

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 820 432**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

F03D 80/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.05.2012 PCT/CN2012/074975**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.11.2013 WO13163795**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.05.2012 E 12875758 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020 EP 2844870**

54 Título: **Sistema y procedimiento para detener el funcionamiento de una turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.04.2021

73 Titular/es:
GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345 , US

72 Inventor/es:
HUANG, XIONGZHE y
ZHENG, DANIAN

74 Agente/Representante:
FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 820 432 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 detener el funcionamiento de una turbina eólica

5 **CAMPO DE LA INVENCION**

[0001] La presente materia se refiere en general a turbinas eólicas y, más en particular, a un sistema y a un procedimiento para detener el funcionamiento de una turbina eólica.

10 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

[0002] La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más ecológicas disponibles en la actualidad, y las turbinas eólicas cobran cada vez más importancia en este sentido. Una turbina eólica moderna incluye típicamente una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas de rotor capturan energía cinética del viento usando principios de lámina conocidos y transmiten la energía cinética a través de energía rotativa para hacer girar un eje que acopla las palas de rotor a una caja de engranajes, o, si no se usa una caja de engranajes, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica que se puede desplegar en una red de suministro.

[0003] Durante el funcionamiento de una turbina eólica, cada pala de rotor está sometida a deflexión y/o torsión debido a las cargas de viento aerodinámicas que actúan sobre la pala, lo que da como resultado cargas de reacción transmitidas a través de la pala. Para controlar estas cargas y permitir que las palas de rotor capturen una cantidad máxima de energía eólica, las palas se pitchean típicamente durante el funcionamiento. El pitch implica en general hacer rotar cada pala de rotor alrededor de su eje de pitch para alterar la orientación de las palas de rotor con respecto al viento, ajustando de este modo la carga en cada pala de rotor.

[0004] En muchos casos, el funcionamiento de una turbina eólica debe detenerse debido a fallos del sistema y/o a otros eventos de emergencia. Por ejemplo, los eventos de parada de turbina eólica pueden incluir fallos en el controlador, fallos en el sistema de pitch, fallos en otros componentes, pérdida de la red, fallo de energía, otras situaciones de emergencia y/o similares. Actualmente, los sistemas de control de turbinas eólicas utilizan un procedimiento de parada único y uniforme para detener el funcionamiento cuando se produzca un evento de parada de turbina eólica. Específicamente, los sistemas de control convencionales están diseñados para pitchear las palas de rotor a la posición de bandera a una velocidad de pitch predeterminada y única independientemente del evento de parada de turbina eólica. Sin embargo, cada evento de parada se caracteriza típicamente por cargas accionadas por un diseño único. Por ejemplo, a diferencia de otros eventos de parada de turbina eólica, el fallo de uno o dos de los sistemas de pitch de una turbina eólica típicamente da como resultado un aumento sustancial de las cargas asimétricas o desequilibradas que actúan sobre la turbina eólica. Desafortunadamente, los procedimientos de parada convencionales no son capaces de detener de forma eficiente y efectiva el funcionamiento de una turbina eólica cuando existen dichas cargas asimétricas aumentadas.

[0005] Por consiguiente, la tecnología acogería con agrado un sistema y/o procedimiento mejorado para detener el funcionamiento de una turbina eólica cuando se produjera un fallo en el sistema de pitch.

[0006] El documento EP 2 108 825 divulga un sistema y un procedimiento para reducir las cargas de rotor en una turbina eólica tras la detección de un fallo en el pitch de las palas y la pérdida del contrapara; un freno se usa para reducir la velocidad de, pero no para detener, un rotor. El documento DE 10 2005 034 899, de acuerdo con una traslación mecánica, divulga una planta de energía eólica con un rotor con dispositivos de pitch individuales que incluyen un detector de fallos para detectar un fallo de forma autónoma y reaccionar en consecuencia. Otro ejemplo de la técnica anterior se puede encontrar en el documento EP2295793.

50 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

[0007] Aspectos y ventajas de la invención se expondrán parcialmente en la descripción siguiente, o pueden resultar evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la invención.

[0008] En un aspecto, la presente materia está dirigida a un procedimiento para detener el funcionamiento de una turbina eólica. El procedimiento puede incluir en general recibir las señales asociadas con al menos una condición de funcionamiento de la turbina eólica, analizar la al menos una condición de funcionamiento con un controlador de la turbina eólica, implementar un primer procedimiento de parada para detener el funcionamiento de la turbina eólica cuando el análisis de la al menos una condición de funcionamiento indique que se ha producido un fallo en el sistema de pitch e implementar un segundo procedimiento de parada para detener el funcionamiento de la turbina eólica cuando el análisis de la al menos una condición de funcionamiento indique que se ha producido un evento de parada de turbina eólica diferente.

[0009] En otro aspecto, la presente materia está dirigida a un procedimiento para detener el funcionamiento de una

turbina eólica. El procedimiento puede incluir en general recibir señales asociadas con al menos una condición de funcionamiento de la turbina eólica, analizar la al menos una condición de funcionamiento con un controlador de la turbina eólica e implementar un primer procedimiento de parada o un segundo procedimiento de parada para detener el funcionamiento de la turbina eólica, en la que el primer procedimiento de parada se implementa cuando el análisis de la al menos una condición de funcionamiento indica que se ha producido un fallo en el sistema de pitch.

[0010] En un aspecto adicional, la presente materia está dirigida a un sistema para detener el funcionamiento de una turbina eólica. El sistema puede incluir en general un sensor configurado para monitorear al menos una condición de funcionamiento de la turbina eólica y un controlador acoplado comunicativamente al sensor. El controlador se puede configurar para analizar la al menos una condición de funcionamiento para determinar cuándo se ha producido un evento de parada de turbina eólica. Además, el controlador se puede configurar para implementar un primer procedimiento de parada para detener el funcionamiento de la turbina eólica cuando se determine que se ha producido un fallo en el sistema de pitch y un segundo procedimiento de parada para detener el funcionamiento de la turbina eólica cuando se determine que se ha producido un evento de parada de turbina eólica diferente.

[0011] Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y a las 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, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0012] En la memoria descriptiva se expone una divulgación completa y suficiente de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las cuales:

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

la FIG. 2 ilustra una vista interna simplificada de un modo de realización de una góndola de una turbina eólica;

la FIG. 3 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de componentes adecuados que se pueden incluir dentro de un controlador de una turbina eólica;

la FIG. 4 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para detener una turbina eólica;

la FIG. 5 ilustra un modo de realización de cómo se pueden pitchear las palas de rotor con respecto al momento en que se produce un fallo en el sistema de pitch en comparación con cuando se produce cualquier otro evento de parada de turbina eólica;

la FIG. 6 ilustra otro modo de realización de cómo se pueden pitchear las palas de rotor con respecto al momento en que se produce un fallo en el sistema de pitch en comparación con cuando se produce cualquier otro evento de parada de turbina eólica; y

la FIG. 7 ilustra un diagrama esquemático y simplificado de un algoritmo de control de circuito cerrado que se puede utilizar para controlar el pitch de las palas de rotor cuando se detenga una turbina eólica.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0013] A continuación, se hará referencia con detalle a modos de realización de la invención, de los cuales se ilustran uno o más ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, resultará evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, se pueden usar rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de realización con otro modo de realización para producir otro modo más de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones de modo que entren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

[0014] En general, la presente materia está dirigida a un sistema y a un procedimiento para detener el funcionamiento de una turbina eólica. Específicamente, en diversos modos de realización, un(os) controlador(es) de turbina eólica se puede(n) configurar para implementar diferentes procedimientos de parada para eventos de parada de turbina eólica diferentes (por ejemplo, fallos en el sistema de pitch, fallos en el controlador, fallos en otros componentes, pérdida de la red, fallo de energía, averías en las comunicaciones y/u otras situaciones de emergencia). Por ejemplo, en un modo de realización, el(los) controlador(es) se puede(n) configurar para implementar un primer procedimiento de parada cuando se detecte un fallo en el sistema de pitch y un segundo procedimiento de parada cuando se detecte otro evento de parada de turbina eólica. Al implementar un procedimiento de parada único para fallos en el sistema de pitch, el procedimiento de parada se puede adaptar específicamente para manejar las cargas asimétricas o desequilibradas aumentadas que típicamente dan como resultado la incapacidad para pitchear una o

más de las palas de rotor.

[0015] Se debe apreciar que, como se usa en el presente documento, se produce un "fallo en el sistema de pitch" cuando una pala de rotor ya no es capaz de hacerse rotar automáticamente alrededor de su eje de pitch. Por tanto, las fallos en el sistema de pitch pueden dar como resultado el fallo de cualquiera de los componentes de sistema de pitch (por ejemplo, el fallo de un mecanismo de ajuste de pitch y/o de un controlador de pitch), de una avería en la comunicación (por ejemplo, entre un mecanismo de ajuste de pitch y un controlador de pitch) y/o de cualquier otro fallo/evento que pueda quitar la capacidad de una turbina eólica para pitchear automáticamente una de sus palas de rotor.

[0016] También se debe apreciar que la presente materia se describirá en general en el presente documento con referencia a turbinas eólicas que tengan tres palas de rotor. Por tanto, los procedimientos de detención divulgados para fallos en el sistema de pitch se pueden utilizar cuando el sistema de pitch de una/dos de las palas de rotor haya fallado, dejando de este modo dos/una palas de rotor que se pueden pitchear a la posición de bandera para detener la turbina eólica. Sin embargo, se debe apreciar que la presente materia también se puede utilizar con turbinas eólicas que tengan menos de tres palas de rotor o más de tres palas de rotor. En dicho modo de realización, los procedimientos de parada divulgados se pueden utilizar en general cuando el sistema de pitch para al menos una de las palas de rotor permanezca operativo.

[0017] Con referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica 10. Como se muestra, la turbina eólica 10 incluye en general 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 rotatorio 20 y al menos una pala de rotor 22 acoplada a y que se extiende hacia fuera del 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 puede estar espaciada sobre el buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para permitir que la energía cinética del viento se convierta en energía mecánica útil y, posteriormente, en energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 20 puede estar acoplado de forma rotatoria a un generador eléctrico 24 (FIG. 2) posicionado dentro de la góndola 16 para permitir que se produzca energía eléctrica.

[0018] La turbina eólica 10 puede incluir también un sistema de control de turbina o controlador principal 26 centralizado dentro de la góndola 16. En general, el controlador principal 26 puede incluir un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por tanto, en varios modos de realización, el controlador 26 puede incluir instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementen, configuren el controlador 26 para realizar diversas funciones diferentes, tales como recibir, transmitir y/o ejecutar señales de control de turbinas eólicas (comandos de pitch). Como tal, el controlador principal 26 se puede configurar en general para controlar los diversos modos de funcionamiento (por ejemplo, secuencias de arranque o de apagado) y/o componentes de la turbina eólica 10. Por ejemplo, el controlador 26 se puede configurar para ajustar el pitch de la pala o el ángulo de pitch de cada pala de rotor 22 (es decir, un ángulo que determine una perspectiva de la pala 22 con respecto a la dirección del viento) alrededor de su eje de pitch 28 para controlar la velocidad de rotación de la pala de rotor 22 así como las cargas que actúen sobre la pala de rotor 22. Por ejemplo, el controlador principal 26 puede controlar individualmente el ángulo de pitch de cada pala de rotor 22 transmitiendo comandos de pitch adecuados a un sistema de pitch 30 (FIG. 2) de la pala de rotor 22. Durante el funcionamiento de la turbina eólica 10, el controlador 26 puede transmitir en general comandos de pitch a cada sistema de pitch 30 para alterar el ángulo de pitch de cada pala de rotor 22 entre 0 grados (es decir, una posición de energía de la pala de rotor 22) y 90 grados (es decir, una posición de bandera de la pala de rotor 22).

[0019] Con referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra una vista simplificada e interna de un modo de realización de la góndola 16 de la turbina eólica 10 mostrada en la FIG. 1. Como se muestra, un generador 24 puede estar dispuesto dentro de la góndola 16. En general, el generador 24 puede estar acoplado al rotor 18 para producir energía eléctrica a partir de la energía rotativa generada por el rotor 18. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el rotor 18 puede incluir un eje de rotor 32 acoplado al buje 20 para su rotación con el mismo. El eje de rotor 32 puede, a su vez, estar acoplado de forma rotativa a un eje de generador 34 del generador 24 a través de una caja de engranajes 36. Como se entiende en general, el eje de rotor 32 puede proporcionar una entrada de par alto y velocidad baja a la caja de engranajes 36 en respuesta a la rotación de las palas de rotor 22 y del buje 20. La caja de engranajes 36 se puede configurar, entonces, para convertir la entrada de par alto y velocidad baja en una salida de par bajo y velocidad alta para accionar el eje de generador 34 y, por tanto, el generador 24.

[0020] Adicionalmente, el controlador principal 26 también puede estar localizado dentro de la góndola 16. Como se entiende en general, el controlador principal 26 puede estar acoplado comunicativamente a cualquier número de los componentes de la turbina eólica 10 para controlar el funcionamiento de dichos componentes. Por ejemplo, como se indicó anteriormente, el controlador principal 26 puede estar acoplado comunicativamente a cada sistema de pitch 30 de la turbina eólica 10 (uno de los cuales se muestra) para facilitar la rotación de cada pala de rotor 22 alrededor de su eje de pitch 28.

[0021] Como se muestra en la FIG. 2, cada sistema de pitch 30 puede incluir un mecanismo de ajuste de pitch 36 y

un controlador de pitch 38 acoplado de forma comunicable al mecanismo de ajuste de pitch 36. En general, cada mecanismo de ajuste de pitch 36 puede incluir cualquier componente adecuado y puede tener cualquier configuración adecuada que permita que el mecanismo de ajuste de pitch 36 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, en varios modos de realización, cada mecanismo de ajuste de pitch 36 puede incluir un motor de accionamiento de pitch 40 (por ejemplo, cualquier motor eléctrico adecuado), una caja de engranajes de accionamiento de pitch 42 y un piñón de accionamiento de pitch 44. En dichos modos de realización, el motor de accionamiento de pitch 40 puede estar acoplado a la caja de engranajes de accionamiento de pitch 42 de modo que el motor de accionamiento de pitch 40 imparte fuerza mecánica a la caja de engranajes de accionamiento de pitch 42. De forma similar, la caja de engranajes de accionamiento de pitch 42 puede estar acoplada al piñón de accionamiento de pitch 44 para su rotación con el mismo. El piñón de accionamiento de pitch 44 puede, a su vez, estar en acoplamiento rotativo con un rodamiento de pitch 46 acoplado entre el buje 20 y una pala de rotor 22 correspondiente de modo que la rotación del piñón de accionamiento de pitch 44 causa la rotación del rodamiento de pitch 46. Por tanto, en dichos modos de realización, la rotación del motor de accionamiento de pitch 40 acciona la caja de engranajes de accionamiento de pitch 42 y el piñón de accionamiento de pitch 44, haciendo rotar de este modo el rodamiento de pitch 46 y la pala de rotor 22 alrededor del eje de pitch 28.

[0022] En modos de realización alternativos, se debe apreciar que cada mecanismo de ajuste de pitch 36 puede tener cualquier otra configuración adecuada que facilite la rotación de una pala de rotor 22 sobre su eje de pitch 28. Por ejemplo, se conocen mecanismos de ajuste de pitch 36 que incluyen un dispositivo accionado hidráulico o neumático (por ejemplo, un cilindro hidráulico o neumático) configurado para transmitir energía rotacional al rodamiento de pitch 46, causando de este modo que la pala de rotor 22 rote alrededor de su eje de pitch 28. Por tanto, en varios modos de realización, en lugar del motor eléctrico de accionamiento de pitch 40 descrito anteriormente, cada mecanismo de ajuste de pitch 36 puede incluir un dispositivo accionado hidráulico o neumático que utilice presión de fluido para aplicar par al rodamiento de pitch 46.

[0023] El funcionamiento del mecanismo de ajuste de pitch 36 para cada pala de rotor 22 en general se puede controlar por el controlador principal 26 por medio del controlador de pitch 38 individual para esa pala de rotor 22. Por tanto, en varios modos de realización, el controlador principal 26 y cada controlador de pitch 38 pueden estar en comunicación entre sí y/o con el mecanismo de ajuste de pitch 36 a través de una conexión por cable, tal como usando un cable de comunicación adecuado. En otros modos de realización, el controlador principal 26 y cada controlador de pitch 38 pueden estar en comunicación entre sí y/o con el mecanismo de ajuste de pitch 36 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica.

[0024] Debe apreciarse que, aunque el controlador principal 26 en general se puede utilizar para controlar los mecanismos de ajuste de pitch 36 por medio de los controladores de pitch 38, cada controlador de pitch 38 también se puede configurar para controlar independientemente el funcionamiento de su respectivo mecanismo de ajuste de pitch 36. Por ejemplo, cuando se produce un fallo de comunicación entre el controlador principal 26 y uno o más de los controladores de pitch 38 (por ejemplo, debido a una pérdida de energía, un fallo en el controlador, una avería en la comunicación y/o similares), los controladores de pitch 38 se pueden configurar para implementar los procedimientos de parada descritos en el presente documento para detener el funcionamiento de la turbina eólica 10.

[0025] Con referencia todavía a la FIG. 2, la turbina eólica 10 también puede incluir una pluralidad de sensores 48, 50 para monitorear una o más condiciones de funcionamiento de la turbina eólica 10. Como se usa en el presente documento, una condición de funcionamiento de la turbina eólica 10 se "monitorea" cuando se usa un sensor 48, 50 para determinar su valor actual. Por tanto, el término "monitorear" y variaciones del mismo se usan para indicar que los sensores 48, 50 no necesitan proporcionar una medición directa de la condición de funcionamiento que se esté monitoreando. Por ejemplo, los sensores 48, 50 se pueden usar para generar señales relacionadas con la condición de funcionamiento que se esté monitoreando, que luego se pueden utilizar por el controlador principal 26 u otro dispositivo adecuado para determinar la condición de funcionamiento real.

[0026] En diversos modos de realización de la presente materia, la turbina eólica 10 puede incluir uno o más sensores de carga asimétrica 48 configurados para monitorear la cantidad de carga asimétrica en la turbina eólica 10. Específicamente, en un modo de realización, el(los) sensor(es) de carga asimétrica 48 pueden comprender una o más galgas extensométricas configuradas para monitorear cargas asimétricas detectando los momentos de flexión causados por dichas cargas. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 2, se puede montar una galga extensométrica sobre o dentro del eje de rotor principal 32 para detectar cargas/momentos transmitidos a través del eje de rotor 32 como resultado de cargas asimétricas en la turbina eólica 10. De forma alternativa, se pueden montar una o más galgas extensométricas en o dentro de diversos otros componentes de la turbina eólica 10 (por ejemplo, las palas de rotor 22, el buje 20, la torre 12 y/o similares) para monitorear la carga asimétrica de la turbina eólica 10. En otro modo de realización, el(los) sensores de carga asimétrica 48 pueden comprender uno o más sensores de posición (por ejemplo, sensores de proximidad) configurados para monitorear la carga asimétrica detectando cambios en las posiciones relativas de los componentes de turbina eólica. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 2, uno o más sensores de posición pueden estar dispuestos en o adyacentes a la interfaz entre el buje 20 y la góndola 16 para detectar cambios en la posición del buje 20 con respecto a la góndola 16 (por ejemplo, configurando el(los) sensor(es) para monitorear la distancia entre la brida trasera del buje 20 y el extremo frontal del asiento de rodamiento de la góndola 16). Por supuesto, debería apreciarse que, en modos de realización alternativos, el(los) sensor(es) de carga

asimétrica 48 puede(n) comprender cualquier otro sensor adecuado que permita monitorear la carga asimétrica de la turbina eólica 10.

[0027] Además del(de los) sensor(es) de carga asimétricos 48 descrito(s) anteriormente, la turbina eólica 10 también puede incluir sensores adicionales para monitorear otras diversas condiciones de funcionamiento de la turbina eólica 10. Por ejemplo, la turbina eólica 10 puede incluir uno o más sensores 50 configurados para monitorear el funcionamiento de los mecanismos de ajuste de pitch 36 (por ejemplo, monitoreando la entrada de corriente a y/o la salida de par de cada mecanismo de ajuste de pitch 36). Además, la turbina eólica 10 puede incluir uno o más sensores 50 configurados para monitorear el funcionamiento del controlador principal 26 y/o los controladores de pitch 38, tal como monitorear la energía a y los comandos transmitidos desde dicho(s) controlador(es) 26, 38. Además, la turbina eólica 10 también puede incluir otros diversos sensores para monitorear cualquier otra condición de funcionamiento adecuada de la turbina eólica 10, tal como el ángulo de pitch de cada pala de rotor 22, la velocidad del rotor 18 y/o el eje de rotor 32, la velocidad del generador 24 y/o el eje de generador 34, el par en el eje de rotor 32 y/o el eje de generador 34, la velocidad del viento y/o dirección del viento, las condiciones de la red, la entrada de energía a los componentes de la turbina eólica 10 y/o cualquier otra condición de funcionamiento adecuada.

[0028] 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 principal 26 y/o los controladores de pitch 38 de acuerdo con aspectos de la presente materia. Como se muestra, el(los) controlador(es) 26, 38 puede(n) incluir uno o más procesador(es) 52 y dispositivo(s) de memoria 54 asociado(s) configurado(s) para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizando los procedimientos, etapas, cálculos y similares divulgados en el presente documento). Como se usa en el presente documento, el término "procesador" se refiere no solamente a circuitos integrados referidos en la técnica como incluyéndose en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables. Adicionalmente, el(los) dispositivo(s) de memoria 54 puede(n) comprender en general elemento(s) de memoria, incluyendo, pero sin limitarse a, medios legibles por ordenador (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM)), medios no volátiles legibles por ordenador (por ejemplo, una memoria flash), un disco flexible, una memoria de solo lectura compacta (CD-ROM), un disco magneto-óptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 54 se puede(n) configurar en general para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementen por el/los procesador(es) 52, configuren el(los) controlador(es) 26, 38 para realizar diversas funciones que incluyan, pero no se limiten a, transmitir señales de control adecuadas a uno o más de los mecanismos de ajuste de pitch 36, monitorear diversas condiciones de funcionamiento de la turbina eólica 10, implementar los procedimientos de parada divulgadas y otras diversas funciones adecuadas implementadas por ordenador.

[0029] Adicionalmente, el(los) controlador(es) 26, 38 puede(n) incluir también un módulo de comunicaciones 56 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 26, 38 y los diversos componentes de la turbina eólica 10. Por ejemplo, el módulo de comunicaciones 56 puede servir de interfaz para permitir que el controlador principal 26 y/o los controladores de pitch 38 transmitan comandos de pitch a cada mecanismo de ajuste de pitch 36 para controlar el ángulo de pitch de las palas de rotor 22. Además, el módulo de comunicaciones 56 puede incluir una interfaz de sensor 58 (por ejemplo, uno o más convertidores analógico-digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores 48, 50 de la turbina eólica 10 se conviertan en señales que se puedan comprender y procesar por los procesadores 53.

[0030] Con referencia ahora a la FIG. 4, se ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 100 para detener el funcionamiento de una turbina eólica 10 de acuerdo con aspectos de la presente materia. Como se muestra, el procedimiento 100 en general incluye recibir señales asociadas con al menos una condición de funcionamiento de una turbina eólica 102, analizar la al menos una condición de funcionamiento con un controlador de la turbina eólica 104, implementar un primer procedimiento de parada para detener el funcionamiento de la turbina eólica cuando el análisis de la al menos una condición de funcionamiento indique que se ha producido un fallo en el sistema de pitch 106 e implementar un segundo procedimiento de parada para detener el funcionamiento de la turbina eólica cuando el análisis de la al menos una condición de funcionamiento indique que se ha producido un evento de parada de turbina eólica diferente 108.

[0031] En general, el procedimiento 100 divulgado puede permitir que el funcionamiento de una turbina eólica 10 se detenga de una manera más eficiente y eficaz que mediante el uso de un único procedimiento de parada uniforme. Específicamente, se pueden utilizar diferentes procedimientos de parada para diferentes eventos de parada de turbinas eólicas, lo que permite que los procedimientos de parada se adapten a las cargas específicas, vibraciones estructurales y/o dinámica del sistema que se pueden producir como resultado de cada evento de parada. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, un(os) controlador(es) de turbina eólica 26, 38 se pueden configurar para implementar un primer procedimiento de parada cuando se haya producido un fallo en el sistema de pitch y un segundo procedimiento de parada cuando se haya producido un evento de parada de turbina eólica diferente. Como tal, el primer procedimiento de parada se puede adaptar específicamente para alojar la carga asimétrica aumentada que da como resultado un fallo en el sistema de pitch, asegurando de este modo que la turbina eólica 10 se detenga de una manera eficiente y efectiva.

[0032] Como se muestra en la FIG. 4, en 102, se recibe una señal que está asociada con al menos una condición de funcionamiento de la turbina eólica 10. Como se describió anteriormente, la turbina eólica 10 puede incluir sensores 48, 50 configurados para monitorear diversas condiciones de funcionamiento de la turbina eólica 10. Por tanto, las señales asociadas con dichas condiciones de funcionamiento se pueden transmitir desde los sensores 48, 50 al controlador principal 26 y/o los controladores de pitch 38. Por ejemplo, el(los) controlador(es) 26, 38 se puede(n) configurar para recibir señales de los sensores de carga asimétrica 48 asociados con la carga asimétrica de la turbina eólica 10. Además, el(los) controlador(es) 26, 28 se pueden configurar para recibir las señales asociadas con otras condiciones de funcionamiento que se refieran a eventos de parada de turbina eólica diferentes. Por ejemplo, las entradas recibidas de los sensores pueden permitir que el(los) controlador(es) 26, 38 determine(n) que se ha producido un fallo en el controlador, un fallo en otros componentes, una pérdida de la red, un fallo de energía, averías en las comunicaciones y/u otro evento de emergencia.

[0033] Adicionalmente, como se muestra en la FIG. 4, en 104, la(s) condición(es) de funcionamiento de la turbina eólica 10 se puede(n) analizar por el(los) controlador(es) 26, 38 para determinar si se ha producido un evento de parada de turbina eólica. Por ejemplo, para determinar si se ha producido un fallo en el sistema de pitch, el(los) controlador(es) 26, 38 se puede(n) configurar para comparar la carga asimétrica real de la turbina eólica 10 (obtenida por medio de los sensores 48) con un umbral de carga asimétrica predeterminado. Si la carga asimétrica real es igual o supera el umbral de carga asimétrica predeterminado, el(los) controlador(es) 26, 38 puede(n) determinar que el sistema de pitch 30 para una o más de las palas de rotor 22 ha fallado. De forma alternativa, el(los) controlador(es) 26, 38 se puede(n) configurar para analizar las entradas de sensor relacionadas con el funcionamiento de los mecanismos de ajuste de pitch 36 (por ejemplo, por medio de los sensores 50) y/o cualquier otro componente adecuado de la turbina eólica 10 para determinar si se ha producido un fallo en el sistema de pitch.

[0034] Debe apreciarse que el umbral de carga asimétrica predeterminado puede variar en general de la turbina eólica 10 a la turbina eólica 10 en base a numerosos factores que incluyen, pero no se limitan a, la configuración de la turbina eólica 10 (por ejemplo, el tamaño del rotor), las condiciones de funcionamiento de la turbina eólica 10 y/o similares. Sin embargo, está dentro del alcance de un experto en la técnica determinar el umbral de carga asimétrica para una turbina eólica 10 en particular en base a la configuración de la turbina eólica 10 y usando datos conocidos relacionados con la turbina eólica 10 (por ejemplo, datos históricos, datos observados, datos predichos/simulados).

[0035] Con referencia todavía a la FIG. 4, en 106 y 108, el funcionamiento de la turbina eólica 10 se puede detener de acuerdo con un primer procedimiento de parada cuando se determine que se ha producido un fallo en el sistema de pitch y de acuerdo con un segundo procedimiento de detención cuando se determine que se ha producido un evento de parada de turbina eólica diferente. Por ejemplo, cuando el(los) controlador(es) 26, 38 ha(n) determinado que la carga asimétrica de la turbina eólica 10 es igual o supera el umbral de carga asimétrica predeterminado, el(los) controlador(es) 26, 38 se puede(n) configurar para implementar el primer procedimiento de parada. Sin embargo, si las condiciones de funcionamiento de la turbina eólica 10 indican que se ha producido un evento de parada de turbina eólica diferente (por ejemplo, un fallo en el controlador, un fallo en otros componentes, una pérdida de la red, un fallo de energía, averías en las comunicaciones y/u otro evento de emergencia), el(los) controlador(es) 26, 38 se pueden configurar para implementar el segundo procedimiento de parada.

[0036] En general, tanto el primer como el segundo procedimiento de parada pueden incluir pitchear las palas de rotor 22 desde la posición de energía a la posición de bandera para detener la rotación del rotor 18. Por tanto, cuando se implementa el segundo procedimiento de parada (es decir, para un evento de parada por fallo en el sistema sin pitch), todas las palas de rotor 22 se pueden pitchear a la posición de bandera. Sin embargo, cuando falle el sistema de pitch 30 de una o dos de las palas de rotor 22, sólo la(s) pala(s) 22 restantes se pueden pitchear a la posición de bandera para detener el funcionamiento de la turbina eólica 10. Por consiguiente, el primer procedimiento de parada debe tener en cuenta el hecho de que al menos una de las palas de rotor 22 permanecerá en la posición de energía mientras se está deteniendo la turbina eólica 10.

[0037] Por tanto, en varios modos de realización, el primer procedimiento de parada puede diferir del segundo procedimiento de parada con respecto a la velocidad a la cual se pitchean las palas de rotor 22. Por ejemplo, la FIG. 5 ilustra un ejemplo de cómo el pitch de las palas de rotor 22 se puede ajustar a lo largo del tiempo usando el primer procedimiento de parada (indicado por la línea discontinua 110) y el segundo procedimiento de parada (indicado por la línea continua 112). Como se muestra, el pitch de las palas de rotor 22 se puede ajustar de acuerdo con una primera velocidad de pitch (indicada por la pendiente 114 de la línea 110) para el primer procedimiento de parada 110 y de acuerdo con la segunda velocidad de pitch (indicada por la pendiente 116 de la línea 112) para el segundo procedimiento de parada 112. En general, la primera velocidad de pitch 114 puede ser menor o más lenta que la segunda velocidad de pitch 116 debido al hecho de que se están inclinando menos que todas las palas de rotor 22. Específicamente, cuando se produce un fallo en el sistema de pitch, los cambios abruptos en los ángulos de pitch de las palas de rotor 22 que tienen los sistemas de pitch de funcionamiento 30 pueden dar como resultado incrementos adicionales en la carga asimétrica de la turbina eólica 10 y también pueden dar como resultado vibraciones estructurales indeseables y/o dinámica de sistemas. Sin embargo, cuando se produce un evento de parada de turbina eólica diferente (es decir, cuando todas las palas de rotor 22 se pueden pitchear simultáneamente), las palas 22 se pueden pitchear a un ritmo más rápido sin introducir cargas asimétricas adicionales y/o vibraciones estructurales indeseables y/o dinámica de sistemas.

[0038] Se debe apreciar que las primera y segunda velocidades de pitch 114, 116 pueden corresponder en general a cualquier velocidad adecuada a la cual las palas de rotor 22 se pueden pitchear durante los primer y segundo procedimientos de parada 110, 112 sin introducir cargas y/o vibraciones significativas en la turbina eólica 10. Sin embargo, en un modo de realización, la primera velocidad de pitch 114 puede variar de aproximadamente 0,5 grados/segundo (°/s) a aproximadamente 5 °/s, tal como de aproximadamente 1 °/s a aproximadamente 4 °/s o de aproximadamente 2 °/s a aproximadamente 3 °/s y todos los demás subintervalos entre ellos. De forma similar, en un modo de realización, la segunda velocidad de pitch 116 puede variar de aproximadamente 5 °/s a aproximadamente 10 °/s, tal como de aproximadamente 6 °/s a aproximadamente 9 °/s o de aproximadamente 7 °/s a aproximadamente 8 °/s y todos los demás subintervalos entre ellos.

[0039] Con referencia ahora a la FIG. 6, otro ejemplo de cómo el pitch de las palas de rotor 22 se puede ajustar con el tiempo usando el primer procedimiento de parada (indicado por la línea discontinua 110) y el segundo procedimiento de parada (indicado por la línea continua 112) se ilustra de acuerdo con aspectos de la presente materia. A diferencia del modo de realización descrito anteriormente en la cual las palas de rotor se pitchean a una velocidad de pitch 114, 116 constante para ambos procedimientos de parada 110, 112, los primer y segundo procedimientos de parada 110, 112 utilizaron velocidades de pitch que varían con el tiempo, tal como ajustando el velocidades de pitch dos o más veces cuando se detenga una turbina eólica 10. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, los primer y segundo procedimientos de parada 110, 112 se pueden configurar para ajustar el pitch de las palas de rotor 22 de acuerdo con un programa de velocidad de pitch triple. Específicamente, cuando se implementan el primer procedimiento y el de parada 110, 112, el pitch de las palas de rotor 22 se puede ajustar inicialmente a una velocidad de pitch relativamente alta (indicado por el segmento de línea 120 para el primer procedimiento de parada 110 y el segmento de línea 126 para el segundo procedimiento de parada 112), seguido por el ajuste de el pitch a una velocidad de pitch más baja (indicado por el segmento de línea 122 para el primer procedimiento de parada 110 y el segmento de línea 128 para el segundo procedimiento de parada 112) y luego nuevamente a una velocidad de pitch relativamente alta (indicado por el segmento de línea 124 para el primer procedimiento de parada 110 y el segmento de línea 130 para el segundo procedimiento de parada 112). Las velocidades de pitch 120, 126 más altas iniciales pueden permitir en general que la velocidad/energía de rotación de la turbina eólica 10 se reduzca sustancialmente durante un corto período de tiempo. Sin embargo, si se mantiene dicha velocidad de pitch 120, 126 alta durante un período de tiempo prolongado, se pueden introducir vibraciones estructurales y/u otras dinámicas del sistema en la turbina eólica 10. Por tanto, como se muestra en la FIG. 6, las velocidades de pitch se pueden reducir durante un período de tiempo. Una vez que se minimiza el riesgo de excitar vibraciones estructurales y/u otras dinámicas del sistema, las velocidades de pitch se pueden aumentar para detener rápidamente el funcionamiento de la turbina eólica 10.

[0040] Como se muestra en la FIG. 6, se debe apreciar que las velocidades de pitch 120, 124 más altas para el primer procedimiento de parada pueden ser en general menores que las velocidades de pitch 126, 130 más altas para el segundo procedimiento de parada. Por ejemplo, en varios modos de realización, la velocidad de pitch 120 inicial para el primer procedimiento de parada 110 puede variar desde aproximadamente 3 °/s a aproximadamente 7 °/s, tal como desde aproximadamente 4,5 °/s a aproximadamente 6,5 °/s o desde aproximadamente 5 °/s a aproximadamente 6 °/s y todos los demás subintervalos intermedios, mientras que la velocidad de pitch 126 inicial para el segundo procedimiento de parada 112 puede oscilar entre aproximadamente 5 °/s a aproximadamente 9 °/s, tal como aproximadamente 6,5 °/s a aproximadamente 8,5 °/s o desde aproximadamente 7 °/s a aproximadamente 8 °/s y todos los demás subintervalos intermedios. Además, en varios modos de realización, la velocidad de pitch 122 reducida para el primer procedimiento de parada 110 puede variar de aproximadamente 0,5 °/s a aproximadamente 5 °/s, tal como de aproximadamente 1 °/s a aproximadamente 3,5 °/s o de aproximadamente 2 °/s a aproximadamente 3 °/s y todos los demás subintervalos entre ellos, y la velocidad de pitch 128 reducida para el segundo procedimiento de parada 112 puede variar de aproximadamente 0,5 °/s a aproximadamente 5,5 °/s, tal como de aproximadamente 1 °/s hasta aproximadamente 3,5 °/s o de aproximadamente 2 °/s a aproximadamente 3 °/s y todos los demás subintervalos intermedios.

[0041] También se debe apreciar que, variando las velocidades de pitch particulares utilizadas en el programa de velocidad de pitch triple, se puede ajustar la carga en la turbina eólica 10 durante la ejecución de los procedimientos de parada 110, 112. Por ejemplo, para probar el efecto de las velocidades de pitch en la carga, se evaluaron tres casos de prueba con diferentes velocidades de pitch altas (indicadas por la línea 120) y velocidades de pitch bajas (indicadas por la línea 122) para el primer procedimiento de parada 110. En el primer caso de prueba, una pala de rotor 22 se inclinó a una velocidad de pitch alta de 5,5 °/s durante 1,2 segundos y luego a una velocidad de pitch baja de 2,5 °/s durante 1,9 segundos. En el segundo caso de prueba, la pala de rotor 22 se inclinó a una velocidad de pitch alta de 5,5 °/s durante 1,2 segundos y luego a una velocidad de pitch baja de 0,5 °/s durante 1,9 segundos. En el tercer caso de prueba, la pala de rotor 22 se inclinó a una velocidad de pitch alta de 3,5 °/s durante 1,2 segundos y luego a una velocidad de pitch baja de 2,5 °/s durante 1,9 segundos. A continuación, se evaluó la carga en la turbina eólica 10 para cada caso de prueba. Se encontró que las cargas en el segundo caso de prueba eran aproximadamente un 8 % más pequeñas que las cargas en el primer caso de prueba. Además, las cargas en el tercer caso de prueba fueron aproximadamente un 4 % más pequeñas que las cargas en el primer caso de prueba.

[0042] Adicionalmente, se debe apreciar que, como alternativa a los procedimientos de parada en bucle abierto 110,

- 112 descritos anteriormente con referencia a las FIGS. 5 y 6, los procedimientos de parada divulgados también se pueden implementar usando un sistema de control de circuito cerrado. Por ejemplo, la FIG. 7 ilustra un diagrama de control que se puede utilizar para implementar un procedimiento de parada cuando se determine que se ha producido un fallo en el sistema de pitch. Como se muestra, se puede utilizar un algoritmo de circuito cerrado (por ejemplo, un PID de circuito cerrado u otro algoritmo de control de circuito cerrado adecuado) para monitorear continuamente una o más de las condiciones de funcionamiento de la turbina eólica 10 y, en base a dichas condiciones de funcionamiento monitoreadas, realizar ajustes de la manera en la cual la(s) pala(s) de rotor 22 se pitchean durante el procedimiento de parada. Específicamente, en el inicio del procedimiento de parada, el(los) controlador(es) 26, 38 se pueden configurar para pithear inicialmente la(s) pala(s) de rotor 22 a una velocidad de pitch predeterminada (por ejemplo, enviando comandos de pitch adecuados a los mecanismos de ajuste de pitch 36). A medida que se pitchean las palas 22, el(los) controlador(es) 26, 38 se puede(n) configurar para recibir entradas asociadas con la carga asimétrica de la turbina eólica 10 (por ejemplo, por medio del(de los) sensor(es) de carga asimétrica 48). Por tanto, controlando continuamente la carga asimétrica de la turbina eólica 10, la velocidad a la cual se pitchea(n) la(s) palas de rotor se puede ajustar dinámicamente en base a cualquier variación en la carga. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 7, el(los) controlador(es) 26, 38 se puede(n) configurar para comparar continuamente la carga asimétrica monitoreada con el umbral de carga asimétrica predeterminado (indicado por la casilla 132). Por tanto, en el caso de que la carga asimétrica monitoreada sea igual o supere el umbral de carga asimétrica 132, el(los) controlador(es) 26, 38 puede(n) reducir la velocidad a la cual se pitchea(n) la(s) pala(s) de rotor 22 (por ejemplo, transmitiendo comandos de pitch adecuados al(a los) mecanismo(s) de ajuste de pitch 36) con el fin de reducir la probabilidad de que aumenten las cargas y/o se introduzcan vibraciones estructurales. De forma similar, en el caso de que la carga asimétrica monitoreada sea menor que el umbral de carga asimétrica 132, el(los) controlador(es) 26, 38 puede(n) aumentar la velocidad a la cual se pitchean las palas de rotor 22 para permitir que la velocidad rotacional del rotor 18 se reduzca a un ritmo más rápido.
- 5
10
15
20
- 25 **[0043]** Se debe apreciar que el(los) controlador(es) 26, 38 también se pueden configurar para recibir entradas adicionales (indicadas por la casilla 134) para facilitar el control del pitch de las palas de rotor 22. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 7, el(los) controlador(es) 26, 38 se puede(n) configurar para recibir entradas relacionadas con la velocidad de rotor. En dicho modo de realización, el(los) controlador(es) 26, 38 se puede(n) configurar para controlar el pitch de las palas de rotor 22 en base tanto a la velocidad del rotor como a la carga asimétrica de la turbina eólica 10. Por ejemplo, en un modo de realización, la lógica de control del(de los) controlador(es) 26, 38 se puede configurar para pithear las palas de rotor 22 con el fin de satisfacer una tasa de reducción de velocidad predeterminada, con las entradas de carga asimétricas que se usan para anular dicho control cuando la carga es igual o supera el umbral de carga asimétrica 132.
- 30
35
- 40 **[0044]** También se debe apreciar que la presente materia también se dirige a procedimientos para detener el funcionamiento de una turbina eólica 10. El sistema puede incluir un sensor 48, 50 configurado para monitorear al menos una condición de funcionamiento de la turbina eólica 10 y de un controlador 26, 38 acoplado comunicativamente al sensor 48, 50. El controlador 26, 38 se puede configurar para analizar la(s) condición(es) de funcionamiento para determinar cuándo se ha producido un evento de parada de turbina eólica. Además, el controlador 26, 38 se puede configurar para implementar un primer procedimiento de parada con el fin de detener el funcionamiento de la turbina eólica 10 cuando se determine que se ha producido un fallo en el sistema de pitch y un segundo procedimiento de parada para detener el funcionamiento del turbina eólica 10 cuando se determine que se ha producido un evento de parada de turbina eólica diferente.
- 45
- [0045]** Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para permitir que cualquier experto en la técnica practique la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (100) para detener el funcionamiento de una turbina eólica, comprendiendo el procedimiento:
 - 5 recibir (102) las señales asociadas con al menos una condición de funcionamiento de la turbina eólica;
 - analizar (104) la al menos una condición de funcionamiento con un controlador de la turbina eólica;
 - 10 implementar (106) un primer procedimiento de parada o un segundo procedimiento de parada para detener el funcionamiento de la turbina eólica,
 - en el que el primer procedimiento de parada (106) se implementa cuando el análisis de la al menos una condición de funcionamiento indica que se ha producido un fallo en el sistema de pitch, el primer procedimiento de parada comprende pitchear al menos una pala de rotor (22) operativa de la turbina eólica (10) a una primera velocidad de pitch,
 - 15 en el que el segundo procedimiento de parada se implementa cuando el análisis de la al menos una condición de funcionamiento indica que se ha producido un evento de parada de turbina eólica diferente, el segundo procedimiento de parada comprende pitchear las palas de rotor (22) de la turbina eólica (10) a una segunda velocidad de pitch.
2. El procedimiento (100) de la reivindicación 1, en el que recibir (102) las señales asociadas con al menos una condición de funcionamiento de una turbina eólica (10) comprende recibir las señales asociadas con la carga asimétrica de la turbina eólica (10).
- 25 3. El procedimiento (100) de la reivindicación 2, en el que analizar (104) la al menos una condición de funcionamiento con un controlador (26) de la turbina eólica (10) comprende comparar la carga asimétrica de la turbina eólica (10) con un umbral de carga asimétrica predeterminado.
- 30 4. El procedimiento (100) de la reivindicación 3, en el que implementar (106) un primer procedimiento de parada para detener el funcionamiento de la turbina eólica (10) cuando el análisis de la al menos una condición de funcionamiento indica que se ha producido un fallo en el sistema de pitch (36) comprende implementar el primer procedimiento de parada cuando la carga asimétrica de la turbina eólica (10) es igual o supera el umbral de carga asimétrica predeterminado.
- 35 5. El procedimiento (100) de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende además:
 - monitorear continuamente la carga asimétrica de la turbina eólica (10); y
 - 40 ajustar una velocidad de pitch del primer procedimiento de parada en base a variaciones en la carga asimétrica.
6. El procedimiento (100) de la reivindicación 1, en el que la primera velocidad de pitch comprende una velocidad de pitch alta y una velocidad de pitch baja, la velocidad de pitch alta varía de 3 °/s a 7 °/s y la velocidad de pitch baja varía de 0,5 °/s a 5 °/s.
- 45 7. El procedimiento (100) de la reivindicación 1, en el que la segunda velocidad de pitch comprende una velocidad de pitch alta y una velocidad de pitch baja, variando la velocidad de pitch alta de 5 °/s a 9 °/s y la velocidad de pitch baja varía de 0,5 °/s a 5 °/s.
- 50 8. El procedimiento (100) de la reivindicación 1, en el que las primera y segunda velocidades de pitch varían con el tiempo de acuerdo con un programa de velocidad de pitch triple.
9. Un sistema para detener el funcionamiento de una turbina eólica (10), comprendiendo el sistema:
 - 55 un sensor (134) configurado para monitorear al menos una condición de funcionamiento de la turbina eólica (10); y
 - un controlador (26, 38) acoplado comunicativamente al sensor (134), estando configurado el controlador (26, 38) para analizar la al menos una condición de funcionamiento para determinar cuándo se ha producido un evento de parada de turbina eólica, estando configurado el controlador (26, 38) además para implementar un primer procedimiento de parada con el fin de detener el funcionamiento de la turbina eólica (10) cuando se determine que se ha producido un fallo en el sistema de pitch (36) y un segundo procedimiento de parada para detener el funcionamiento de la turbina eólica (10) cuando se determine que se ha producido un evento de parada de turbina eólica diferente,
 - 60 un mecanismo de ajuste de pitch (36), estando configurado el controlador (26, 38) para transmitir comandos
 - 65

de pitch al mecanismo de ajuste de pitch (36) con el fin de implementar los primer y segundo procedimientos de parada,

5 en el que el controlador (26, 38) está configurado para controlar el mecanismo de ajuste de pitch (36) de modo que al menos una pala de rotor (22) operativa de la turbina eólica (10) se pitchea a una primera velocidad de pitch cuando se realiza el primer procedimiento de parada implementado y las palas de rotor (22) de la turbina eólica (10) se pitchean a una segunda velocidad de pitch cuando se implementa el segundo procedimiento de parada, difiriendo la primera velocidad de pitch de la segunda velocidad de pitch.

10 **10.** El sistema de la reivindicación 9, en el que la primera velocidad de pitch comprende una velocidad de pitch alta y una velocidad de pitch baja, la velocidad de pitch alta varía de 3 °/s a 7 °/s y la velocidad de pitch baja varía de 0,5 °/s a 5 °/s.

15 **11.** El sistema de la reivindicación 9, en el que la segunda velocidad de pitch comprende una velocidad de pitch alta y una velocidad de pitch baja, la velocidad de pitch alta varía de 5 °/s a 9 °/s y la velocidad de pitch baja varía de 0,5 °/s a 5 °/s.

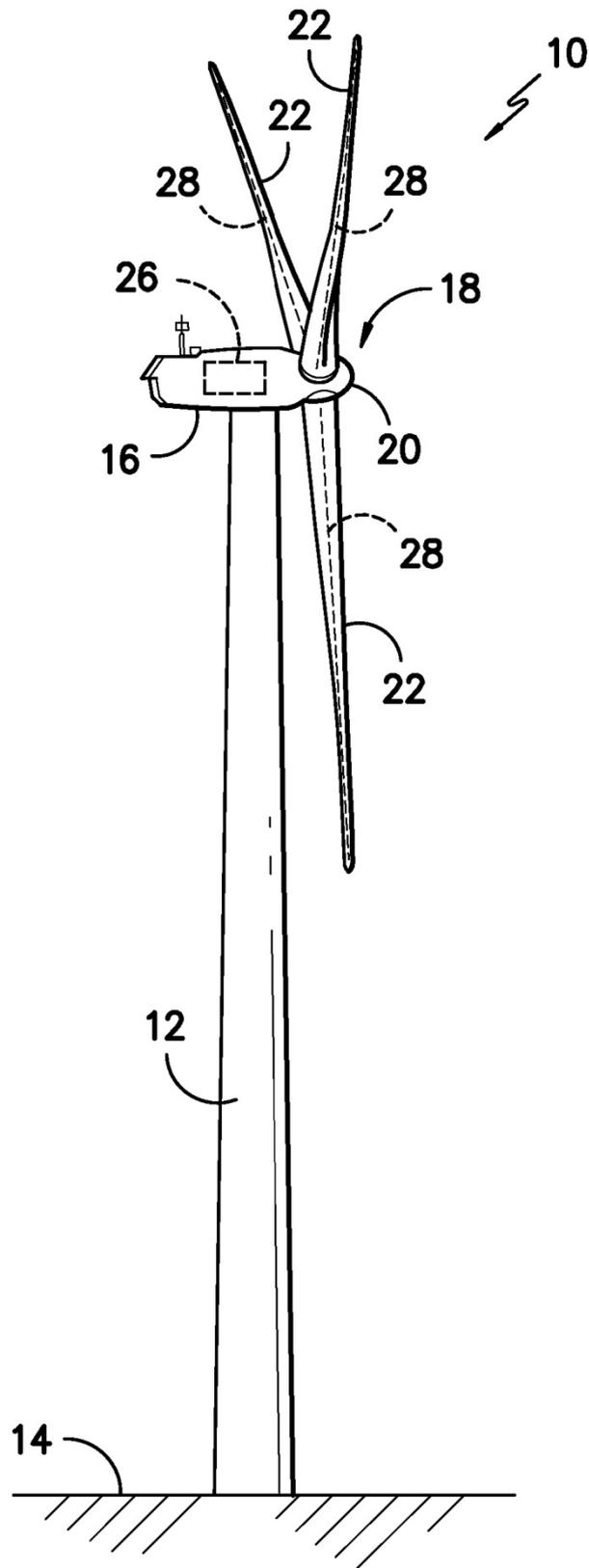


FIG. -1-

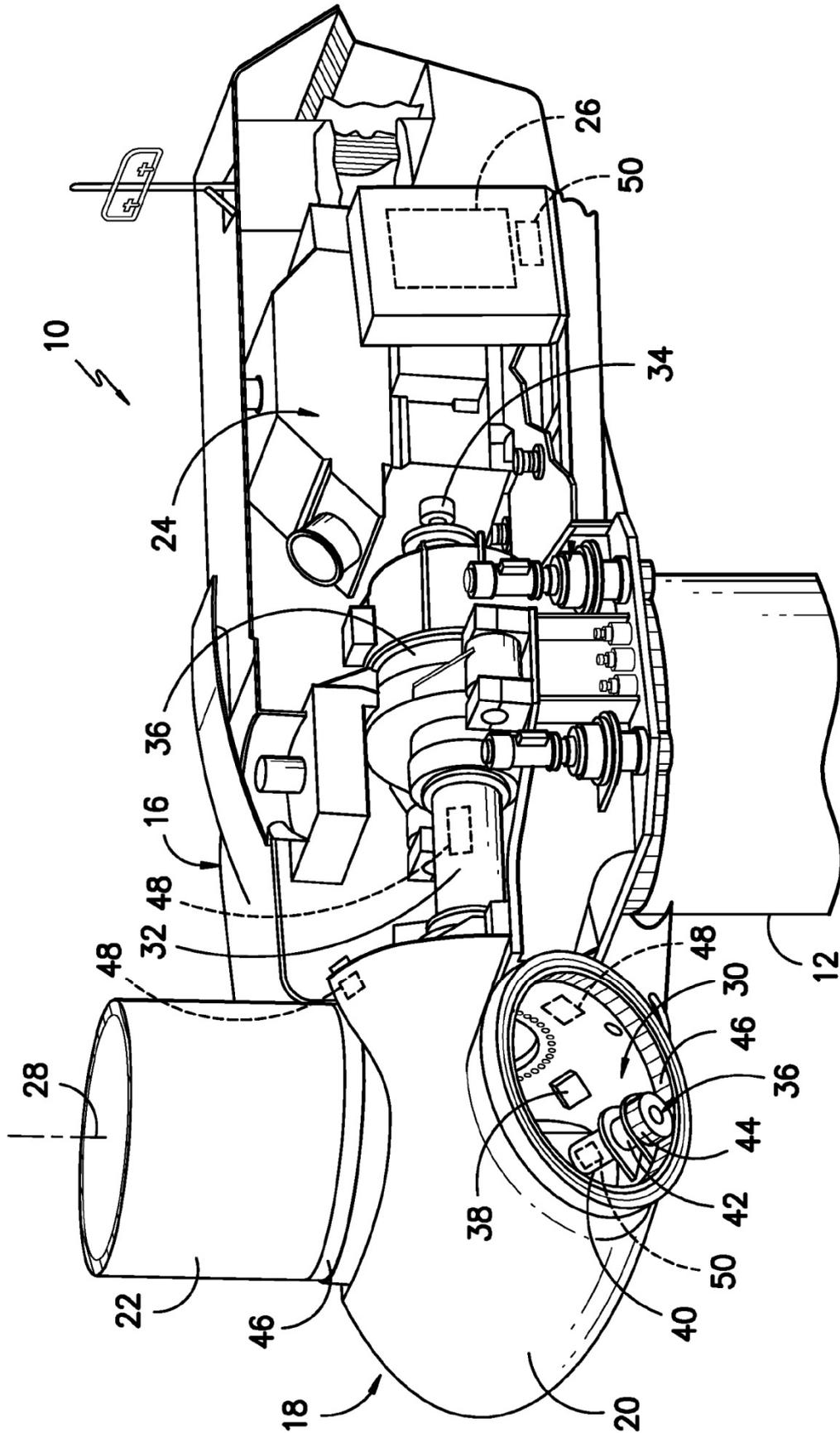


FIG. -2-

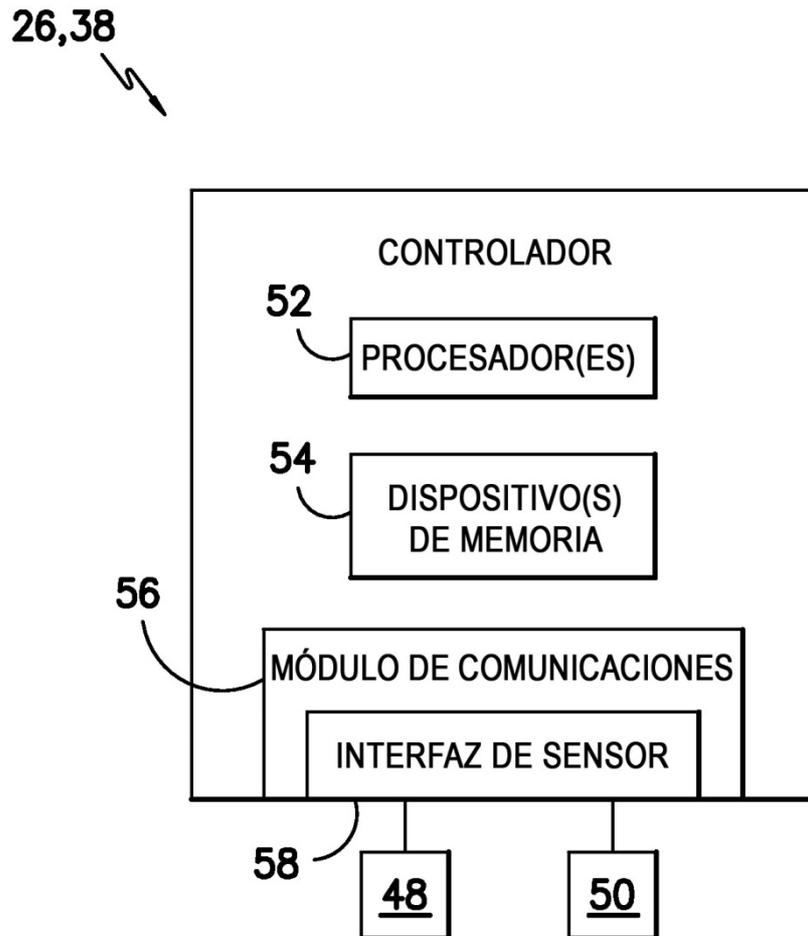


FIG. -3-

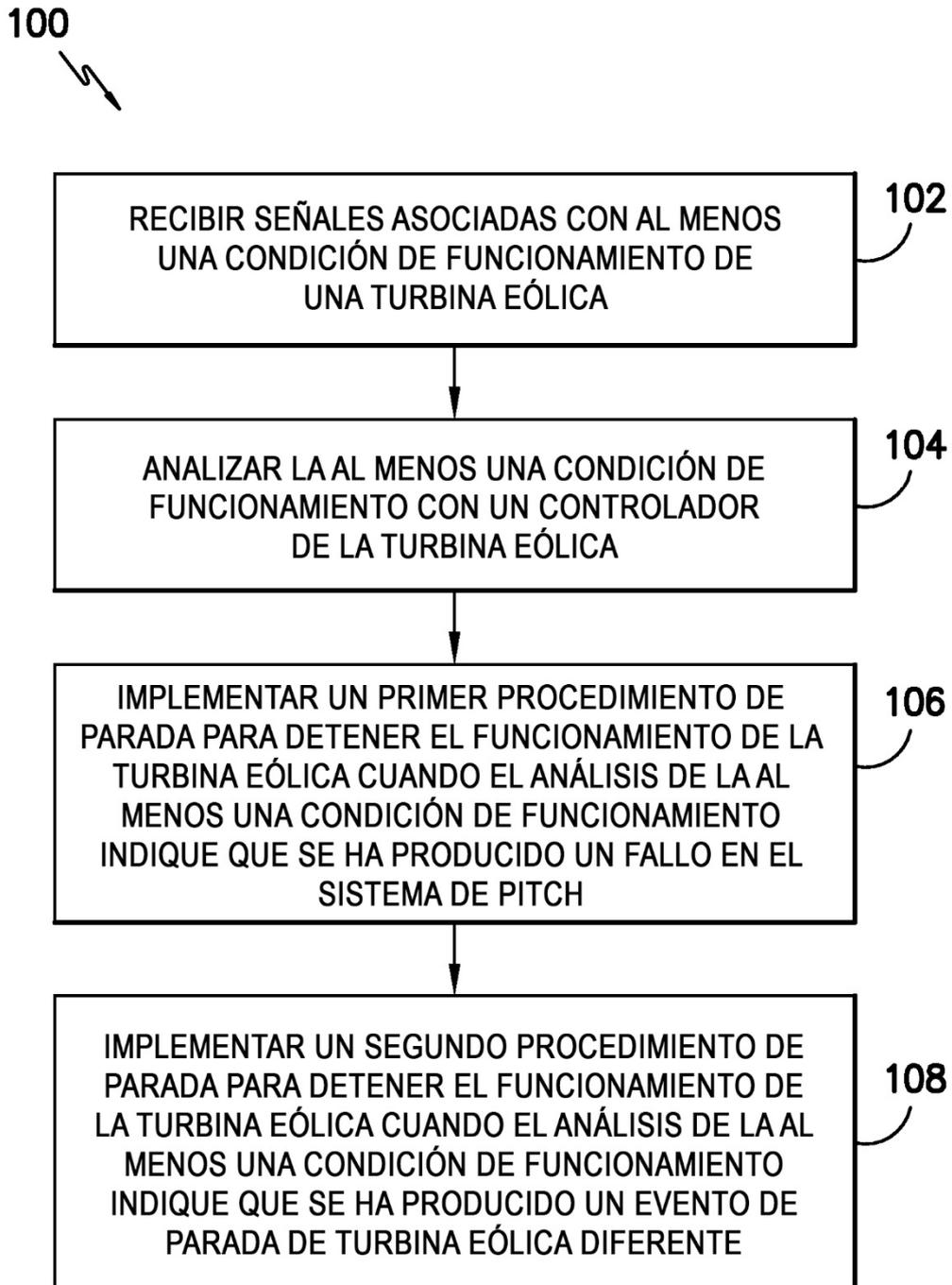


FIG. -4-

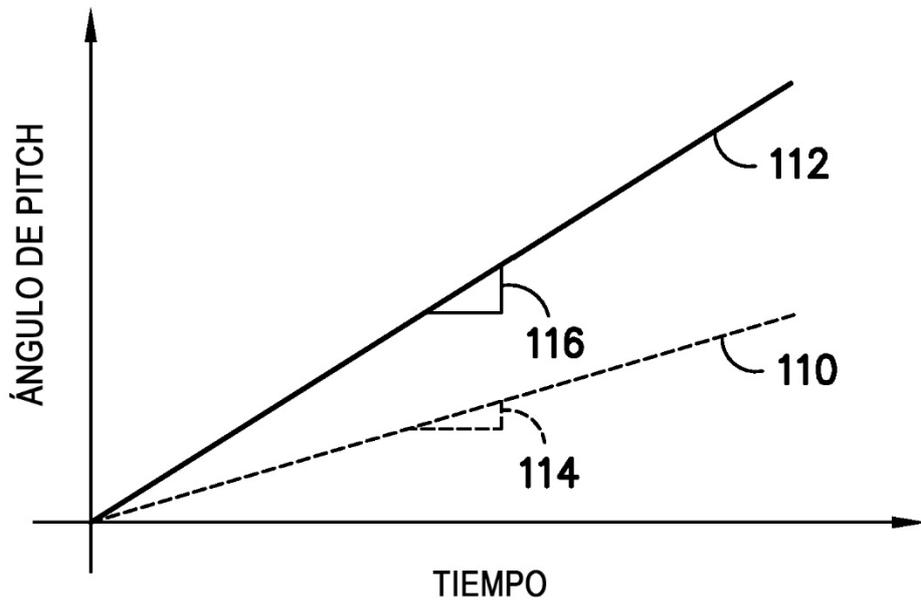


FIG. -5-

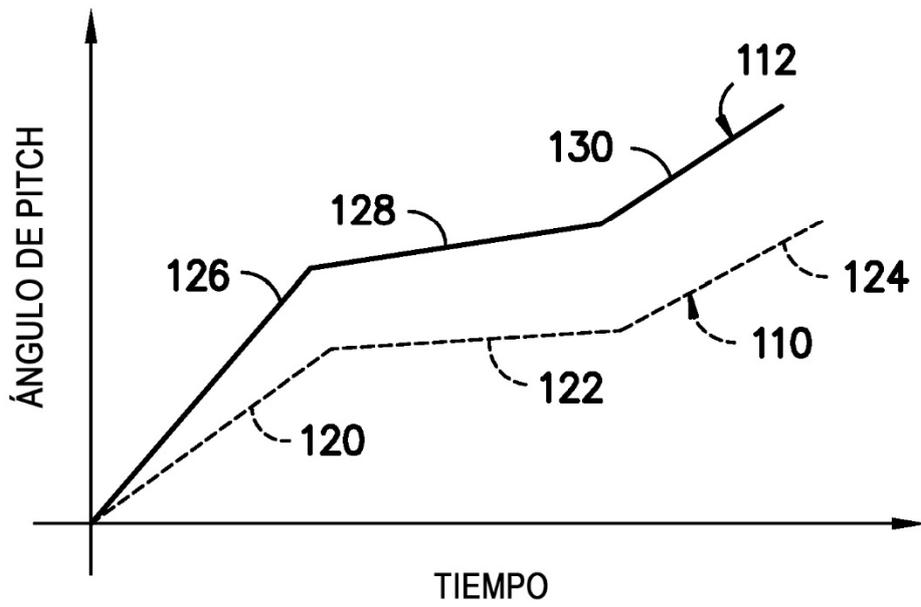


FIG. -6-

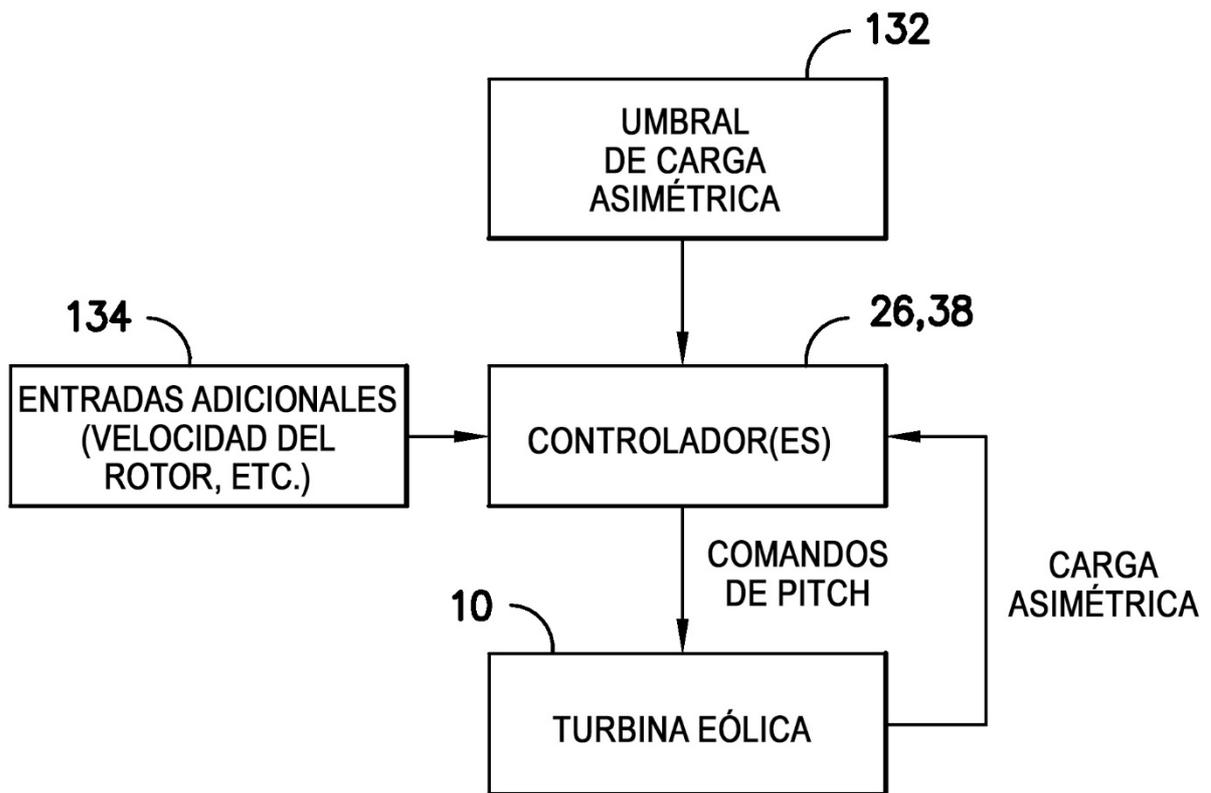


FIG. -7-