

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 966 541**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.07.2019** **E 19186805 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2023** **EP 3597905**

54 Título: **Sistema y procedimiento para detectar un fallo de *pitch* en una turbina eólica por medio de monitorización de voltaje, corriente, par de torsión o fuerza**

30 Prioridad:

17.07.2018 US 201816037458

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.04.2024

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,
S.L. (100.0%)
Calle Roc Boronat 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**DANIELSEN, DARREN JOHN y
VERZELLA, PHILIP JAMES**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 966 541 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

Sistema y procedimiento para detectar un fallo de *pitch* en una turbina eólica por medio de monitorización de voltaje, corriente, par de torsión o fuerza

5

Campo

[0001] La presente divulgación se refiere, en general, a turbinas eólicas, y, más en particular, a sistemas y procedimientos para reducir cargas de turbina eólica al orientarse fuera del viento en base a la detección de palas atascadas.

10

Antecedentes

[0002] La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medioambiente disponibles en la actualidad, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna típicamente incluye una torre, un generador, una multiplicadora, una góndola, y un rotor que incluye una o más palas de rotor. Las palas de rotor capturan la energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos y transmiten la energía cinética a través de energía de rotación para hacer girar un eje que acopla las palas de rotor a una multiplicadora, o si no se usa una multiplicadora, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica que se puede distribuir en una red de suministro.

15

20

[0003] Durante la operación, la dirección del viento que propulsa la turbina eólica puede cambiar. La turbina eólica, por tanto, puede ajustar la góndola a través de, por ejemplo, un ajuste de orientación alrededor de un eje longitudinal de la torre para mantener la alineación con la dirección del viento. Además, cuando la turbina eólica está estacionaria o inactiva, las estrategias de control convencionales incluyen activamente realizar un seguimiento de la dirección del viento para proporcionar una mejor alineación con la dirección del viento para minimizar los retardos de arranque cuando la velocidad del viento se incrementa o disminuye de nuevo en el intervalo operativo.

25

[0004] Sin embargo, en una situación donde la turbina eólica tiene fallo y una de las palas de rotor se atasca (a diferencia de la situación inactiva normal) existen beneficios limitados a la realización de un seguimiento del viento, ya que se necesita reparación antes de reiniciar la turbina eólica. Además, en dichas situaciones, la turbina eólica puede experimentar cargas incrementadas debidas a la pala de rotor atascada, así como al desequilibrio del rotor.

30

[0005] En consecuencia, se desean sistemas y procedimientos mejorados para reducir cargas durante un estado inactivo ("*idling*") o estacionario de una turbina eólica. En particular, la presente divulgación se dirige a sistemas y procedimientos que activamente orientan la góndola de la turbina eólica fuera del viento cuando la turbina eólica está inactiva o estacionaria y una de las palas de rotor está atascada para reducir cargas durante esta situación. El documento US2009/0081041A1 describe un procedimiento para controlar una central de energía eólica.

35

40

Breve descripción

[0006] Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden ser evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la invención.

45

[0007] En un aspecto, la presente descripción se dirige a un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 para reducir cargas de una turbina eólica. El procedimiento incluye determinar, por medio de un controlador, un estado operativo de la turbina eólica. El procedimiento también incluye consignar, por medio del controlador, un evento de *pitch* predeterminado. Además, el procedimiento incluye monitorizar, por medio del controlador, al menos una condición operativa de un mecanismo de accionamiento de *pitch* de una pala de rotor de la turbina eólica durante el evento de *pitch* predeterminado. Si el estado operativo corresponde a un estado operativo predeterminado y la(s) condición/condiciones operativa(s) sigue(n) un patrón de fallo de *pitch* durante el evento de *pitch* predeterminado, el procedimiento también puede incluir orientar una góndola de la turbina eólica alejándola de una dirección del viento entrante.

50

55

[0008] En un modo de realización, la etapa de monitorizar la(s) condición/condiciones operativa(s) del mecanismo de accionamiento de *pitch* de la pala de rotor puede incluir monitorizar al menos una condición operativa de un accionador de *pitch* del mecanismo de accionamiento de *pitch*. En dichos modos de realización, el accionador de *pitch* puede incluir un accionador rotatorio, un accionador lineal o cualquier otro dispositivo de accionamiento adecuado.

60

[0009] En otro modo de realización, el evento de *pitch* predeterminado puede incluir una aceleración a una primera velocidad, permanencia a una velocidad predeterminada durante un periodo de tiempo predeterminado y/o desaceleración a una segunda velocidad. En otro modo de realización, una tasa de aceleración de la aceleración puede requerir completa corriente de motor del accionador rotatorio o fuerza de accionador del accionador lineal.

65

[0010] En otros modos de realización, la(s) condición/condiciones operativa(s) puede(n) incluir voltaje, corriente, par de torsión, fuerza, presión, caudal o cualquier otro parámetro adecuado del mecanismo de accionamiento de *pitch*. En varios modos de realización, el estado operativo predeterminado de la turbina eólica puede incluir un estado inactivo, un estado estacionario, parada de la turbina o un estado de mantenimiento.

[0011] De acuerdo con la invención, el patrón de fallo de *pitch* corresponde a que una o más de las condiciones operativas permanezcan sustancialmente constantes después de la variación inicial debida al cumplimiento del sistema durante el evento de *pitch* predeterminado en una primera dirección y a que una o más condiciones operativas sean sustancialmente simétricas para un evento de *pitch* idéntico en una dirección opuesta.

[0012] En modos de realización adicionales, el procedimiento puede incluir evitar que un rotor de la turbina eólica rote durante el evento de *pitch* predeterminado. Aún en otro modo de realización, el procedimiento puede incluir monitorizar una velocidad del viento en la turbina eólica y activamente orientar la góndola de la turbina eólica alejándola de la dirección del viento entrante solo si la velocidad del viento excede un umbral de velocidad del viento establecido.

[0013] En otro aspecto, la presente divulgación se dirige a un sistema de acuerdo con la reivindicación 10 para reducir cargas de una turbina eólica. El sistema incluye al menos un sensor configurado para monitorizar una pala de rotor de la turbina eólica y un controlador comunicativamente acoplado con el/los sensor(es). El controlador incluye al menos un procesador configurado para realizar una o más operaciones, incluyendo, pero sin limitarse a, determinar un estado operativo de la turbina eólica, consignar un evento de *pitch* predeterminado, monitorizar al menos una condición operativa de un mecanismo de accionamiento de *pitch* de una pala de rotor de la turbina eólica durante el evento de *pitch* predeterminado, y, si el estado operativo corresponde a un estado operativo predeterminado y la(s) condición/condiciones operativa(s) sigue(n) un patrón de fallo de *pitch* durante el evento de *pitch* predeterminado, orientar una góndola de la turbina eólica alejándola de una dirección del viento entrante. También se debe entender que el sistema puede incluir además cualquiera de los rasgos característicos adicionales como se describe en el presente documento.

[0014] Aún en otro aspecto, la presente divulgación se dirige a un procedimiento para reducir cargas de una turbina eólica. El procedimiento incluye consignar, por medio de un controlador, un evento de *pitch* predeterminado. El procedimiento también incluye monitorizar, por medio del controlador, al menos una condición operativa de un mecanismo de accionamiento de *pitch* de una pala de rotor de la turbina eólica durante el evento de *pitch* predeterminado. Si la(s) condición/condiciones operativa(s) varía(n) de un patrón operativo estándar durante el evento de *pitch* predeterminado, el procedimiento incluye además orientar una góndola de la turbina eólica alejándola de una dirección del viento entrante.

[0015] En un modo de realización, el patrón operativo estándar puede corresponder a una primera condición operativa del mecanismo de accionamiento de *pitch* que sea proporcional a una velocidad consignada del mecanismo de accionamiento de *pitch* y una segunda condición operativa que alcance un valor máximo durante la aceleración y alcance una meseta en un valor menor durante la velocidad constante. La primera condición operativa incluye voltaje, mientras que la segunda condición operativa incluye al menos uno de corriente, fuerza, par de torsión o presión. También se debe entender que el procedimiento puede incluir además cualquiera de los rasgos característicos y/o etapas adicionales como se describe en el presente documento.

[0016] Estos y otros rasgos característicos, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

Breve descripción de los dibujos

[0017] Una divulgación completa y suficiente de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, se expone en la memoria descriptiva, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de una turbina eólica de acuerdo con un modo de realización de la presente divulgación;

la FIG. 2 ilustra una vista interna en perspectiva de una góndola de una turbina eólica de acuerdo con un modo de realización de la presente divulgación;

la FIG. 3 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de componentes adecuados que se pueden incluir en un controlador de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 4 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para reducir cargas de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 5 ilustra un gráfico de un modo de realización de la relación entre velocidad de *pitch*, corriente y voltaje durante un evento de *pitch* consignado para una turbina eólica que tiene una pala de rotor atascada de acuerdo con la presente divulgación;

5 la FIG. 6 ilustra un gráfico de un modo de realización de la relación entre velocidad de *pitch*, corriente y voltaje durante un evento de *pitch* consignado para una turbina eólica normal suponiendo una carga de rotor asimétrica de acuerdo con la presente divulgación;

10 la FIG. 7 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para reducir cargas de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación; y

15 la FIG. 8 ilustra un gráfico de un modo de realización de la relación entre velocidad de *pitch*, corriente y voltaje durante un evento de *pitch* consignado para una turbina eólica normal suponiendo una carga de rotor simétrica de acuerdo con la presente divulgación.

Descripción detallada

20 **[0018]** Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, ilustrándose uno o más de sus ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención.

25 **[0019]** En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica 10 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, la turbina eólica 10 incluye una torre 12 que se extiende desde una superficie de soporte 14, una góndola 16 montada en la torre 12 y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje 20 rotatorio y al menos una pala de rotor 22 acoplada a y que se extiende hacia afuera desde el buje 20. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el rotor 18 incluye tres palas de rotor 22. Sin embargo, en un modo de realización alternativo, el rotor 18 puede incluir más o menos de tres palas de rotor 22. Cada pala de rotor 22 se puede espaciar alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para posibilitar que la energía cinética se transfiera, a partir del viento, en energía mecánica utilizable y, posteriormente, en energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 20 se puede acoplar de forma rotatoria a un generador eléctrico 24 (FIG. 2) situado dentro de la góndola 16 para permitir que se produzca energía eléctrica.

35 **[0020]** En referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra una vista interna simplificada de un modo de realización de la góndola 16 de la turbina eólica 10. Como se muestra, se puede disponer un generador 24 dentro de la góndola 16. En general, el generador 24 se puede acoplar al rotor 18 de la turbina eólica 10 para generar potencia eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 18. Por ejemplo, el rotor 18 puede incluir un eje principal 40 acoplado al buje 20 para su rotación con el mismo. A continuación, el generador 24 se puede acoplar al eje principal 40 de modo que la rotación del eje principal 40 accione el generador 24. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el generador 24 incluye un eje de generador 42 acoplado de forma rotatoria al eje principal 40 a través de una multiplicadora 44. Sin embargo, en otros modos de realización, se debe apreciar que el eje de generador 42 se puede acoplar de forma rotatoria directamente al eje principal 40. De forma alternativa, el generador 24 se puede acoplar de forma rotatoria directamente al eje principal 40.

45 **[0021]** Se debe apreciar que el eje principal 40 se puede soportar, en general, dentro de la góndola 16 por un bastidor de soporte o bancada 46 situado encima de la torre de turbina eólica 12. Por ejemplo, el eje principal 40 se puede soportar por la bancada 46 por medio de un par de cojinetes de apoyo montados en la bancada 46.

50 **[0022]** Como se muestra en las FIGS. 1 y 2, la turbina eólica 10 también puede incluir un sistema de control de turbina o un controlador de turbina 26 dentro de la góndola 16. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 2, el controlador de turbina 26 está dispuesto dentro de un armario de control 52 montado en una parte de la góndola 16. Sin embargo, se debe apreciar que el controlador de turbina 26 se puede disponer en cualquier localización sobre o en la turbina eólica 10, en cualquier localización en la superficie de soporte 14 o, en general, en cualquier otra localización. El controlador de turbina 26 se puede configurar, en general, para controlar los diversos modos operativos (por ejemplo, secuencias de arranque o parada) y/o componentes de la turbina eólica 10.

55 **[0023]** Además, como se muestra en la FIG. 2, se pueden proporcionar uno o más sensores 57, 58 en la turbina eólica 10. Más específicamente, como se muestra, se puede configurar un sensor de pala 57 con una o más de las palas de rotor 22 para monitorizar las palas de rotor 22. También se debe apreciar que, como se usa en el presente documento, el término "monitorizar" y variaciones del mismo indican que los diversos sensores de la turbina eólica 10 se pueden configurar para proporcionar una medición directa de los parámetros que se monitorizan o una medición indirecta de dichos parámetros. Por tanto, se pueden usar los sensores descritos en el presente documento, por ejemplo, para generar señales en relación con el parámetro que se monitoriza, que, a continuación, se puede utilizar por el controlador 26 para determinar la condición.

65

[0024] Además, como se muestra, puede estar provisto un sensor de viento 58 en la turbina eólica 10. El sensor de viento 58, que puede ser, por ejemplo, una veleta, y anemómetro, y sensor LIDAR, u otro sensor adecuado, puede medir la velocidad y dirección del viento. Como tales, los sensores 57, 58 pueden estar además en comunicación con el controlador 26, y pueden proporcionar información relacionada al controlador 26. Por ejemplo, se puede producir la orientación de la turbina eólica 10 debido a la detección de cambios en la dirección del viento 28, para mantener la alineación de la turbina eólica 10 con la dirección del viento 28. Además, se puede producir la orientación de la turbina eólica 10 debido a la detección de una pala atascada, lo que se describe con más detalle en el presente documento.

[0025] Además, el controlador de turbina 26 también se puede acoplar comunicativamente a diversos componentes de la turbina eólica 10 para controlar, en general, la turbina eólica 10 y/o dichos componentes. Por ejemplo, el controlador de turbina 26 se puede acoplar comunicativamente al/a los mecanismo(s) de accionamiento de orientación 38 de la turbina eólica 10 para controlar y/o alterar la dirección de orientación de la góndola 16 en relación con la dirección 28 (FIG. 1) del viento. Además, a medida que cambia la dirección 28 del viento, el controlador de turbina 26 se puede configurar para controlar un ángulo de orientación de la góndola 16 alrededor de un eje de orientación 36 para situar las palas de rotor 22 con respecto a la dirección del viento 28, controlando, de este modo, las cargas que actúan sobre la turbina eólica 10. Por ejemplo, el controlador de turbina 26 se puede configurar para transmitir consignas/señales de control a un mecanismo de accionamiento de orientación 38 (FIG. 2) de la turbina eólica 10, por medio de un controlador de orientación o transmisión directa, de modo que la góndola 16 se pueda rotar alrededor del eje de orientación 36 por medio de un rodamiento de orientación 56.

[0026] Todavía en referencia a la FIG. 2, cada pala de rotor 22 también puede incluir un mecanismo de ajuste de *pitch* 32 configurado para rotar cada pala de rotor 22 alrededor de su eje de *pitch* 34. El mecanismo de ajuste de *pitch* 32 descrito en el presente documento puede incluir un sistema de accionador rotatorio y/o un sistema de accionador lineal (tal como sistemas hidráulicos, neumáticos o eléctricos). Además, cada mecanismo de ajuste de *pitch* 32 puede incluir un motor de accionamiento de *pitch* 33 (por ejemplo, cualquier motor eléctrico, hidráulico o neumático adecuado), una reductora de accionamiento de *pitch* 35 y un piñón de accionamiento de *pitch* 37. En dichos modos de realización, el motor de accionamiento de *pitch* 33 se puede acoplar a la reductora de accionamiento de *pitch* 35 de modo que el motor de accionamiento de *pitch* 33 confiera fuerza mecánica a la reductora de accionamiento de *pitch* 35. De forma similar, la reductora de accionamiento de *pitch* 35 se puede acoplar al piñón de accionamiento de *pitch* 37 para su rotación con el mismo. El piñón de accionamiento de *pitch* 37, a su vez, se puede engranar en rotación con un rodamiento de *pitch* 54 acoplado entre el buje 20 y una pala de rotor 22 correspondiente de modo que la rotación del piñón de accionamiento de *pitch* 37 provoque la rotación del rodamiento de *pitch* 54. Por tanto, en dichos modos de realización, la rotación del motor de accionamiento de *pitch* 33 acciona la reductora de accionamiento de *pitch* 35 y el piñón de accionamiento de *pitch* 37, rotando, de este modo, el rodamiento de *pitch* 54 y la pala de rotor 22 alrededor del eje de *pitch* 34.

[0027] Como tal, el controlador de turbina 26 también se puede acoplar comunicativamente a cada mecanismo de ajuste de *pitch* 32 de la turbina eólica 10 (uno de los cuales se muestra) a través de un controlador de *pitch* 30 para controlar y/o alterar el ángulo de *pitch* de las palas de rotor 22 (es decir, un ángulo que determina una perspectiva de las palas de rotor 22 con respecto a la dirección 28 del viento). Por ejemplo, el controlador de turbina 26 y/o el controlador de *pitch* 30 se pueden configurar para transmitir una consigna/señal de control a cada mecanismo de ajuste de *pitch* 32 de modo que el/los mecanismo(s) de ajuste de *pitch* 32 ajuste(n) el ángulo de *pitch* de las palas de rotor 22 como se describe en el presente documento. El controlador de turbina 26 puede controlar el ángulo de *pitch* de las palas de rotor 22, de forma individual o bien simultánea, transmitiendo consignas/señales de control adecuadas a un controlador de *pitch* de la turbina eólica 10, que se puede configurar para controlar la operación de una pluralidad de accionamientos de *pitch* o mecanismos de ajuste de *pitch* 32 de la turbina eólica, o controlando directamente la operación de la pluralidad de accionamientos de *pitch* o mecanismos de ajuste de *pitch*.

[0028] Además, como se muestra, el/los mecanismo(s) de accionamiento de *pitch* 32 descrito(s) en el presente documento también puede(n) incluir un codificador 59 comunicativamente acoplado al controlador de *pitch* 30 y/o al controlador de turbina 26. En un modo de realización, el codificador 59 puede ser un codificador incremental que proporcione señales de codificador para la entrada a los controladores 26, 30 por medio de una o más interfaces de E/S (no mostradas). En consecuencia, el codificador de *pitch* 59 puede estar en comunicación con el controlador de turbina 26 para producir señales de velocidad representativas de la velocidad angular de *pitch* de la pala de rotor 22.

[0029] En referencia ahora a la FIG. 3, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de componentes adecuados que se pueden incluir dentro del controlador 26 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, el controlador 26 puede incluir uno o más procesadores 60 y dispositivo(s) de memoria 62 asociado(s) configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizando los procedimientos, etapas, cálculos y similares y almacenando datos pertinentes como se divulga en el presente documento). Adicionalmente, el controlador 26 también puede incluir un módulo de comunicaciones 64 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 26 y los diversos componentes de la turbina eólica 10. Además, el módulo de comunicaciones 64 puede incluir una interfaz de sensor 66 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores 57, 58, 59 se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 60. Se debe apreciar que los sensores 57, 58, 59

se pueden acoplar comunicativamente al módulo de comunicaciones 64 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 3, los sensores 57, 58, 59 están acoplados a la interfaz de sensor 66 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, los sensores 57, 58, 59 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 66 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica.

[0030] Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como que se incluyen en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de aplicación y otros circuitos programables. Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 62 puede(n) comprender, en general, elemento(s) de memoria, que incluye(n), pero sin limitarse a, medio legible por ordenador (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM)), medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disquete, una memoria de solo lectura en disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 62 puede(n) estar configurado(s), en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 60, configuran el controlador 26 para que realice diversas funciones que incluyen, pero sin limitarse a, transmitir señales de control adecuadas para implementar una o más acciones correctivas en respuesta a una señal de distancia que excede un umbral predeterminado como se describe en el presente documento, así como otras diversas funciones adecuadas implementadas por ordenador.

[0031] Como se analiza anteriormente, una turbina eólica 10, tal como la góndola 16 de la misma, puede rotar alrededor del eje de orientación 36 según se requiera. En particular, se puede producir la rotación alrededor del eje de orientación 36 debido a cambios en la dirección del viento 28, de modo que el rotor 18 esté alineado con la dirección del viento 28. Por ejemplo, cuando la turbina eólica 10 está en un estado inactivo, el controlador 26 activamente realiza un seguimiento de la dirección del viento para proporcionar una mejor alineación con el viento y minimizar los retardos de arranque cuando la velocidad del viento se incrementa o disminuye de nuevo en el intervalo operativo. Sin embargo, en una situación donde la turbina eólica 10 está en un estado inactivo o estacionario y una o más de las palas de rotor 22 se atasca, existen beneficios limitados a la realización de un seguimiento del viento porque se requerirá reparación antes de reiniciar la turbina eólica 10. Por tanto, en dichas situaciones, el controlador de turbina 26 está configurado para implementar una estrategia de control para reducir la fuerza de arrastre en la pala de rotor con fallo para reducir cargas en la misma y/o para evitar el desequilibrio del rotor.

[0032] Más específicamente, como se muestra en la FIG. 4, un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 100 para reducir cargas de la turbina eólica 10 en situaciones donde la turbina eólica 10 está en un estado inactivo o estacionario y se evita que una o más de las palas de rotor 22 rote (es decir, se atasque). En general, el procedimiento 100 se describirá en el presente documento con referencia a la turbina eólica 10 mostrada en las FIGS. 1 y 2, así como los diversos componentes de controlador mostrados en la FIG. 3. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento 100 divulgado se puede implementar con turbinas eólicas que tengan cualquier otra configuración adecuada y/o dentro de sistemas que tengan cualquier otra configuración de sistema adecuada. Además, aunque la FIG. 4 representa las etapas realizadas en un orden particular con propósitos de ilustración y análisis, los procedimientos analizados en el presente documento no están limitados a ningún orden o disposición particular. Un experto en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, apreciará que diversas etapas de los procedimientos divulgados en el presente documento se pueden omitir, reorganizar, combinar y/o adaptar de diversos modos sin desviarse del alcance de la presente divulgación.

[0033] Como se muestra en 102, el procedimiento 100 incluye determinar un estado operativo de la turbina eólica 10. En dichos modos de realización, el estado operativo de la turbina eólica 10 puede ser un estado inactivo, un estado estacionario y/o un estado de mantenimiento o combinaciones de los mismos. Como se usa en el presente documento, el "estado inactivo" de la turbina eólica 10, en general, se refiere al estado operativo donde, debido a la falta de viento u otras condiciones operativas (por ejemplo, fallos), se deja que el buje 20 rotatorio de la turbina eólica 10 rote (es decir, esté inactivo) a bajas velocidades de rotación, por ejemplo, alrededor de 0,2 rpm, en lugar de detenerse por completo. Por el contrario, un "estado estacionario" de la turbina eólica 10, en general, se refiere al estado operativo donde el buje 20 rotatorio se detiene y se evita que rote. Además, un "estado de mantenimiento" de la turbina eólica 10, en general, se refiere al estado operativo donde la turbina eólica 10 está sometida a un procedimiento de mantenimiento y está parada. Por lo tanto, en determinados modos de realización, el estado de mantenimiento y el estado estacionario pueden ser sinónimos.

[0034] En referencia de nuevo a la FIG. 4, como se muestra en 104, el procedimiento 100 incluye consignar un evento de *pitch* predeterminado para el mecanismo de accionamiento de *pitch* 32 de la pala de rotor 22 de la turbina eólica 10. Por ejemplo, en un modo de realización, el evento de *pitch* predeterminado puede incluir una aceleración a una primera velocidad (por ejemplo, una aceleración rápida en una dirección), permanencia a una velocidad predeterminada durante un periodo de tiempo predeterminado (por ejemplo, un breve tiempo que puede incluir 0), y/o desaceleración a una segunda velocidad (por ejemplo, cero), y, a continuación, reflejar las etapas en la dirección opuesta. En dichos modos de realización, se puede elegir una tasa de aceleración de la aceleración que requiera

completa corriente de motor de accionamiento de *pitch* 33 o fuerza de accionador del dispositivo hidráulico de *pitch* durante la aceleración (es decir, aceleración alta). Además, puede que la velocidad superior consignada no requiera fuerza o par de torsión completo (es decir, la velocidad consignada puede ser una velocidad máxima relativamente baja). Todavía se pueden elegir otras tasas y velocidades de aceleración según se desee para optimizar el perfil de prueba del sistema.

[0035] Como se muestra en 106, el procedimiento 100 incluye monitorizar al menos una condición operativa del mecanismo de accionamiento de *pitch* 32 de la pala de rotor 22 de la turbina eólica 10 durante el evento de *pitch* predeterminado. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador 26 (o el controlador de *pitch* 30) se puede configurar para monitorizar al menos una condición operativa de un accionador de *pitch* 33 del mecanismo de accionamiento de *pitch* 32. Más específicamente, en dichos modos de realización, el accionador de *pitch* 33 puede incluir el motor de accionamiento de *pitch* descrito en el presente documento, un dispositivo hidráulico de *pitch* o cualquier otro dispositivo de accionamiento adecuado. Por tanto, la(s) condición/condiciones operativa(s) descrita(s) en el presente documento pueden incluir, por ejemplo, voltaje, corriente, par de torsión, fuerza, presión, caudal o cualquier otro parámetro adecuado del accionador de *pitch* del mecanismo de accionamiento de *pitch* 32.

[0036] Todavía en referencia a la FIG. 4, como se muestra en 108, el controlador 26 está configurado para determinar si el estado operativo corresponde al estado operativo predeterminado (por ejemplo, el estado inactivo). Si es así, como se muestra en 110, el controlador 26 también está configurado para determinar si la(s) condición/condiciones operativa(s) sigue(n) un patrón de fallo de *pitch* durante el evento de *pitch* predeterminado. Para un patrón operativo estándar, la(s) condición/condiciones operativa(s) variará(n) (típicamente de manera predecible) por todo el movimiento. Para situaciones en relación con mal funcionamiento del sistema de *pitch*, después de una variación inicial potencial debida al cumplimiento del sistema, la(s) condición/condiciones operativa(s) permanecerá(n) bastante constante(s) durante el resto del movimiento en esa dirección y serán, en su mayoría, simétricas para un movimiento idéntico en la dirección opuesta (si se realiza dicho movimiento). Más específicamente, en determinados modos de realización, para una pala de rotor atascada, el voltaje y/o flujo de fluido de motor típicamente serán muy bajos (es decir, posiblemente 0) en comparación con un movimiento normal. De forma similar, para una pala atascada, la corriente, fuerza y/o presión del fluido/sistema de motor serán altas (por ejemplo, típicamente en el máximo permitido por el sistema) en comparación con un movimiento normal).

[0037] En modos de realización particulares, por ejemplo, el patrón de fallo de *pitch* puede corresponder a una primera condición operativa del mecanismo de accionamiento de *pitch* 32 que alcanza una meseta al inicio del evento de *pitch* predeterminado y una segunda condición operativa que alcanza un valor máximo para todo el evento de *pitch* predeterminado tanto en una dirección positiva como en una dirección negativa. En dichos modos de realización, la primera condición operativa puede ser voltaje, mientras que la segunda condición operativa puede ser corriente, fuerza o presión (es decir, dependiendo del tipo de accionador de *pitch*).

[0038] Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 5, se ilustra un gráfico de un modo de realización de un patrón de fallo de *pitch* de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, el patrón de fallo de *pitch* de ejemplo incluye la relación de voltaje, la corriente y la consigna de velocidad de *pitch*. El voltaje en el gráfico de ejemplo es fuerza (contra)electromotriz (EMF) del motor y se puede medir directa o indirectamente. En consecuencia, como se muestra, el voltaje rápidamente alcanza una meseta debido a que no hay ninguna fuerza contraelectromotriz del motor de accionamiento de *pitch* 33 (es decir, puesto que el motor no está rotando). Además, como se muestra, la corriente (o fuerza o presión hidráulica si se usa un dispositivo hidráulico) alcanza su valor máximo durante todo el movimiento consignado tanto en la dirección positiva como negativa.

[0039] En referencia de nuevo a la FIG. 4, si, durante el evento de *pitch* predeterminado, el estado operativo corresponde al estado operativo predeterminado y la(s) condición/condiciones operativa(s) sigue(n) el patrón de fallo de *pitch*, como se muestra en 112, el controlador 26 está configurado para orientar la góndola 16 de la turbina eólica 10 alejándola de una dirección del viento entrante 28. En un modo de realización, por ejemplo, durante el estado inactivo, el controlador 26 se puede configurar para automáticamente orientar la góndola 16 alejándola de la dirección del viento entrante 28. En modos de realización alternativos, por ejemplo, durante el estado de mantenimiento, un usuario puede seleccionar manualmente orientar la góndola 16 alejándola de la dirección del viento entrante. En consecuencia, orientar la góndola 16 fuera del viento en estas situaciones proporciona una reducción de cargas sustancial. En otro modo de realización, el procedimiento 100 también puede incluir monitorizar la velocidad del viento en la turbina eólica 10, por ejemplo, por medio del sensor de viento 58, y activamente orientar la góndola 16 de la turbina eólica alejándola de la dirección del viento entrante si la velocidad del viento excede un umbral de velocidad del viento establecido.

[0040] En modos de realización adicionales, el procedimiento 100 puede incluir evitar que el rotor 18 rote durante el evento de *pitch* predeterminado. Por ejemplo, durante la operación normal de la turbina eólica 10, la carga variará naturalmente durante la rotación del rotor. Por este motivo, el sistema y procedimiento de la presente divulgación pueden considerar la localización del rotor durante el evento de *pitch* consignado y/o pueden detener la rotación del rotor 18 para evitar que la carga asimétrica cambie durante el evento de *pitch* consignado. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador 26 puede limitar el evento de *pitch* consignado para que sea lo suficientemente breve en duración de modo que el cambio de carga debido a la rotación del rotor pueda ser mínimo.

[0041] En referencia ahora a la FIG. 6, se ilustra un gráfico de un modo de realización de la relación entre velocidad de *pitch*, corriente y voltaje durante un evento de *pitch* consignado para una turbina eólica normal suponiendo una carga de rotor asimétrica (es decir, la gravedad afecta la carga, por ejemplo, la pala de rotor 22 no está en vertical) de acuerdo con la presente divulgación. En dichos casos, como se muestra, el voltaje es, en su mayoría, proporcional a la velocidad consignada. Además, como se muestra, la corriente (o fuerza o presión hidráulica) alcanza un valor máximo durante la aceleración (que puede ser lineal, no lineal, una respuesta escalonada o una derivada de la aceleración) y puede permanecer en el valor máximo durante la velocidad constante en una dirección. Por el contrario, en la dirección opuesta, como se muestra, puede que la corriente (o fuerza o presión hidráulica) no alcance el valor máximo durante la aceleración y puede que alcance una meseta en un valor significativamente menor durante la velocidad constante.

[0042] También se debe entender que, si la turbina eólica 10 continúa operando normalmente, el controlador 26 está configurado para monitorizar continuamente la dirección del viento entrante 28 y orientar la góndola 16 en la dirección del viento entrante 28 para proporcionar una alineación mejorada con el viento con retardos de arranque mínimos cuando la velocidad del viento se incrementa o disminuye de nuevo en el intervalo de operación.

[0043] En referencia ahora a la FIG. 7, un diagrama de flujo de otro modo de realización de un procedimiento 200 para reducir cargas de la turbina eólica 10 en situaciones donde la turbina eólica 10 está en un estado inactivo o estacionario y se evita que una o más de las palas de rotor 22 rote (es decir, se atasque). En general, el procedimiento 100 se describirá en el presente documento con referencia a la turbina eólica 10 mostrada en las FIGS. 1 y 2, así como los diversos componentes de controlador mostrados en la FIG. 3. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento 100 divulgado se puede implementar con turbinas eólicas que tengan cualquier otra configuración adecuada y/o dentro de sistemas que tengan cualquier otra configuración de sistema adecuada. Además, aunque la FIG. 7 representa las etapas realizadas en un orden particular con propósitos de ilustración y análisis, los procedimientos analizados en el presente documento no están limitados a ningún orden o disposición particular. Un experto en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, apreciará que diversas etapas de los procedimientos divulgados en el presente documento se pueden omitir, reorganizar, combinar y/o adaptar de diversos modos sin desviarse del alcance de la presente divulgación.

[0044] Como se muestra en 202, el procedimiento 200 incluye consignar un evento de *pitch* predeterminado, tal como cualquiera de los eventos de *pitch* descritos en el presente documento. Como se muestra en 204, el procedimiento 200 incluye monitorizar al menos una condición operativa del mecanismo de accionamiento de *pitch* 32 de la pala de rotor 22 de la turbina eólica 10 durante el evento de *pitch* predeterminado. Por ejemplo, como se menciona, el controlador 26 (o el controlador de *pitch* 30) se puede configurar para monitorizar (una) condición/condiciones operativa(s) de un accionador de *pitch* 33 del mecanismo de accionamiento de *pitch* 32, tal como voltaje, corriente, par de torsión, fuerza, presión, caudal o cualquier otro parámetro adecuado del mismo.

[0045] Todavía en referencia a la FIG. 7, como se muestra en 206, el controlador 26 está configurado para determinar si la(s) condición/condiciones operativa(s) varía(n) de un patrón operativo estándar durante el evento de *pitch* predeterminado. Como se usa en el presente documento, el patrón operativo estándar (es decir, suponiendo una carga de rotor simétrica) puede corresponder a una primera condición operativa del mecanismo de accionamiento de *pitch* 32 que sea proporcional a una velocidad consignada del mecanismo de accionamiento de *pitch* 32 y una segunda condición operativa que alcance un valor máximo durante la aceleración y alcance de una meseta en un valor menor durante la velocidad constante. Por ejemplo, la primera condición operativa puede incluir voltaje, mientras que la segunda condición operativa puede incluir al menos una de corriente, fuerza o presión.

[0046] En referencia, en particular, a la FIG. 8, un gráfico de un modo de realización de la relación entre velocidad de *pitch*, corriente y voltaje durante un evento de *pitch* consignado para una turbina eólica normal suponiendo una carga de rotor simétrica (es decir, la gravedad no afecta a la turbina eólica 10, por ejemplo, la pala de rotor 22 está en vertical) de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, el voltaje es, en su mayoría, proporcional a la velocidad consignada. Además, como se muestra, la corriente (o fuerza o presión hidráulica) alcanza un valor máximo durante la aceleración y alcanza una meseta en un valor menor durante la velocidad constante.

[0047] Como se muestra en 208, si la(s) condición/condiciones operativa(s) varía(n) del patrón operativo estándar durante el evento de *pitch* predeterminado en un porcentaje o cantidad predeterminado, el procedimiento 100 incluye además orientar la góndola 16 de la turbina eólica 10 alejándola de la dirección del viento entrante 28.

[0048] La presente invención se resume ahora en las siguientes reivindicaciones. En particular, si se describe un procedimiento o una etapa de procedimiento, el respectivo procedimiento o etapa de procedimiento se realiza preferentemente por el controlador. La presente invención se dirige a:

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (100) para reducir cargas de una turbina eólica (10), comprendiendo el procedimiento (100):
 - 5 determinar, por medio de un controlador (26), un estado operativo de la turbina eólica (10);
consignar, por medio del controlador (26), un evento de *pitch* predeterminado para un mecanismo de accionamiento de *pitch* (32) de una pala de rotor (22) de la turbina eólica (10);
10 monitorizar, por medio del controlador (26), al menos una condición operativa del mecanismo de accionamiento de *pitch* (32) de la pala de rotor (22) durante el evento de *pitch* predeterminado; y,
si el estado operativo corresponde a un estado operativo predeterminado y al menos una condición operativa sigue un patrón de fallo de *pitch* durante el evento de *pitch* predeterminado, orientar una góndola (16) de la turbina eólica (10) alejándola de una dirección del viento entrante;
15 **caracterizado por que**
el patrón de fallo de *pitch* comprende que una o más de las condiciones operativas permanezcan sustancialmente constantes después de la variación inicial debida al cumplimiento del sistema durante el evento de *pitch* predeterminado en una primera dirección y una o más condiciones operativas sean sustancialmente simétricas para un evento de *pitch* idéntico en una dirección opuesta.
2. El procedimiento (100) de la reivindicación 1, en el que monitorizar la al menos una condición operativa del mecanismo de accionamiento de *pitch* (32) de la pala de rotor (22) comprende además monitorizar al menos una condición operativa de un accionador de *pitch* (33) del mecanismo de accionamiento de *pitch* (32).
3. El procedimiento (100) de la reivindicación 2, en el que el accionador de *pitch* (33) comprende al menos uno de un accionador rotatorio o un accionador lineal.
4. El procedimiento (100) de la reivindicación 3, en el que el evento de *pitch* predeterminado comprende al menos una de aceleración a una primera velocidad, permanencia a una velocidad predeterminada durante un periodo de tiempo predeterminado y/o desaceleración a una segunda velocidad.
5. El procedimiento (100) de la reivindicación 4, en el que una tasa de aceleración de la aceleración requiere completa corriente de motor del accionador rotatorio o fuerza de accionador del accionador lineal.
6. El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la al menos una condición operativa comprende al menos uno de voltaje, corriente, par de torsión, fuerza, presión o caudal del mecanismo de accionamiento de *pitch* (32).
7. El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el estado operativo predeterminado de la turbina eólica (10) comprende al menos uno de un estado inactivo, un estado estacionario, parada de la turbina o un estado de mantenimiento.
8. El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además evitar que un rotor (18) de la turbina eólica (10) rote durante el evento de *pitch* predeterminado.
9. El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además monitorizar una velocidad del viento en la turbina eólica (10) y activamente orientar la góndola (16) de la turbina eólica (10) alejándola de la dirección del viento entrante solo si la velocidad del viento excede un umbral de velocidad del viento establecido.
10. Un sistema para reducir cargas de una turbina eólica (10), comprendiendo el sistema:
 - 55 al menos un sensor (57) configurado para monitorizar una pala de rotor (22) de la turbina eólica (10);
un controlador (26) comunicativamente acoplado al al menos un sensor, comprendiendo el controlador (26) al menos un procesador configurado para realizar una o más operaciones, comprendiendo las una o más operaciones:
60 determinar un estado operativo de la turbina eólica (10);
consignar un evento de *pitch* predeterminado;
monitorizar al menos una condición operativa de un mecanismo de accionamiento de *pitch* (32) de una pala de rotor (22) de la turbina eólica (10) durante el evento de *pitch* predeterminado; y,
si el estado operativo corresponde a un estado operativo predeterminado y la al menos una condición operativa sigue un patrón de fallo de *pitch* durante el evento de *pitch* predeterminado, orientar una góndola (16) de la turbina eólica (10) alejándola de una dirección del viento entrante;
65 **caracterizado por que**
el patrón de fallo de *pitch* comprende que una o más de las condiciones operativas permanezcan sustancialmente constantes después de la variación inicial debida al cumplimiento del sistema durante

el evento de *pitch* predeterminado en una primera dirección y que una o más condiciones operativas sean sustancialmente simétricas para un evento de *pitch* idéntico en una dirección opuesta.

- 5
11. El sistema de la reivindicación 10, en el que monitorizar la al menos una condición operativa del mecanismo de accionamiento de *pitch* (32) de la pala de rotor (22) comprende además monitorizar al menos una condición operativa de un accionador de *pitch* (33) del mecanismo de accionamiento de *pitch* (32).
- 10
12. El sistema de la reivindicación 11, en el que el accionador de *pitch* (33) comprende al menos uno de un accionador rotatorio o un accionador lineal, comprendiendo la al menos una condición operativa al menos uno de voltaje, corriente, par de torsión, fuerza, presión o caudal del mecanismo de accionamiento de *pitch* (32).
- 15
13. El sistema de la reivindicación 12, en el que el evento de *pitch* predeterminado comprende al menos una de aceleración a una primera velocidad, permanencia a una velocidad predeterminada durante un periodo de tiempo predeterminado y/o desaceleración a una segunda velocidad.
14. El sistema de la reivindicación 13, en el que una tasa de aceleración de la aceleración requiere completa corriente de motor del motor de accionamiento de *pitch* o fuerza de accionador del dispositivo hidráulico de *pitch*.

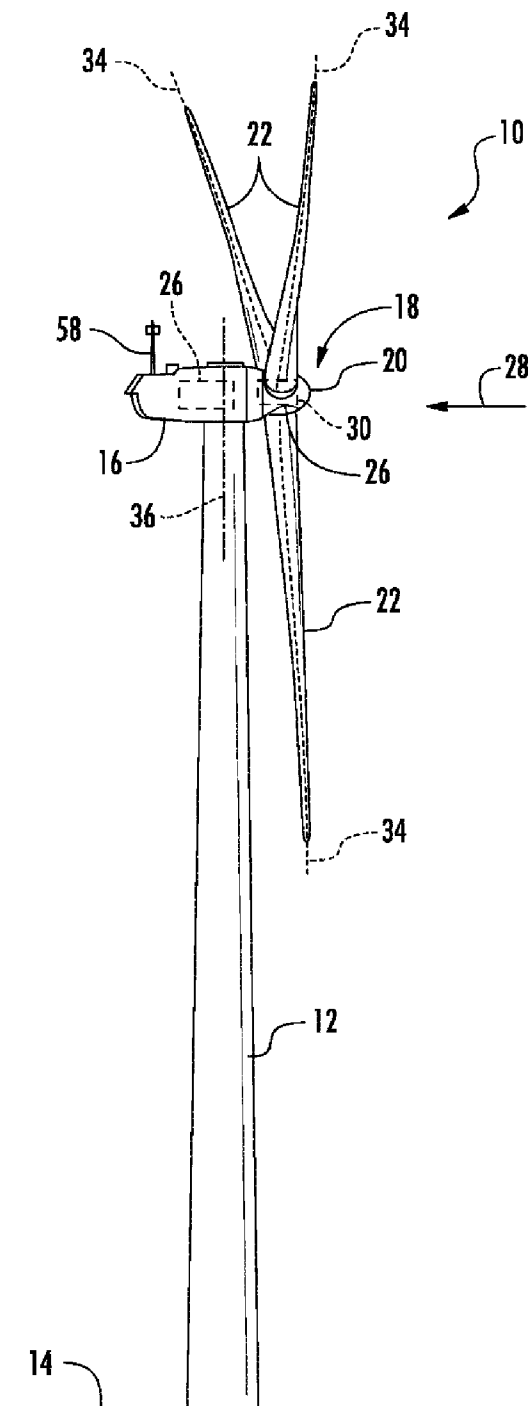


FIG. 1

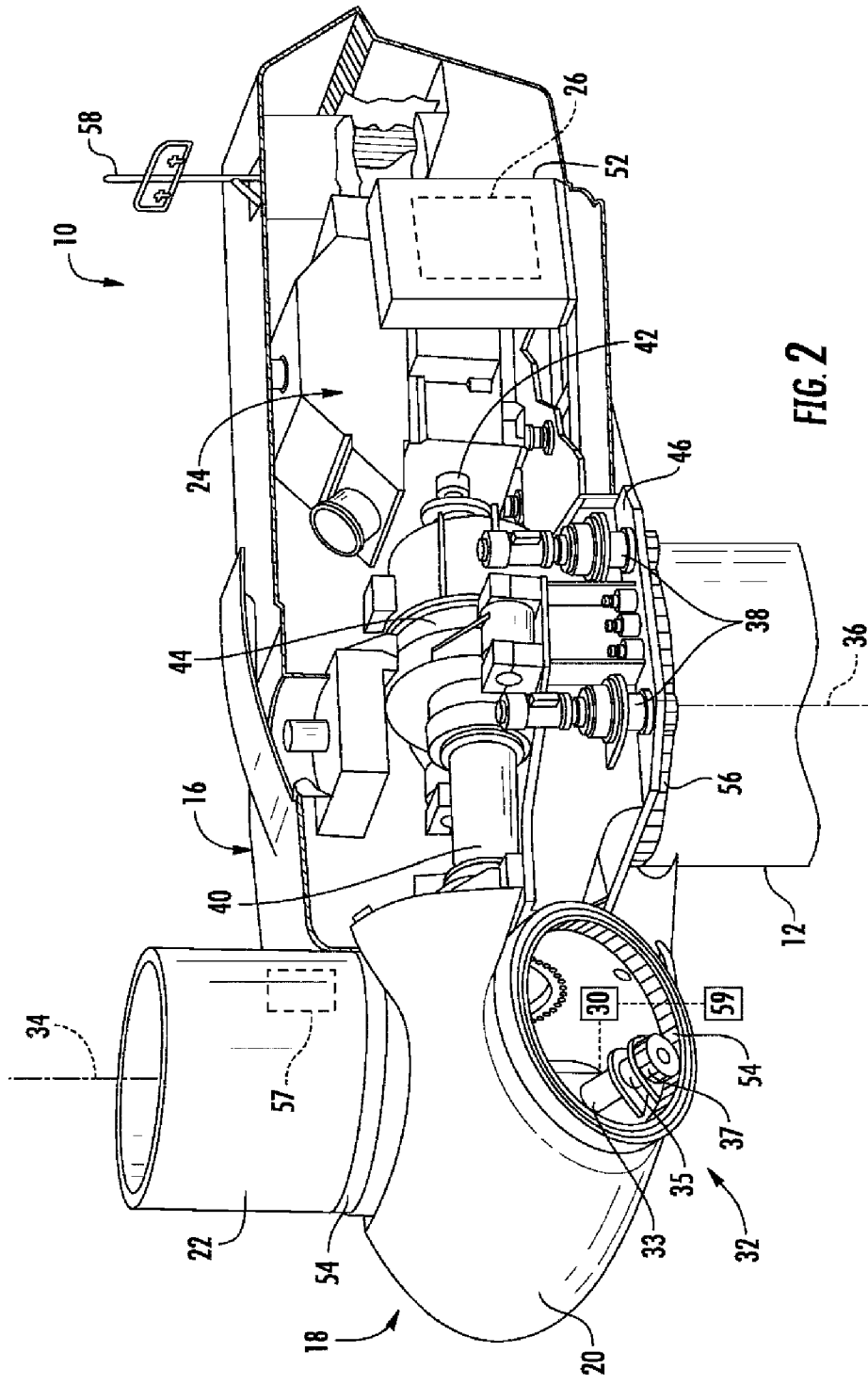


FIG. 2

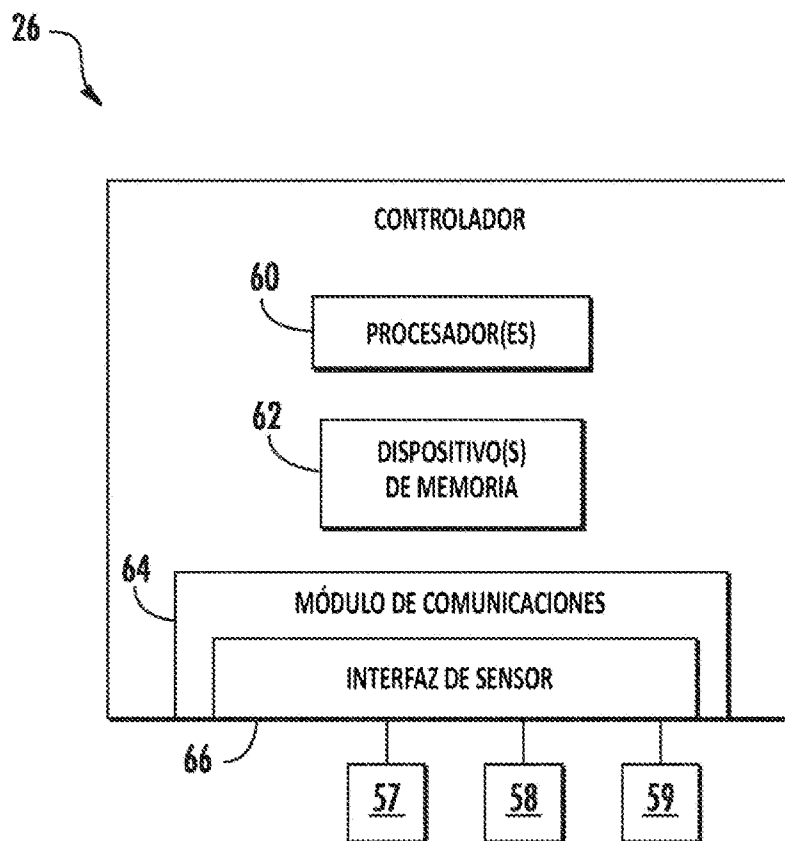


FIG. 3

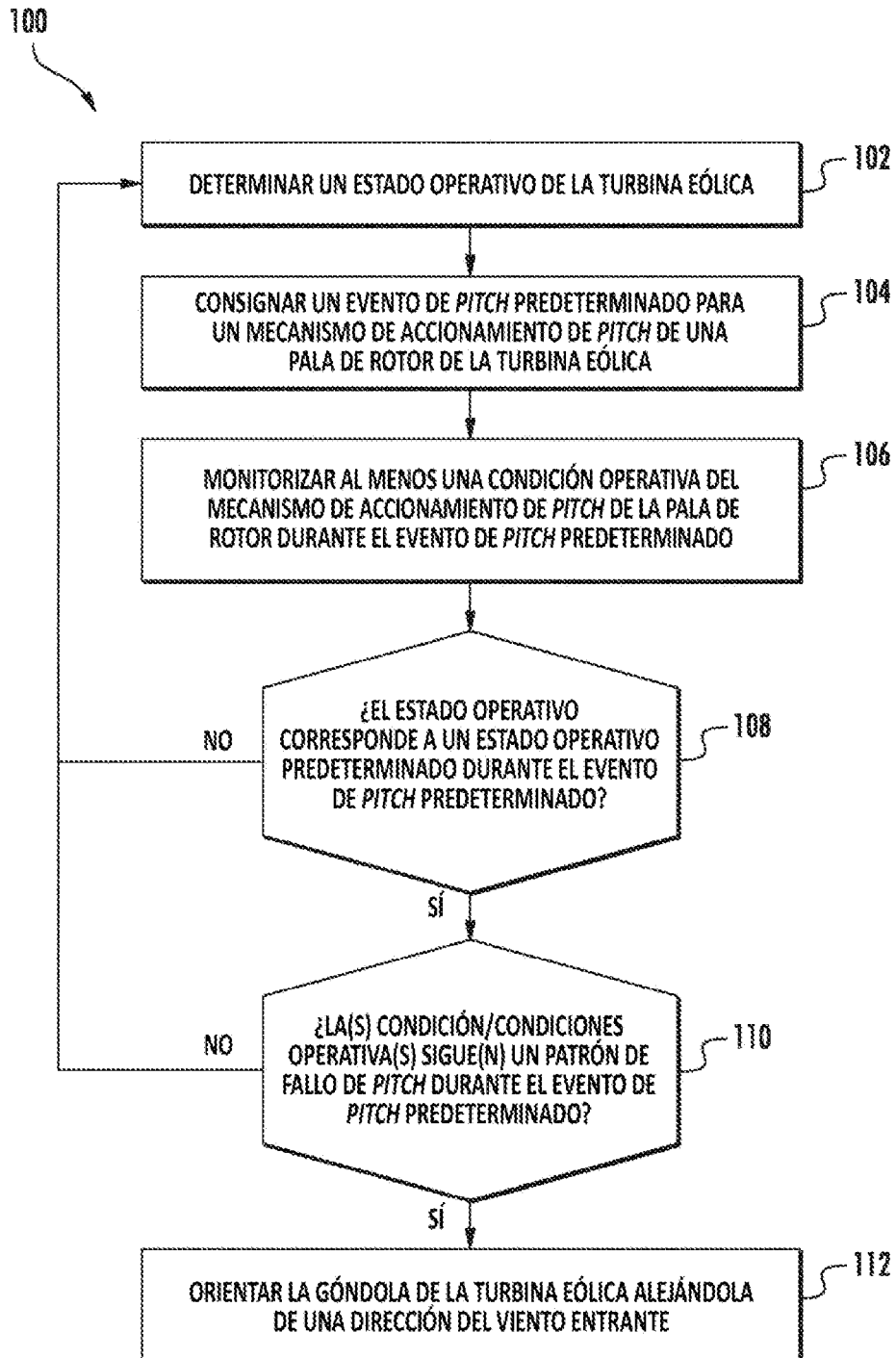


FIG. 4

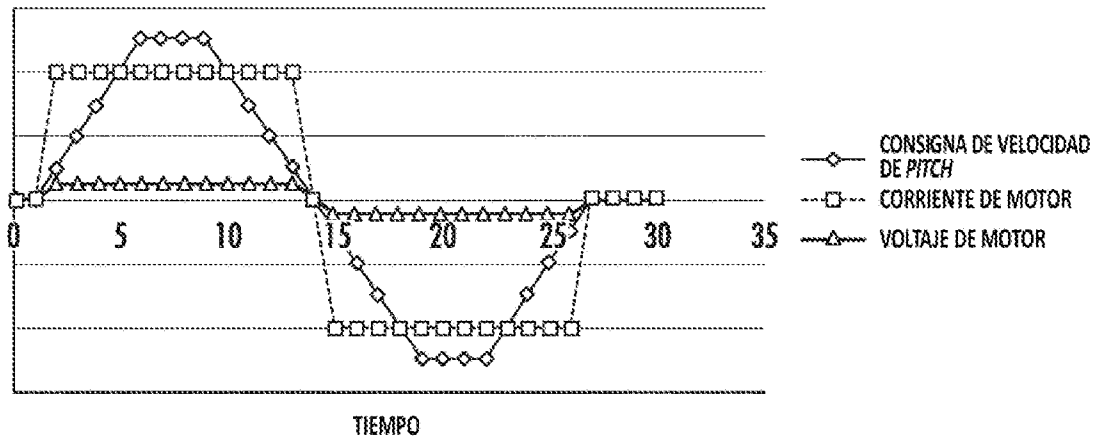


FIG. 5

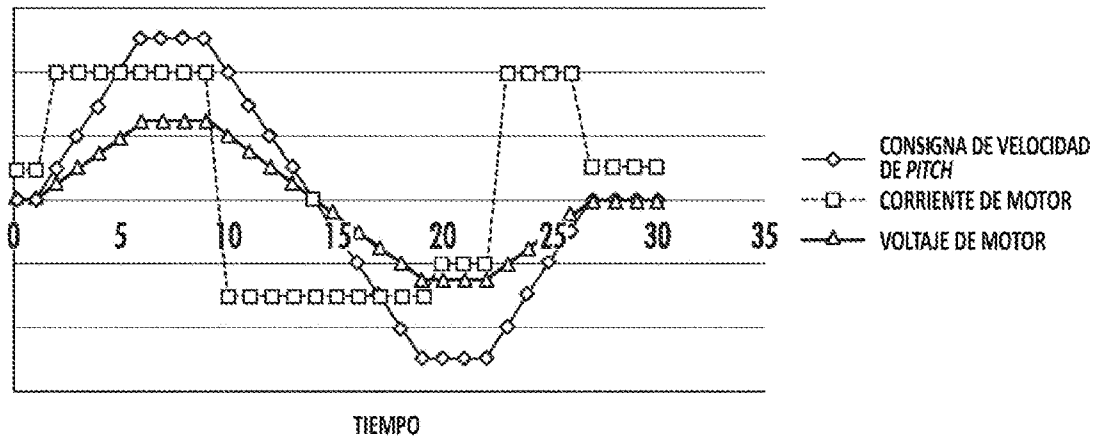


FIG. 6

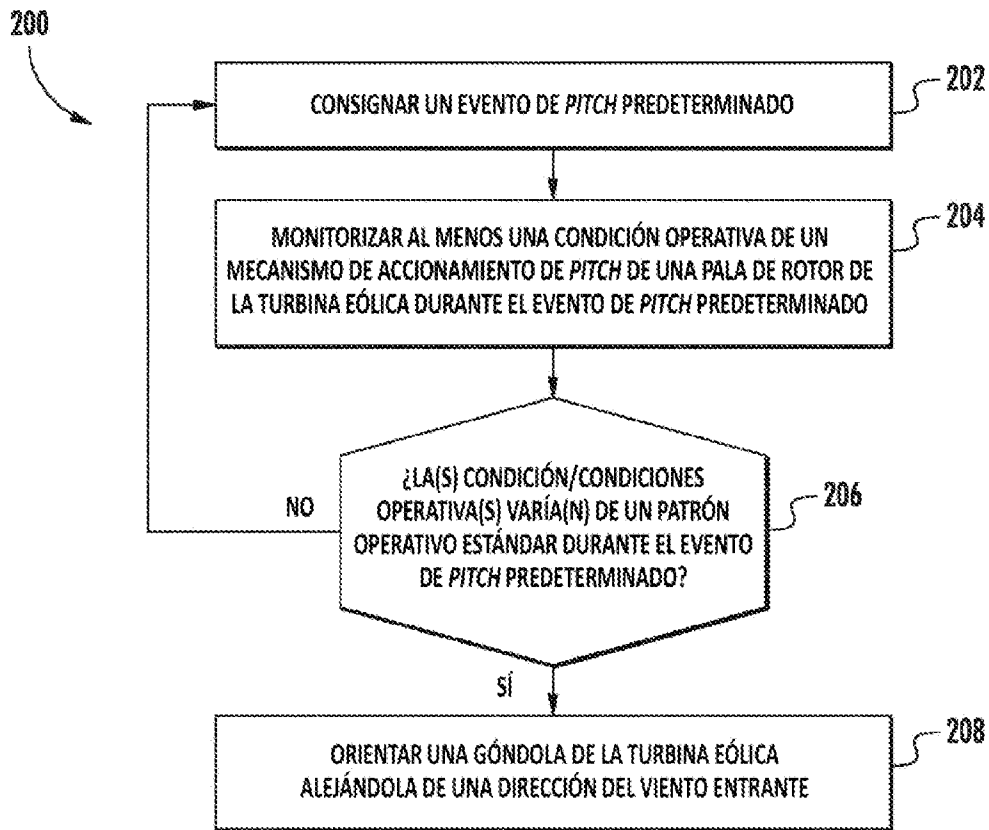


FIG. 7

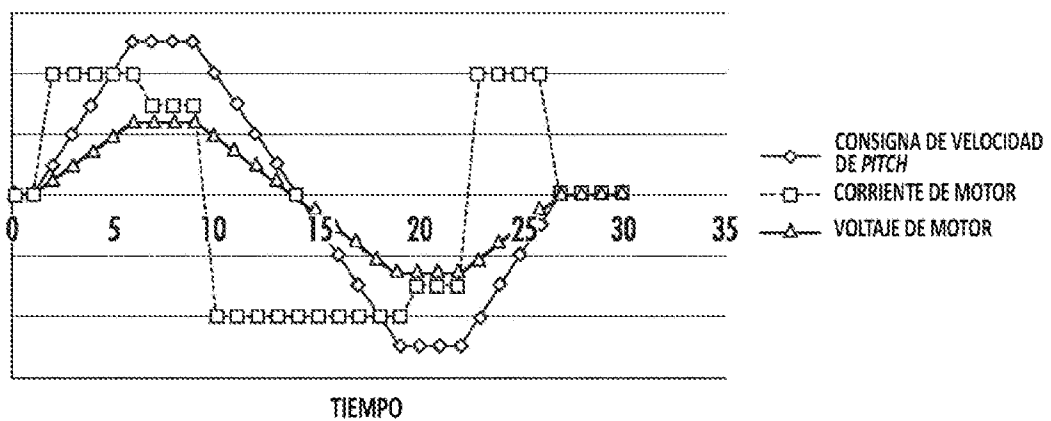


FIG. 8