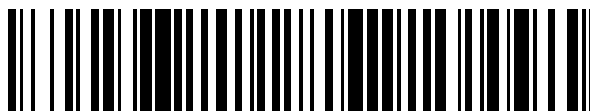


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 901 048**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 80/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.06.2015 E 15170145 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.09.2021 EP 2955370**

54 Título: **Procedimiento y sistema para gestionar cargas en una turbina eólica**

30 Prioridad:

**12.06.2014 US 201414303052**

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

**21.03.2022**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**AGARWAL, PRANAV y  
SHAH, JIGAR JAYESH**

74 Agente/Representante:

**FORTEA LAGUNA, Juan José**

**ES 2 901 048 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema para gestionar cargas en una turbina eólica

5 **[0001]** Los modos de realización de la presente divulgación están relacionados, en general, con turbinas eólicas y, más en particular, con un sistema y procedimiento para controlar turbinas eólicas.

10 **[0002]** En los sistemas de control de turbinas eólicas, el control de pitch cíclico también conocido como control de desequilibrio de rotor (RIC) se usa para mitigar las cargas de desequilibrio de rotor en un eje de orientación ("yaw") y un eje de cabeceo que surgen debido al muestreo de un campo de viento no homogéneo por las palas de turbina eólica. Véase el documento WO 2013/182204, por ejemplo. El pitch cíclico de las palas en las frecuencias estática (0P), de rotación (IP) y múltiple (por ejemplo, 2P) facilita la reducción de la energía en las frecuencias 0P, IP y 2P en las cargas de desequilibrio del eje de orientación y del eje de cabeceo. La activación de este RIC está condicionada a una salida de potencia actual de la turbina eólica, que se correlaciona con las cargas de desequilibrio del eje de orientación y del eje de cabeceo esperadas en cada nivel de salida de potencia potencial. A medida que la salida de potencia pasa de un valor bajo, por ejemplo, aproximadamente un 65 % de la potencia nominal a un valor mayor, por ejemplo, aproximadamente un 80 % de la potencia nominal, el RIC pasa de la activación cero a la activación completa. Este esquema de activación supone una determinada relación monótona entre las cargas de desequilibrio de rotor y la salida de potencia de la turbina. Sin embargo, existen supuestos donde esta relación no se conserva y la turbina podría experimentar cargas de alto desequilibrio de rotor incluso con bajas salidas de potencia. Dichas situaciones pueden ser condiciones de alta variación de la velocidad del viento con la altura ("wind shear"), desalineación del viento a velocidades de viento bajas/medias y turbulencia intensa. En dichos supuestos, aunque el subsistema de RIC podría ayudar a mitigar las cargas de desequilibrio de rotor, permanece desactivado debido a la baja salida de potencia. Un posible enfoque para aliviar una situación de este tipo es reducir el umbral de la potencia para activar el subsistema de RIC. Sin embargo, eso impone sanciones a la producción anual de energía (AEP) al pitchear las palas cuando no es necesario y al añadirlas al ciclo de trabajo de control de pitch. Por tanto, se proporcionan diversos aspectos y modos de realización de la presente invención, como se define por las reivindicaciones adjuntas.

20 **[0003]** Diversas características, aspectos y ventajas de la presente divulgación se entenderán mejor cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que caracteres similares representan partes similares en todos los dibujos, en los que:

35 La FIG. 1 es un diagrama de bloques de un sistema de generación de potencia de ejemplo que incluye un generador de potencia;

la FIG. 2 es una vista en perspectiva de una turbina eólica que se puede usar en el sistema de generación de potencia mostrado en la FIG. 1;

40 la FIG. 3 es una vista en perspectiva parcialmente recortada de una parte de la turbina eólica mostrada en la FIG. 2;

45 la FIG. 4 es un diagrama de bloques de un dispositivo informático de ejemplo que se puede usar para monitorizar y/o controlar el funcionamiento de la turbina eólica mostrada en las FIGS. 2 y 3;

la FIG. 5 es un diagrama de flujo de un procedimiento implementado por ordenador para gestionar cargas en la turbina eólica mostrada en la FIG. 2; y

50 la FIG. 6 es un diagrama de flujo de datos de un subsistema de activación de control de desequilibrio de rotor (RIC) que se puede usar con la turbina eólica mostrada en la FIG. 2.

55 **[0004]** A menos que se indique de otro modo, los dibujos proporcionados en el presente documento pretenden ilustrar características de modos de realización de la divulgación. Se cree que estas características son aplicables en una amplia variedad de sistemas que comprenden uno o más modos de realización de la divulgación. Como tal, los dibujos no pretenden incluir todas las características convencionales conocidas por los expertos en la técnica que se requieren para la práctica de los modos de realización divulgados en el presente documento.

60 **[0005]** En la siguiente memoria descriptiva y las reivindicaciones, se hará referencia a una serie de términos, que se definirán para que tengan los siguientes significados.

**[0006]** Las formas en singular "un", "una" y "el/la" incluyen referencias al plural a menos que el contexto lo indique claramente de otro modo.

65 **[0007]** "Opcional" u "opcionalmente" significa que el evento o circunstancia descrito posteriormente se puede producir o no, y que la descripción incluye casos donde se produce el evento y casos donde no se produce.

- 5 **[0008]** El lenguaje aproximado, como se usa en el presente documento en toda la memoria descriptiva y las reivindicaciones, se puede aplicar para modificar cualquier representación cuantitativa que podría variar de forma admisible sin dar como resultado un cambio en la función básica con la que está relacionada. En consecuencia, un valor modificado por un término o términos, tal como "aproximadamente" y "sustancialmente", no se ha de limitar al valor preciso especificado. En al menos algunos casos, el lenguaje aproximado puede corresponder a la precisión de un instrumento para medir el valor. Aquí y en toda la memoria descriptiva y las reivindicaciones, las limitaciones de intervalo se pueden combinar y/o intercambiar, dichos intervalos se identifican e incluyen todos los subintervalos contenidos en los mismos a menos que el contexto o el lenguaje lo indique de otro modo.
- 10 **[0009]** Como se usa en el presente documento, los términos "procesador" y "ordenador" y términos relacionados, por ejemplo, "dispositivo de procesamiento" y "dispositivo informático", no se limitan solo a los circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como un ordenador, sino que en general se refieren a un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables, y estos términos se usan de manera intercambiable en el presente documento. En los modos de realización descritos en el presente documento, la memoria puede incluir, pero no se limita a, un medio legible por ordenador, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM), y un medio legible por ordenador no volátil, tal como una memoria flash. De forma alternativa, también se puede usar un disquete, un disco compacto, memoria de sólo lectura (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD) y/o un disco digital versátil (DVD). Además, en los modos de realización descritos en el presente documento, los canales de entrada adicionales pueden ser, pero no se limitan a, periféricos de ordenador asociados con una interfaz de operador, tal como un ratón y un teclado. De forma alternativa, también se pueden usar otros periféricos de ordenador que pueden incluir, por ejemplo, pero no se limitan a, un escáner. Además, en el modo de realización de ejemplo, los canales de salida adicionales pueden incluir, pero no se limitan a, un monitor de interfaz de operador.
- 20 **[0010]** Además, como se usa en el presente documento, los términos "software" y "firmware" son intercambiables e incluyen cualquier programa informático almacenado en la memoria para su ejecución por ordenadores personales, estaciones de trabajo, clientes y servidores.
- 30 **[0011]** Como se usa en el presente documento, el término "medio no transitorio legible por ordenador" pretende ser representativo de cualquier dispositivo tangible basado en ordenador implementado en cualquier procedimiento o tecnología para el almacenamiento de información a corto plazo y largo plazo, tal como, instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos y submódulos de programa u otros datos en cualquier dispositivo. Por lo tanto, los procedimientos descritos en el presente documento se pueden codificar como instrucciones ejecutables incorporadas en un medio tangible, no transitorio, legible por ordenador, que incluye, sin limitación, un dispositivo de almacenamiento y/o un dispositivo de memoria. Dichas instrucciones, cuando se ejecutan por un procesador, hacen que el procesador realice al menos una parte de los procedimientos descritos en el presente documento. Además, como se usa en el presente documento, el término "medios no transitorios legibles por ordenador" incluye todos los medios tangibles, legibles por ordenador, incluyendo, sin limitación, dispositivos de almacenamiento informático no transitorio, incluyendo, sin limitación, medios volátiles y no volátiles, y medios extraíbles y no extraíbles tales como firmware, almacenamiento físico y virtual, CD-ROM, DVD y cualquier otra fuente digital tal como una red o Internet, así como medios digitales aún por desarrollar, con la única excepción de ser una señal transitoria que se propaga.
- 40 **[0012]** Además, como se usa en el presente documento, el término "tiempo real" se refiere al menos a uno del tiempo de la aparición de los eventos asociados, el tiempo de la medición y recopilación de datos predeterminados, el tiempo de procesar los datos y el tiempo de una respuesta del sistema a los eventos y al entorno. En los modos de realización descritos en el presente documento, estas actividades y eventos se producen de forma sustancialmente instantánea.
- 50 **[0013]** Como se describe anteriormente, los controles de desequilibrio de rotor (RIC) (accionamiento de pitch cíclico) se usan para mitigar las cargas de desequilibrio de rotor en un eje de orientación y un eje de cabeceo que surgen debido al muestreo de un campo de viento no homogéneo por las palas de turbina eólica. Los modos de realización de la presente divulgación describen el aumento de la condición de activación de nivel de potencia de RIC con una condición de activación basada en carga desequilibrada para activar el bucle de control de RIC. Las cargas medidas usadas se reciben de sensores de proximidad. Una configuración de este tipo proporciona ventajas técnicas sobre los sistemas actuales, a saber, la activación de RIC usando cargas medidas asegura que el RIC esté activo cuando se requiera en lugar de que la activación se base en una variable sustituta, tal como la salida de potencia de la turbina eólica, que no siempre puede ser un sustituto exacto de las cargas, que el subsistema de RIC pretende mitigar. La configuración de activación de cargas medidas también posibilita la gestión de cargas para facilitar la reducción del impacto en el incremento del ciclo de trabajo de pitch o la pérdida de producción de energía anual (AEP) debido al control del subsistema de RIC hiperactivo cuando no se requiere. La configuración de activación de cargas medidas también facilita la reducción de las cargas de desequilibrio de rotor durante las condiciones de apagado durante una desalineación de orientación excesiva, una cizalladura del viento excesiva y una turbulencia del viento intensa, lo que dará como resultado una reducción de las cargas de transmisión de diseño en la brida del buje y las cargas superiores de torre.
- 65

**[0014]** La FIG. 1 es un diagrama de bloques de un sistema de generación de potencia 10 de ejemplo que incluye un generador de potencia 12. El generador de potencia 12 incluye una o más unidades de generación de potencia 14. Las unidades de generación de potencia 14 pueden incluir, por ejemplo, turbinas eólicas, celdas solares, celdas de combustible, generadores geotérmicos, generadores de energía hidroeléctrica y/u otros dispositivos que generan potencia a partir de fuentes de energía renovables y/o no renovables. Aunque se muestran tres unidades de generación de potencia 14 en el modo de realización de ejemplo, en otros modos de realización, el generador de potencia 12 puede incluir un número cualquiera adecuado de unidades de generación de potencia 14, incluyendo solo una unidad de generación de potencia 14.

**[0015]** En el modo de realización de ejemplo, el generador de potencia 12 está acoplado a un convertidor de potencia 16 que está configurado para convertir una salida de potencia de sustancialmente corriente continua (CC) del generador de potencia 12 en potencia de corriente alterna (CA). La potencia de CA se transmite a una red de distribución eléctrica 18 o "red eléctrica". El convertidor de potencia 16, en el modo de realización de ejemplo, ajusta una amplitud del voltaje y/o corriente de la potencia de CA convertida a una amplitud adecuada para la red de distribución eléctrica 18, y proporciona potencia de CA a una frecuencia y una fase que son sustancialmente iguales a la frecuencia y fase de la red de distribución eléctrica 18. Además, en el modo de realización de ejemplo, el convertidor de potencia 16 está configurado para proporcionar potencia de CA trifásica a la red de distribución eléctrica 18. De forma alternativa, el convertidor de potencia 16 puede proporcionar potencia de CA monofásica o cualquier otro número de fases de potencia de CA a la red de distribución eléctrica 18. Además, en algunos modos de realización, el sistema de generación de potencia 10 puede incluir más de un convertidor de potencia 16. Por ejemplo, en algunos modos de realización, cada unidad de generación de potencia 14 puede estar acoplada a un convertidor de potencia 16 separado.

**[0016]** En el modo de realización de ejemplo, las unidades de generación de potencia 14 incluyen una o más turbinas eólicas 20 (mostradas en la FIG. 2) acopladas para facilitar el funcionamiento del sistema de generación de potencia 10 a una salida de potencia deseada. Cada turbina eólica 20 está configurada para generar potencia de sustancialmente corriente continua. Las turbinas eólicas 20 están acopladas al convertidor de potencia 16, o al sistema de convertidor de potencia 16, que convierte la potencia de CC en potencia de CA que se transmite a la red de distribución eléctrica 18. Los procedimientos y sistemas se describirán además en el presente documento con referencia a un sistema de generación de potencia basado en turbinas eólicas de este tipo. Sin embargo, los procedimientos y sistemas descritos en el presente documento son aplicables a cualquier tipo de sistema de generación eléctrica.

**[0017]** La FIG. 2 es una vista en perspectiva de la turbina eólica 20 (por ejemplo, una turbina eólica de eje horizontal que incluye un rotor 24 configurado para girar alrededor de un eje longitudinal horizontal 26) que se puede usar en el sistema de generación de potencia 10. La FIG. 3 es una vista en perspectiva parcialmente recortada de una parte de la turbina eólica 20. La turbina eólica 20 descrita y mostrada en el presente documento es un generador de turbina eólica para generar potencia eléctrica a partir de energía eólica. Además, la turbina eólica 20 descrita e ilustrada en el presente documento incluye una configuración de eje horizontal. Sin embargo, en algunos modos de realización, la turbina eólica 20 puede incluir, además o como alternativa a la configuración de eje horizontal, una configuración de eje vertical (no mostrada). La turbina eólica 20 puede estar acoplada a la red de distribución eléctrica 18 (mostrada en la FIG. 1), para recibir potencia eléctrica de la misma para impulsar el funcionamiento de la turbina eólica 20 y/o sus componentes asociados y/o para suministrar potencia eléctrica generada por la turbina eólica 20 a la misma. Aunque solo se muestra una turbina eólica 20 en las figuras 2 y 3, en algunos modos de realización, se pueden agrupar conjuntamente una pluralidad de turbinas eólicas 20, a veces denominadas "parque eólico".

**[0018]** La turbina eólica 20 incluye un cuerpo o góndola 22 y un rotor (designado en general por 24) acoplado a la góndola 22 para su rotación con respecto a la góndola 22 alrededor de un eje de rotación de orientación 52. Un momento de orientación, Morientación, actúa alrededor del eje de rotación de orientación 52 para tender a hacer girar la góndola 22 hacia adelante y hacia atrás alrededor del eje de rotación de orientación 52. Un momento de cabeceo, Mcabeceo, actúa alrededor del eje de cabeceo 54 para tender a hacer girar la góndola 22 o un buje 30 alrededor del eje de cabeceo 54, por ejemplo, en casos de un gradiente de viento vertical que ejerce una fuerza desigual sobre las palas 32 durante un arco superior de su rotación en comparación con un arco inferior de su rotación alrededor del eje 26. Uno o más sensores de proximidad 56 se sitúan dentro de la góndola 22 para medir el momento de cabeceo, Mcabeceo, y uno o más sensores de proximidad 58 se sitúan dentro de la góndola 22 para medir el momento de orientación, Morientación. En el modo de realización de ejemplo, la góndola 22 está montada en una torre 28. Sin embargo, en algunos modos de realización, además o como alternativa a la góndola 22 montada en torre, la góndola 22 puede estar situada contigua al suelo (no mostrado) y/o a una superficie de agua (no mostrada). La altura de la torre 28 puede ser cualquier altura adecuada que posibilite que la turbina eólica 20 funcione como se describe en el presente documento. El rotor 24 incluye un buje 30 y una pluralidad de palas 32 (a veces denominadas "aspas aerodinámicas") que se extienden radialmente hacia fuera desde el buje 30 para convertir la energía eólica en energía de rotación. Aunque el rotor 24 se describe e ilustra en el presente documento teniendo tres palas 32, el rotor 24 puede tener un número cualquiera de palas 32. Cada una de las palas 32 puede tener cualquier longitud que permita que la turbina eólica 20 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, en algunos modos de realización, una o más palas 32 de rotor tienen aproximadamente medio metro

de largo, mientras que en algunos modos de realización una o más palas 32 de rotor tienen aproximadamente cincuenta metros de largo. Otros ejemplos de longitudes de palas incluyen diez metros o menos, aproximadamente veinte metros, aproximadamente treinta y siete metros y aproximadamente cuarenta metros. Todavía otros ejemplos incluyen palas de rotor entre aproximadamente cincuenta y aproximadamente cien metros de largo, y palas de rotor de más de cien metros de largo.

**[0019]** La turbina eólica 20 incluye un generador eléctrico 34 acoplado al rotor 24 para generar potencia eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 24. El generador 34 puede ser cualquier tipo adecuado de generador eléctrico, tal como, pero sin limitarse a, un generador de inducción de rotor bobinado, un generador de inducción de doble alimentación (DFIG, también conocido como generador asíncrono de doble alimentación), un generador síncrono de imanes permanentes (PM), un generador síncrono excitado eléctricamente y un generador de reluctancia conmutada. El generador 34 incluye un estátor de generador (no mostrado en la FIG. 2 o 3) y un rotor de generador (no mostrado en la FIG. 2 o 3) con un espacio de aire incluido entre los mismos. El rotor 24 incluye un eje de rotor 36 acoplado al buje 30 de rotor para su rotación con el mismo. El generador 34 está acoplado al eje de rotor 36 de modo que la rotación del eje de rotor 36 impulsa la rotación del rotor de generador y, por lo tanto, el funcionamiento del generador 34. En el modo de realización de ejemplo, el generador 34 incluye un eje de generador 38 acoplado al mismo y acoplado al eje de rotor 36 de modo que la rotación del eje de rotor 36 impulsa la rotación del rotor de generador. En otros modos de realización, el rotor de generador está acoplado directamente al eje de rotor 36, a veces denominado "turbina eólica de transmisión directa". En el modo de realización de ejemplo, el eje de generador 38 está acoplado al eje de rotor 36 a través de una multiplicadora 40, aunque en otros modos de realización el eje de generador 38 está acoplado directamente al eje de rotor 36.

**[0020]** El par del rotor 24 impulsa el rotor de generador para generar potencia eléctrica de CA de frecuencia variable a partir de la rotación del rotor 24. El generador 34 tiene un par de espacio de aire entre el rotor de generador y el estátor de generador que se opone al par del rotor 24. Un conjunto de conversión de potencia 42 está acoplado al generador 34 para convertir la CA de frecuencia variable en una CA de frecuencia fija para su suministro a una carga eléctrica (no mostrada), tal como, pero sin limitarse a, la red de distribución eléctrica 18 (mostrada en la FIG. 1), acoplada al generador 34. El conjunto de conversión de potencia 42 puede incluir un convertidor de frecuencia único o una pluralidad de convertidores de frecuencia configurados para convertir la electricidad generada por el generador 34 en electricidad adecuada para su suministro a la red eléctrica. El conjunto de conversión de potencia 42 también se puede denominar en el presente documento convertidor de potencia. El conjunto de conversión de potencia 42 puede estar ubicado en cualquier lugar dentro o alejado de la turbina eólica 20. Por ejemplo, el conjunto de conversión de potencia 42 puede estar ubicado dentro de una base (no mostrada) de la torre 28.

**[0021]** En el modo de realización de ejemplo, la turbina eólica 20 incluye al menos un controlador de sistema 44 acoplado a al menos un componente de la turbina eólica 20 para controlar en general el funcionamiento de la turbina eólica 20 y/o controlar el funcionamiento de los componentes de la misma. Por ejemplo, el controlador de sistema 44 se puede configurar para controlar el funcionamiento del conjunto de conversión de potencia 42, un freno de disco 46, un sistema de control de orientación 48 y/o un sistema de control de pitch de palas variable 50. El freno de disco 46 frena la rotación del rotor 24 para, por ejemplo, ralentizar la rotación del rotor 24, frenar el rotor 24 contra el par de viento completo y/o reducir la generación de potencia eléctrica del generador eléctrico 34. El sistema de control de orientación 48 hace girar la góndola 22 alrededor del eje de rotación de orientación 52 para cambiar una orientación del rotor 24, y más específicamente para cambiar una dirección en la que mira el rotor 24 para, por ejemplo, ajustar un ángulo entre la dirección en la que mira el rotor 24 y una dirección del viento. Otros sensores 60 están acoplados de forma comunicativa al controlador de sistema para su uso en la comunicación de dichos valores de parámetros que se detectan por otros sensores 60. Por ejemplo, otros sensores incluyen sensores de medición de parámetros eléctricos, tales como un sensor de nivel de salida de potencia 62 configurado para detectar la salida de potencia real y reactiva del generador 34.

**[0022]** Además, el sistema de control de pitch de palas variable 50 controla, incluyendo, pero sin limitarse a, cambiar, un ángulo de pitch de las palas 32 (mostradas en las figuras 2-3) con respecto a la dirección del viento. El sistema de control de pitch 50 puede estar acoplado al controlador de sistema 44 para su control de este modo. El sistema de control de pitch 50 está acoplado al buje 30 y a las palas 32 para cambiar el ángulo de pitch de las palas 32 haciendo girar las palas 32 con respecto al buje 30. El sistema de control de pitch 50 puede incluir cualquier estructura, configuración, disposición, medios y/o componentes adecuados, ya sea que se describan y/o se muestren en el presente documento, tales como, pero sin limitarse a, motores eléctricos, cilindros hidráulicos, resortes y/o servomecanismos. Además, el sistema de control de pitch 50 puede estar impulsado por cualquier medio adecuado, ya sea que se describa y/o se muestre en el presente documento, tal como, pero sin limitarse a, fluido hidráulico, potencia eléctrica, potencia electroquímica y/o potencia mecánica, tal como, pero sin limitarse a, fuerza de resorte.

**[0023]** La FIG. 4 es un diagrama de bloques de un dispositivo informático 400 de ejemplo que se puede usar para monitorizar y/o controlar el funcionamiento de la turbina eólica 20 (mostrada en las FIGS. 2 y 3). El dispositivo informático 400 incluye un dispositivo de memoria 402 y un procesador 404 acoplado de forma operativa al dispositivo de memoria 402 para ejecutar instrucciones. Como se usa en el presente documento, el término

"procesador" incluye cualquier circuito programable adecuado tal como, sin limitación, uno o más sistemas y microcontroladores, microprocesadores, una unidad central de procesamiento (CPU) de propósito general, circuitos con conjunto de instrucciones reducido (RISC), circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC), circuitos lógicos programables (PLC), matrices de puertas programables en campo (FPGA) y/o cualquier otro  
 5 circuito que pueda ejecutar las funciones descritas en el presente documento. Los ejemplos anteriores son solo de ejemplo y, por tanto, no pretenden limitar de ningún modo la definición y/o el significado del término "procesador".

**[0024]** El procesador 404 puede incluir una o más unidades de procesamiento (por ejemplo, en una configuración de múltiples núcleos). En algunos modos de realización, las instrucciones ejecutables se almacenan en el  
 10 dispositivo de memoria 402. El dispositivo informático 400 se puede configurar para realizar una o más operaciones descritas en el presente documento por el procesador 404 de programación. Por ejemplo, el procesador 404 se puede programar codificando una operación como una o más instrucciones ejecutables y proporcionando las instrucciones ejecutables en el dispositivo de memoria 402.

**[0025]** Además, en el modo de realización de ejemplo, el dispositivo de memoria 402 es al menos un dispositivo acoplado al procesador 404 que posibilita el almacenamiento y recuperación de información tal como instrucciones y datos ejecutables por ordenador, incluyendo, sin limitación, datos operativos, parámetros, consignas, valores de umbral y/o cualesquiera otros datos que posibiliten al dispositivo informático 400 funcionar como se describe en el  
 15 presente documento. El dispositivo de memoria 402 puede incluir uno o más medios tangibles, no transitorios, legibles por ordenador, tales como, sin limitación, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM), memoria estática de acceso aleatorio (SRAM), un disco de estado sólido, un disco duro, memoria de solo lectura (ROM), ROM programable y borrrable (EPROM), ROM programable y borrrable eléctricamente (EEPROM) y/o memoria RAM no volátil (NVRAM). Los tipos de memoria anteriores son solo de  
 20 ejemplo y, por tanto, no son limitantes de los tipos de memoria utilizables para el almacenamiento de un programa informático.

**[0026]** El dispositivo de memoria 402 se puede configurar para almacenar mediciones operativas que incluyen, sin limitación, lecturas de voltaje y corriente de la red de energía eléctrica, lecturas de voltaje y corriente de la subestación, lecturas de voltaje y corriente localizadas en toda la turbina eólica 20, incluyendo un sistema de energía eléctrica auxiliar 405 y un sistema de generación de energía eléctrica 407, y/o cualquier otro tipo de datos. En algunos modos de realización, el procesador 404 elimina o "purga" datos del dispositivo de memoria 402 en base a la antigüedad de los datos. Por ejemplo, el procesador 404 puede sobrescribir datos previamente registrados y almacenados asociados con una hora y/o evento posterior. Además, o de forma alternativa, el  
 30 procesador 404 puede eliminar datos que superen un intervalo de tiempo predeterminado. Además, el dispositivo de memoria 402 incluye, sin limitación, suficientes datos, algoritmos y comandos para facilitar el control centralizado y distribuido del sistema de protección y control 409 de la red de distribución eléctrica 18.

**[0027]** En algunos modos de realización, el dispositivo informático 400 incluye una interfaz de presentación 406 acoplada al procesador 404. La interfaz de presentación 406 presenta información, tal como una interfaz de usuario y/o una alarma, a un usuario 408. En un modo de realización, la interfaz de presentación 406 incluye un adaptador de pantalla (no mostrado) que está acoplado a un dispositivo de pantalla (no mostrado), tal como un tubo de rayos catódicos (CRT), una pantalla de cristal líquido (LCD), una pantalla de LED orgánico (OLED) y/o una pantalla de "tinta electrónica". En algunos modos de realización, la interfaz de presentación 406 incluye uno o más dispositivos de pantalla. Además, o de forma alternativa, la interfaz de presentación 406 incluye un dispositivo de salida de audio (no mostrado) (por ejemplo, un adaptador de audio y/o un altavoz) y/o una impresora (no mostrada). En algunos modos de realización, la interfaz de presentación 406 presenta una alarma asociada con una máquina síncrona (no mostrada en la FIG. 1), tal como usando una interfaz hombre-máquina (HMI) (no mostrada).  
 45

**[0028]** En algunos modos de realización, el dispositivo informático 400 incluye una interfaz de entrada de usuario 410. En el modo de realización de ejemplo, la interfaz de entrada de usuario 410 está acoplada al procesador 404 y recibe la entrada del usuario 408. La interfaz de entrada de usuario 410 puede incluir, por ejemplo, un teclado, un dispositivo señalador, un ratón, un lápiz óptico, un panel sensible al tacto (por ejemplo, un panel táctil o una pantalla táctil) y/o una interfaz de entrada de audio (por ejemplo, que incluye un micrófono). Un único componente, tal como una pantalla táctil, puede funcionar tanto como dispositivo de pantalla de la interfaz de presentación 406 como de interfaz de entrada de usuario 410.  
 50

**[0029]** Una interfaz de comunicación 412 está acoplada al procesador 404 y está configurada para acoplarse en comunicación con uno o más de otros dispositivos, tales como un sensor u otro dispositivo informático 400, y para realizar operaciones de entrada y salida con respecto a dichos dispositivos. Por ejemplo, la interfaz de comunicación 412 puede incluir, sin limitación, un adaptador de red por cable, un adaptador de red inalámbrica, un adaptador de telecomunicaciones móviles, un adaptador de comunicación en serie y/o un adaptador de comunicación en paralelo. La interfaz de comunicación 412 puede recibir datos desde y/o transmitir datos a uno o más dispositivos remotos. Por ejemplo, una interfaz de comunicación 412 de un dispositivo informático 400 puede transmitir una alarma a la interfaz de comunicación 412 de otro dispositivo informático 400.  
 60

**[0030]** La interfaz de presentación 406 y/o la interfaz de comunicación 412 pueden ambas proporcionar información adecuada para su uso con los procedimientos descritos en el presente documento (por ejemplo, al usuario 408 o a otro dispositivo). En consecuencia, la interfaz de presentación 406 y la interfaz de comunicación 412 se pueden denominar dispositivos de salida. De forma similar, la interfaz de entrada de usuario 410 y la interfaz de comunicación 412 pueden recibir información adecuada para su uso con los procedimientos descritos en el presente documento y se pueden denominar dispositivos de entrada.

**[0031]** La FIG. 5 es un diagrama de flujo de un procedimiento implementado por ordenador 500 para gestionar cargas en la turbina eólica 20 mostrada en la FIG. 2. La FIG. 6 es un diagrama de flujo de datos de un subsistema de activación de control de desequilibrio de rotor (RIC) 600 que se puede usar con la turbina eólica 20 (mostrada en la FIG. 2). En el modo de realización de ejemplo, el procedimiento 500 se implementa usando el procesador 404 mostrado en la FIG. 4 acoplado al dispositivo de memoria 402 mostrado en la FIG. 4. El procedimiento 500 incluye determinar 502 un momento de cabeceo (M<sub>cabeceo</sub>) 604 de una carga de viento que actúa alrededor del eje de cabeceo 54 del rotor 24 de la turbina eólica 20, determinando 504 un momento de orientación (M<sub>orientación</sub>) 606 de una carga de viento que actúa alrededor del eje de rotación de orientación 52 del rotor 24 de la turbina eólica 20, y determinar 506 una señal de vector resultante de momento 603 de M<sub>cabeceo</sub> 604 y M<sub>orientación</sub> 606. El procedimiento 500 incluye además generar 508 una señal de error de cargas 610 que indica una diferencia entre la señal de vector resultante de momento 603 y una señal de umbral de nivel de momento predeterminado 608 y generar 510 una primera señal de activación 614 en un intervalo ("over a range") de señales de error de cargas 610 entre un primer nivel de señal de activación cero 615 y un primer nivel de señal de activación completo 616. El procedimiento 500 incluye además generar una señal de carga de viento usando una carga eléctrica de la turbina eólica.

**[0032]** En el modo de realización de ejemplo, el subsistema de activación de RIC 600 está configurado para generar una señal de activación de RIC 601 que se aplica a un subsistema de RIC 602 para controlar una cantidad por la que el subsistema de RIC 602 controla un pitch de palas 32 de la turbina eólica 20. El subsistema de activación de RIC 600 está configurado para recibir una señal de vector resultante de momento ( $\sqrt{M_{\text{cabeceo}}^2 + M_{\text{orientación}}^2}$ ) 603 en relación con los valores actuales de un momento de cabeceo (M<sub>cabeceo</sub>) 604 y un momento de orientación (M<sub>orientación</sub>) 606. El momento de cabeceo (M<sub>cabeceo</sub>) 604 y el momento de orientación (M<sub>orientación</sub>) 606 son señales derivadas de sensores de proximidad situados próximos al rotor 24. La señal de vector resultante de momento 603 se compara con la señal de umbral de nivel de momento 608 en la unión sumadora 609 para generar una señal de error de cargas 610, que se introduce en un bloque de función de error de cargas 612 de la señal de error de cargas 610 con respecto a un valor delta de error, que es un valor seleccionable usado para establecer una pendiente del bloque de función de error de cargas 612. El bloque de función de error de cargas 612 genera la primera señal de activación 614 que varía entre, por ejemplo, el primer nivel de señal de activación cero 615 que no activa el subsistema de RIC 602 al primer nivel de señal de activación completo 616 que activa completamente el subsistema de RIC 602, donde el segundo valor es mayor que el primer valor. En el modo de realización de ejemplo, la primera señal de activación 614 varía entre un nivel cero y un nivel uno, que se incorpora como una señal de voltaje, corriente o frecuencia o un porcentaje de la misma. Entre el primer valor y el segundo valor, el subsistema de RIC 602 puede estar parcialmente activo, lo que significa que el subsistema de RIC 602 está limitado a controlar el pitch a menos de su capacidad total.

**[0033]** De forma similar, el sensor de nivel de potencia 62 proporciona una señal de nivel de potencia 617 indicativa de un nivel de salida de potencia eléctrica de la turbina eólica 20. La señal de nivel de potencia 617 se usa como sustituta de la carga de viento medida en la turbina de viento 20. La señal de nivel de potencia 617 se recibe y se compara con una señal de umbral de nivel de potencia 618 para generar una señal de error de potencia 620 que se introduce en un bloque de función de error de potencia 622. El bloque de función de error de potencia 622 genera una segunda señal de activación 624 que es una función de la señal de error de potencia 620 dividida por un valor delta de potencia que es seleccionable por un usuario. El bloque de función de error de potencia 622 genera una segunda señal de activación 624 que varía entre, por ejemplo, un primer valor que no activa el subsistema de RIC 602 a un segundo valor que activa completamente el RIC, donde el segundo valor es mayor que el primer valor. En el modo de realización de ejemplo, la segunda señal de activación 624 varía entre un nivel cero 626 y un nivel uno 628, que se incorpora como una señal de voltaje, corriente o frecuencia o un porcentaje de la misma. Las primera y segunda señales de activación 614 y 624 se introducen en un bloque de función máxima 630 configurado para seleccionar una señal mayor 632 de las primera y segunda señales de activación 614 y 624 que se van a aplicar al subsistema de RIC 602. También se proporciona una selección de RIC manual 634 para controlar la activación del subsistema de RIC 602 manualmente. Se aplica una señal de activación de RIC 601 al subsistema de RIC 602.

**[0034]** En diversos modos de realización, el bloque de función de error de cargas 612 y el bloque de función de error de potencia 622 se hacen funcionar independientemente o en ausencia del otro. Por ejemplo, si se usa el bloque de función de error de cargas 612 solo para proporcionar la señal de activación de RIC, no sería necesario el bloque de función máxima 630 y la primera señal de activación 614 funcionaría esencialmente como la señal de activación de RIC 601. De forma similar, si se usa el bloque de función de error de potencia 622 solo para proporcionar la señal de activación de RIC, no sería necesario el bloque de función máxima 630 y la segunda señal de activación 624 funcionaría esencialmente como la señal de activación de RIC 601.

5 [0035] Los modos de realización descritos anteriormente de un procedimiento y sistema de activación de un subsistema de control de desequilibrio de rotor (RIC) proporcionan un medio rentable y fiable para activar el subsistema de RIC usando cargas medidas experimentadas por el rotor de turbina. Los modos de realización descritos en el presente documento usan un sistema de activación de RIC basado en cargas medidas para facilitar el funcionamiento exacto en tiempo real del subsistema de RIC durante períodos en los que la carga eléctrica en el generador de turbina no es un sustituto exacto de las cargas de momento en el rotor de turbina. Específicamente, los modos de realización descritos en el presente documento usan sensores de proximidad montados alrededor de la turbina eólica para generar señales que indican las cargas reales experimentadas por la turbina eólica en tiempo real. Por lo tanto, los modos de realización descritos en el presente documento mejoran sustancialmente la exactitud de la activación de RIC sin hacer funcionar el subsistema de RIC cuando no es necesario, reduciendo de este modo los costes de funcionamiento y mantenimiento.

15 [0036] Un efecto técnico de ejemplo de los procedimientos, sistemas y aparatos descritos en el presente documento puede incluir al menos uno de: (a) determinar un primer momento de una carga de viento que actúa alrededor de un primer eje de un rotor de la turbina eólica, (b) determinar un segundo momento de una carga de viento que actúa alrededor de un segundo eje de un rotor de la turbina eólica, (c) determinar, por el procesador, un momento resultante del primer momento y el segundo momento, (d) generar, por el procesador, una señal de error que indica una diferencia entre la señal de momento resultante y una señal de umbral de nivel de momento predeterminado; y (e) generar, por el procesador, una primera señal de activación en un intervalo de las señales de error generadas entre un primer nivel de señal de activación cero y un primer nivel de señal de activación completo.

25 [0037] Los modos de realización de ejemplo de procedimientos, sistemas y aparatos para activar un subsistema de control de desequilibrio de rotor de turbina eólica no se limitan a los modos de realización específicos descritos en el presente documento, sino que los componentes de los sistemas y/o las etapas de los procedimientos se pueden utilizar de forma independiente y separada de otros componentes y/o etapas descritos en el presente documento. Por ejemplo, los procedimientos también se pueden usar en combinación con otros sistemas que requieren sistemas de activación alternativos y los procedimientos asociados, y no se limitan a la práctica solo con los sistemas y procedimientos de supervisión y control de turbinas eólicas como se describe en el presente documento. En cambio, el modo de realización de ejemplo se puede implementar y utilizar en conexión con muchas otras aplicaciones, equipos y sistemas que se pueden beneficiar de procedimientos de activación alternativos de sistemas de control. El alcance de protección está definido por las reivindicaciones adjuntas.

35 [0038] Aunque se pueden mostrar características específicas de diversos modos de realización de la divulgación en algunos dibujos y no en otros, esto es solo por conveniencia. De acuerdo con los principios de la divulgación, se puede hacer referencia a y/o reivindicar cualquier rasgo característico de un dibujo en combinación con cualquier rasgo característico de cualquier otro dibujo. El alcance de protección está definido por las reivindicaciones adjuntas.

40 [0039] Algunos modos de realización implican el uso de uno o más dispositivos electrónicos o informáticos. Dichos dispositivos típicamente incluyen un procesador o controlador, tal como una unidad central de procesamiento (CPU) de propósito general, una unidad de procesamiento de gráficos (GPU), un microcontrolador, un procesador de ordenador de conjunto de instrucciones reducido (RISC), un circuito integrado específico de la aplicación (ASIC), un circuito lógico programable (PLC) y/o cualquier otro circuito o procesador que pueda ejecutar las funciones descritas en el presente documento. Los procedimientos descritos en el presente documento se pueden codificar como instrucciones ejecutables incorporadas en un medio legible por ordenador, incluyendo, sin limitación, un dispositivo de almacenamiento y/o un dispositivo de memoria. Dichas instrucciones, cuando se ejecutan por un procesador, hacen que el procesador realice al menos una parte de los procedimientos descritos en el presente documento. Los ejemplos anteriores son solo de ejemplo y, por tanto, no pretenden limitar de ningún modo la definición y/o el significado del término procesador.

55 [0040] Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar los modos de realización, incluyendo el modo preferente, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica ponga en práctica los modos de realización, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la divulgación está definido por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Dichos otros ejemplos pretenden estar dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales respecto del lenguaje literal de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un procedimiento implementado por ordenador (800) para gestionar cargas en una turbina eólica (20), usando el procedimiento implementado un procesador (404) acoplado a un dispositivo de memoria (402), comprendiendo el procedimiento:

determinar (502, 504) al menos uno de un primer momento de una carga de viento que actúa alrededor de un primer eje de un rotor de la turbina eólica y un segundo momento de la carga de viento que actúa alrededor de un segundo eje del rotor de la turbina eólica;

10 determinar (506), por el procesador (404), un momento resultante del al menos uno del primer momento y el segundo momento;

15 generar (508), por el procesador (404), una señal de error que indica una diferencia entre el momento resultante y una señal de umbral de nivel de momento predeterminado;

20 generar (510), por el procesador (404), una primera señal de activación en un intervalo de señales de error generadas entre un primer nivel de señal de activación cero y un primer nivel de señal de activación completo;

**caracterizado por** las siguientes etapas:

25 generar una señal de error de potencia que indica una diferencia entre la carga eléctrica de la turbina eólica (20) y una señal de umbral de nivel de potencia predeterminado;

30 generar una segunda señal de activación en un intervalo de las señales de error de potencia generadas entre un segundo nivel de señal de activación cero y un segundo nivel de señal de activación completo; y

35 activar un circuito de control de desequilibrio del rotor (24) usando al menos una de la primera señal de activación y la segunda señal de activación.
- 35 2. El procedimiento (500) de la reivindicación 1, en el que determinar un momento que actúa alrededor de un primer eje de un rotor (24) de la turbina eólica (20) comprende determinar un momento que actúa alrededor de un eje de orientación del rotor (24).
- 40 3. El procedimiento (500) de la reivindicación 2, en el que determinar un momento que actúa alrededor de un eje de orientación del rotor (24) comprende medir una fuerza que actúa alrededor del rotor en el eje de orientación usando un sensor de proximidad.
- 45 4. El procedimiento (500) de cualquier reivindicación precedente, en el que determinar un momento que actúa alrededor de un segundo eje de un rotor (24) de la turbina eólica (20) comprende determinar un momento que actúa alrededor de un eje de cabeceo del rotor.
- 50 5. El procedimiento (500) de cualquier reivindicación precedente, en el que determinar un momento que actúa alrededor de un eje de cabeceo del rotor (24) comprende medir una fuerza que actúa sobre el rotor en el eje de cabeceo usando un sensor de proximidad.
- 55 6. El procedimiento (500) de cualquier reivindicación precedente, que comprende además generar una señal de carga de viento usando una carga eléctrica de la turbina eólica (20).
- 60 7. El procedimiento (500) de cualquier reivindicación precedente, en el que generar una segunda señal de activación en un intervalo de las señales de error de potencia generadas entre un segundo nivel de señal de activación cero y un segundo nivel de señal de activación completo comprende generar una segunda señal de activación en un intervalo de las señales de error de potencia generadas entre un segundo nivel de señal de activación cero basado en un primer valor de la carga de turbina nominal y un segundo nivel de señal de activación completo basado en un segundo valor de la carga de turbina nominal, en el que el segundo valor de la carga de turbina nominal es mayor que el primer valor de la carga de turbina nominal.
- 65 8. El procedimiento (500) de cualquier reivindicación precedente, en el que activar un circuito de control de desequilibrio de rotor usando al menos una de la primera señal de activación y la segunda señal de activación comprende activar el circuito de control de desequilibrio de rotor usando una mayor de la al menos una de la primera señal de activación y la segunda señal de activación.
- 65 9. Un sistema de gestión de cargas de turbina eólica (10) que comprende:

- 5 un primer sensor (56) configurado para generar al menos una de una primera señal de carga en relación con una carga en un rotor (24) de la turbina eólica (20) en un primer eje y para generar una segunda señal de carga en relación con una carga en un rotor de la turbina eólica en un segundo eje, el segundo eje perpendicular al primer eje; y
- 10 un procesador (404) acoplado de forma comunicativa a un dispositivo de memoria (402), programado el procesador para:
- determinar un momento resultante de la al menos una de la primera señal de carga en relación con una carga en un rotor (24) de la turbina eólica (20) y la segunda señal de carga;
- generar una señal de error que indica una diferencia entre el momento resultante y una señal de umbral de nivel de momento predeterminado;
- 15 generar una primera señal de activación en un intervalo de las señales de error generadas entre un primer nivel de señal de activación cero y un primer nivel de señal de activación completo;
- generar una señal de error de potencia que indica una diferencia entre la carga eléctrica de la turbina eólica y una señal de umbral de nivel de potencia predeterminado;
- 20 generar una segunda señal de activación en un intervalo de las señales de error de potencia generada entre un segundo nivel de señal de activación cero y un segundo nivel de señal de activación completo; y
- 25 activar un circuito de control de desequilibrio de rotor usando al menos una de la primera señal de activación y la segunda señal de activación.
10. El sistema (10) de la reivindicación 9, en el que dicho procesador (404) está programado además para:
- 30 determinar un primer momento de una carga de viento que actúa alrededor de un eje de orientación de un rotor de la turbina eólica usando el primer sensor;
- determinar un segundo momento de una carga de viento que actúa alrededor de un eje de cabeceo de un rotor de la turbina eólica usando el segundo sensor; y
- 35 determinar el momento resultante del al menos uno del primer momento y el segundo momento.
11. El sistema (10) de la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en el que dicho procesador (404) está además programado para recibir una indicación de carga eléctrica de la turbina eólica.
- 40 12. El sistema (10) de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que dicho procesador (404) está además programado para generar una segunda señal de activación en un intervalo de las señales de error de potencia generadas entre un segundo nivel de señal de activación cero de aproximadamente un 65 % de la carga de turbina eólica nominal y un segundo nivel de señal de activación completo de aproximadamente un 80 % de la carga de turbina eólica nominal.
- 45 13. El sistema (10) de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que al menos uno de dicho primer sensor y dicho segundo sensor es un sensor de proximidad.

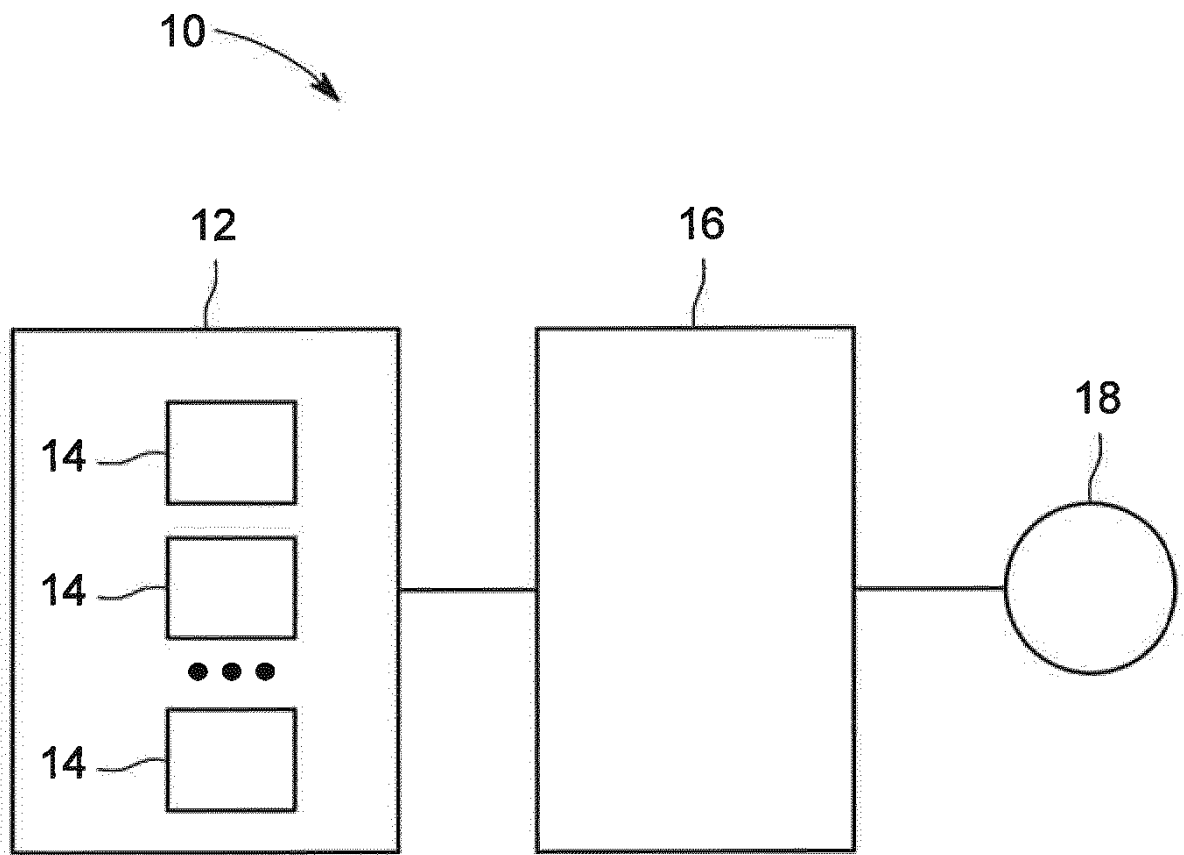


FIG. 1

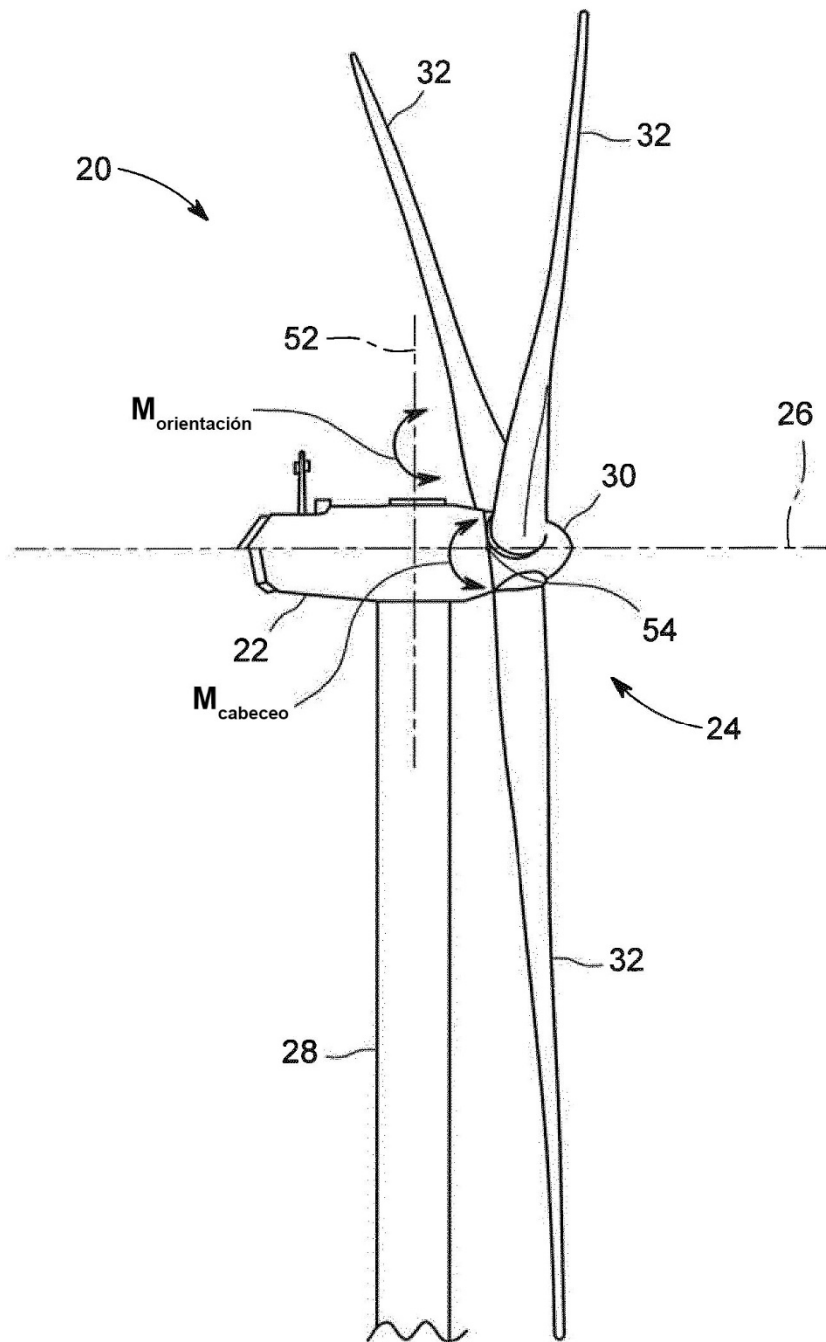


FIG. 2

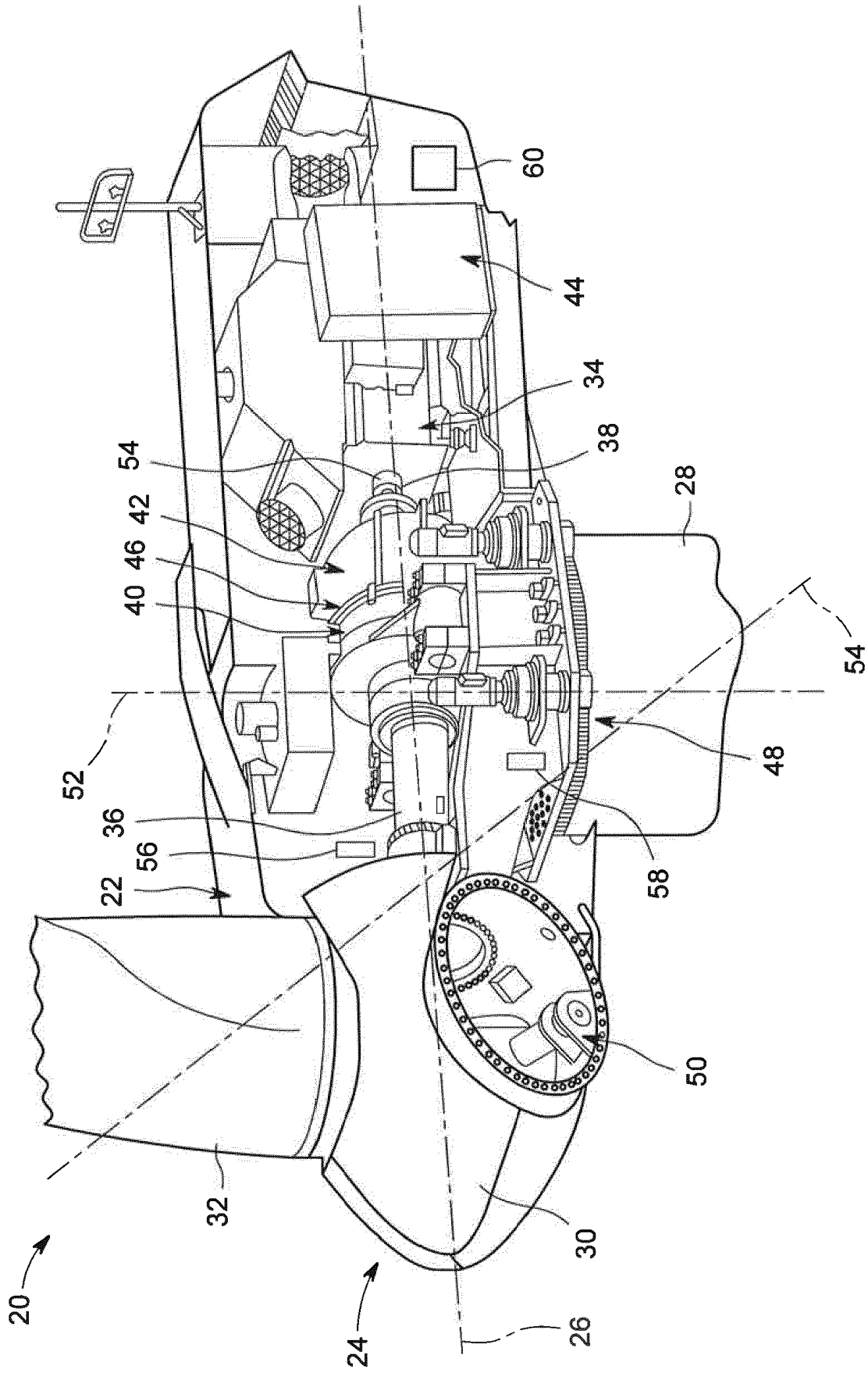


FIG. 3

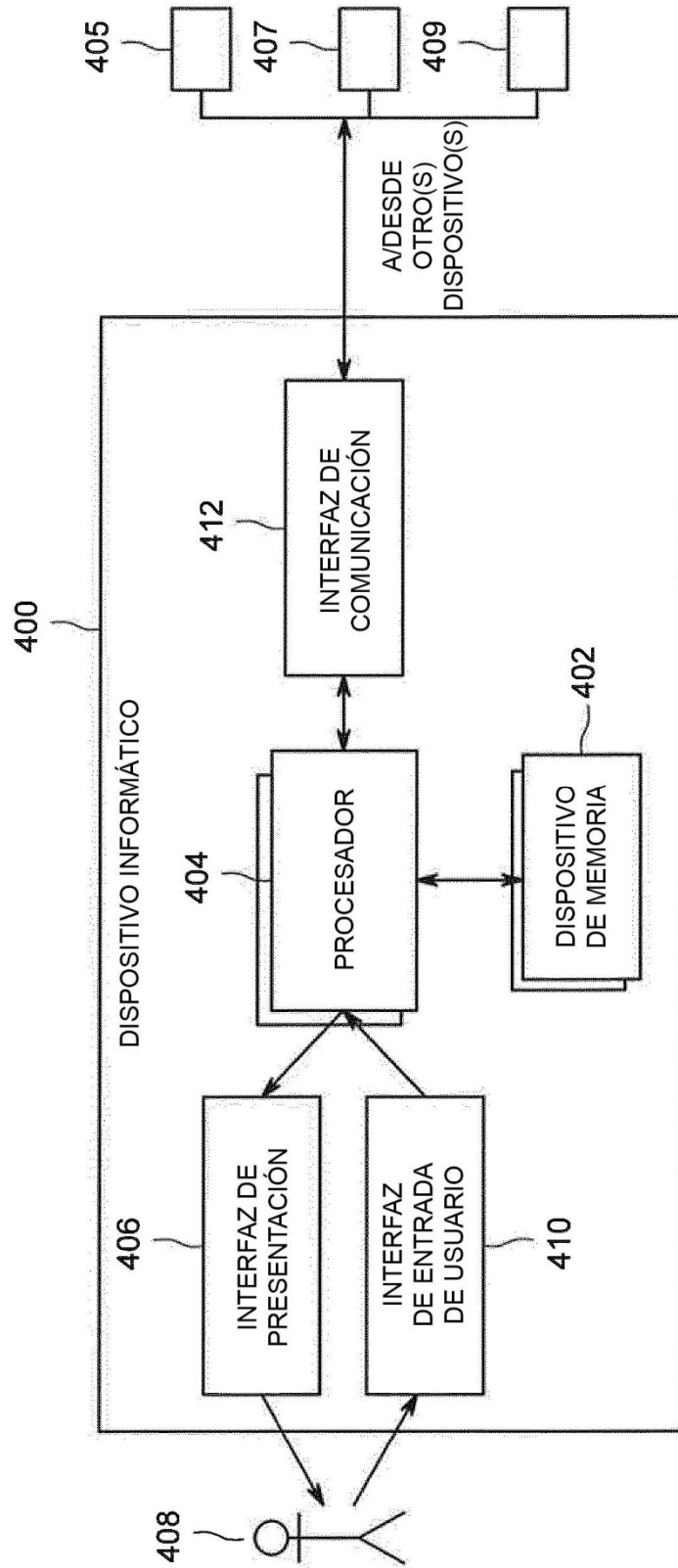


FIG. 4

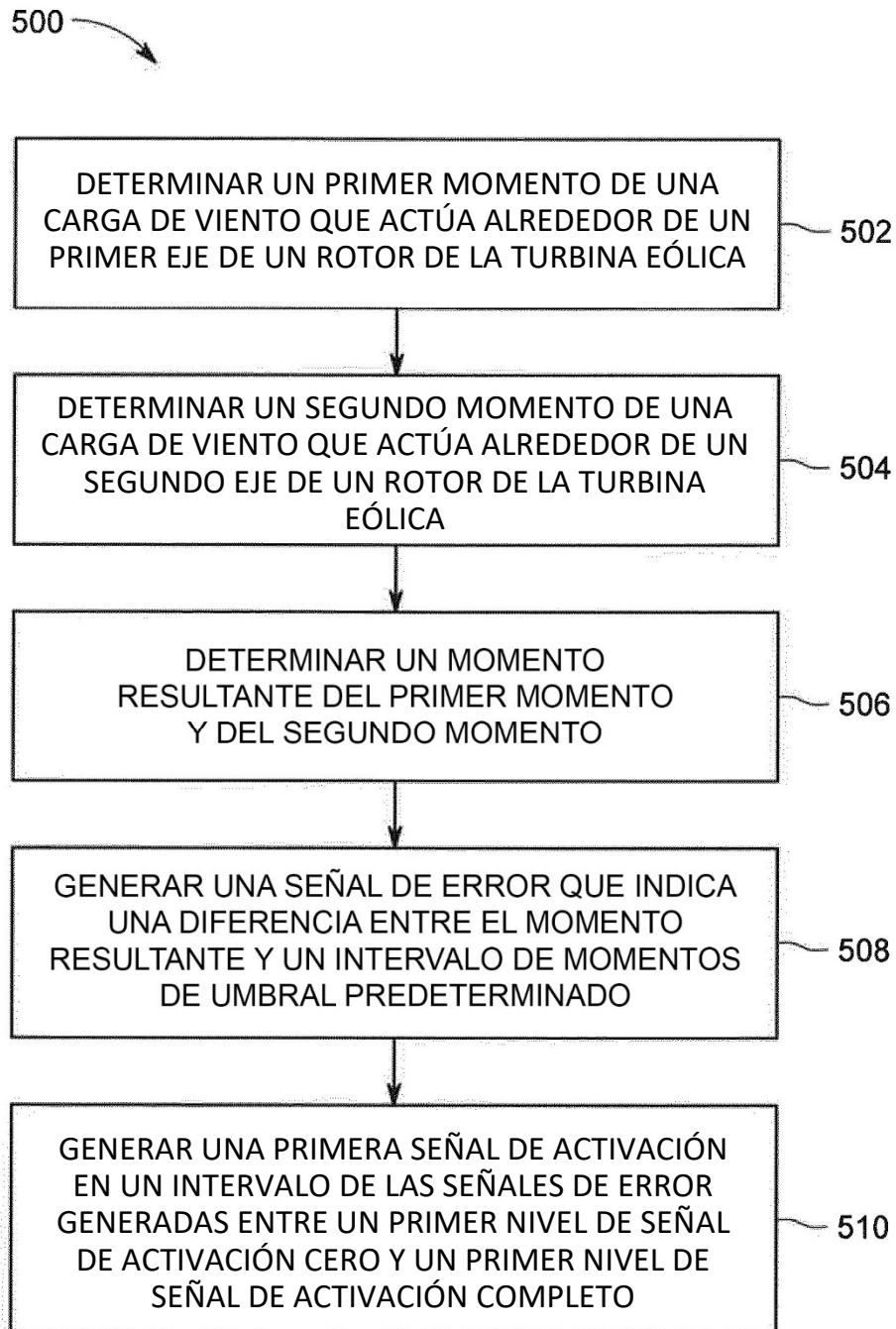


FIG. 5

