar, las magnitudes de los desequilibrios de carga se usan para calcular 422 factores de calibración de los ángulos de pitch para las palas de rotor 112, tal como la primera señal de factor de calibración 324, la segunda señal de factor de calibración 326 y la tercera señal de factor de calibración 328. Más específicamente, la magnitud del desequilibrio de carga medida se divide por un desequilibrio del ángulo de pitch medido (es decir, el desequilibrio o la diferencia entre los ángulos de pitch de la pala de rotor 112) para determinar el factor de calibración para cada ángulo de pitch de pala de rotor. Como tal, al menos un componente de turbina eólica, tal como al menos una pala de rotor 112, se puede calibrar mediante el procedimiento 400 y/o mediante el sistema de control de carga 300.

65 **[0029]** En el modo de realización ejemplar, el sistema de control de carga 300 está acoplado a un sistema remoto, tal como un sistema de control de un parque eólico. Como tal, el sistema de control de carga 300 y/o el procedimiento 400 se pueden hacer funcionar por el sistema remoto sin necesidad de que haya un técnico en el

sitio. Además, las turbinas eólicas existentes se pueden adaptar o actualizar para usar el sistema de control de carga 300 y/o el procedimiento 400.

5 [0030] Un efecto técnico de diversos de los sistemas y procedimientos descritos en el presente documento incluye al menos uno de: (a) inducir intencionalmente un desequilibrio de carga en un rotor; (b) medir un desequilibrio de carga inducido a un rotor; (c) transmitir una señal representativa de un desequilibrio de carga medido a un módulo de calibración; y (d) al menos uno de detectar un error y calibrar al menos un componente de una turbina eólica.

10 [0031] Otros efectos técnicos de diversos de los sistemas y procedimientos descritos en el presente documento pueden incluir: (a) detectar un error de medición de la posición del rotor en una turbina eólica; (b) detectar un error en el orden de instalación de palas de rotor en una turbina eólica; (c) corregir automáticamente al menos uno de un error de medición de la posición del rotor y un error de orden de instalación de palas de rotor; (d) equilibrar una carga inducida a un rotor; y (e) calibrar al menos un componente de una turbina eólica.

15 [0032] Los modos de realización descritos anteriormente proporcionan un sistema de control de carga eficaz y rentable para una turbina eólica. El sistema de control de carga induce desequilibrios de carga aerodinámica a un rotor y mide los momentos resultantes causados por los desequilibrios. El sistema de control de carga usa las mediciones para detectar un error de medición de la posición del rotor y/o un orden incorrecto de las palas de rotor. El sistema de control de carga también usa las mediciones para calcular un factor de calibración para los ángulos de pitch de palas de rotor. Como tal, se pueden detectar errores del rotor y se pueden calibrar las palas de rotor sin un equipo de prueba costoso.

20 [0033] Los modos de realización ejemplares de una turbina eólica, un sistema de control de carga y un procedimiento de validación de una turbina eólica se describen anteriormente en detalle. La turbina eólica, el sistema de control de carga y el procedimiento no se limitan a los modos de realización específicos descritos en el presente documento, sino que, más bien, los componentes de la turbina eólica y/o del sistema de control de carga y/o las etapas de los procedimientos se pueden utilizar independientemente y por separado de otros componentes y/o etapas descritos en el presente documento. Por ejemplo, el dispositivo de carga se puede usar también en combinación con otros sistemas y procedimientos, y no se limita a practicar solo con el vehículo eléctrico como se describe en el presente documento. Más bien, el modo de realización ejemplar se puede implementar y utilizar en relación con muchas otras aplicaciones de turbina eólica.

25 [0034] Aunque características específicas de diversos modos de realización de la invención se pueden mostrar en algunos dibujos y no en otros, esto es solo por comodidad. De acuerdo con los principios de la invención, cualquier característica de un dibujo se puede referir y/o reivindicar en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

30 [0035] Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferente, y también para permitir que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que se produzcan por los expertos en la técnica. Dichos otros ejemplos pretenden estar dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieran del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales del lenguaje literal de las reivindicaciones.

45

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica (100), que comprende:
- 5 un rotor (108);
- al menos dos palas de rotor (112) acopladas a dicho rotor; y
- 10 un sistema de control de carga (300) configurado para ajustar un ángulo de pitch de al menos una pala de rotor de dichas al menos dos palas de rotor, dicho sistema de control de carga configurado además para:
- 15 inducir intencionalmente un desequilibrio de carga en dicho rotor estableciendo (404) al menos un ángulo de pitch de pala de rotor en un primer valor para inducir un desequilibrio de carga aerodinámica;
- medir el desequilibrio de carga inducido a dicho rotor;
- 20 transmitir una señal representativa del desequilibrio de carga medido a un módulo de calibración (308); **caracterizado por que** el sistema de control de carga (300) está configurado además para:
- realizar una descomposición de frecuencia en la señal para calcular al menos uno de una magnitud del desequilibrio de carga y una fase del desequilibrio de carga; y
- 25 al menos uno de detectar un error y calibrar al menos un componente de dicha turbina eólica (100) en base a la señal, en la que el error es un error de medición de la posición del rotor y/o una instalación o un orden de cableado incorrectos de las palas de rotor y la calibración de dicho al menos un componente de dicha turbina eólica comprende calcular un factor de calibración para los ángulos de pitch que se inducen a las palas de rotor (112).
- 30
2. Una turbina eólica (100) de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dicho sistema de control de carga (300) está configurado además para comparar la fase calculada del desequilibrio de carga con una fase esperada del desequilibrio de carga para determinar un error de medición de la posición del rotor.
- 35
3. Una turbina eólica (100) de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en la que dicho sistema de control de carga (300) está configurado además para comparar la fase calculada del desequilibrio de carga con una fase esperada del desequilibrio de carga para determinar un error de orden de instalación de palas de rotor.
- 40
4. Una turbina eólica (100) de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en la que dicho sistema de control de carga (300) está configurado además para comparar la magnitud calculada del desequilibrio de carga con una magnitud esperada del desequilibrio de carga para calcular al menos un factor de calibración de ángulo de pitch.
- 45
5. Una turbina eólica (100) de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en la que dicho sistema de control de carga (300) está configurado para cambiar un ángulo de pitch de una primera pala de rotor (112) de dichas dos palas de rotor para inducir un desequilibrio de carga en dicho rotor (108), el ángulo de pitch de la primera pala de rotor diferente del ángulo de pitch de una segunda pala de rotor de dichas dos palas de rotor.
- 50
6. Una turbina eólica (100) de acuerdo con la reivindicación 5, en la que dicho sistema de control de carga (300) está configurado además para:
- 55 esperar a que transcurra un tiempo predefinido después de cambiar el ángulo de pitch de dicha primera pala de rotor (112); y
- medir el desequilibrio de carga inducido a dicho rotor durante el tiempo predefinido transcurrido.
- 60
7. Un sistema de control de carga (300) para una turbina eólica (100) que incluye un rotor (108), dicho sistema de control de carga configurado para inducir intencionalmente un desequilibrio de carga en el rotor, estableciendo (404) al menos un ángulo de pitch de pala de rotor en un primer valor para inducir un desequilibrio de carga aerodinámica, comprendiendo dicho sistema de control de carga:
- 65 al menos un sensor (204) configurado para medir el desequilibrio de carga dentro del rotor y generar una señal representativa del desequilibrio de carga medido; y

un módulo de calibración (308) configurado para recibir la señal y para al menos uno de detectar un error y calibrar al menos un componente de la turbina eólica en base a la señal, **caracterizado por que** dicho módulo de calibración (308) está configurado además para realizar una descomposición de frecuencia en la señal para calcular al menos uno de una magnitud del desequilibrio de carga y una fase del desequilibrio de carga, y al menos uno de detectar un error y calibrar al menos un componente de dicha turbina eólica (100) en base a la señal, en la que el error es un error de medición de posición de rotor y/o una instalación o un orden de cableado incorrectos de palas de rotor y la calibración de dicho al menos un componente de dicha turbina eólica comprende calcular un factor de calibración para los ángulos de pitch que se inducen a las palas de rotor.

5

10

8. Un sistema de control de carga (300) de acuerdo con la reivindicación 7, en el que dicho módulo de calibración (308) está configurado además para comparar la fase calculada del desequilibrio de carga con una fase esperada del desequilibrio de carga para determinar un error de medición de posición de rotor.

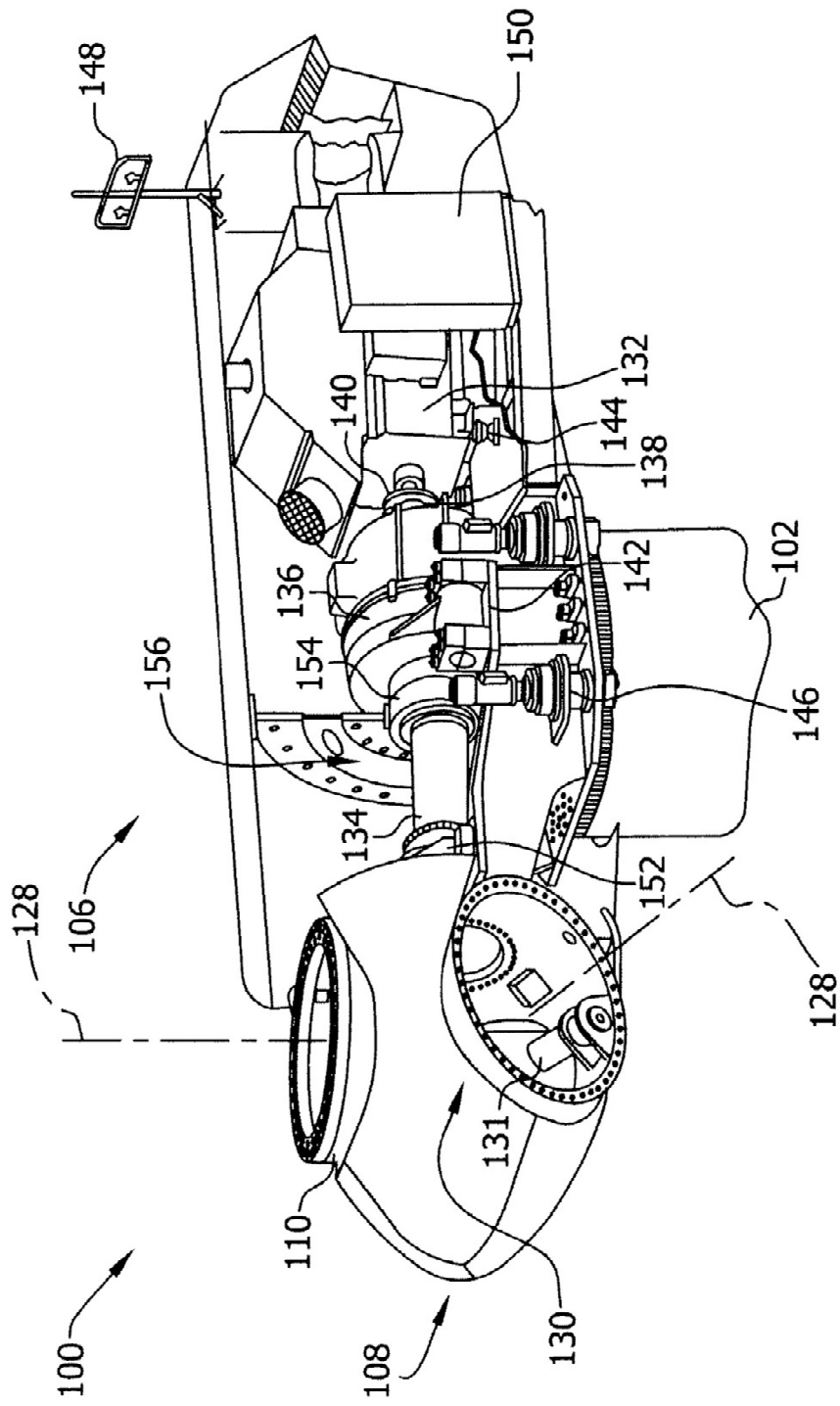


FIG. 2

FIG. 3

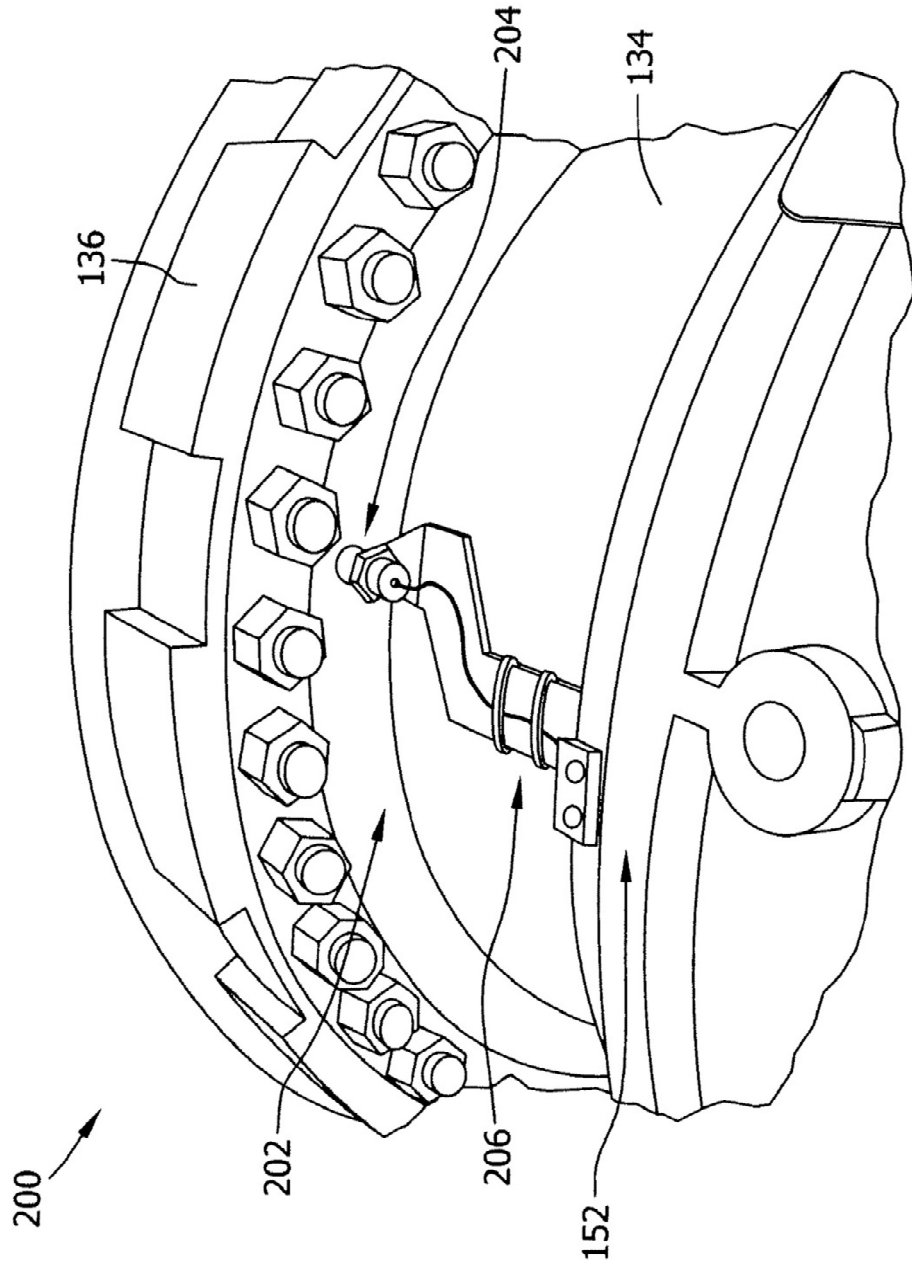


FIG. 5

