

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 620 374**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 13/35 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.06.2007** **E 07110196 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.02.2017** **EP 1870596**

54 Título: **Aparato para equilibrar un rotor**

30 Prioridad:

19.06.2006 US 424907

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

28.06.2017

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 RIVER ROAD
SCHENECTADY, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**PIERCE, KIRK GEE y
SLACK, ROBERT PETER**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 620 374 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

Aparato para equilibrar un rotor

La presente invención se refiere generalmente a rotores, y más específicamente, a un aparato para equilibrar un rotor.

Las turbinas eólicas de nivel industrial (es decir, turbinas eólicas diseñadas para proporcionar energía eléctrica a una red de suministro) pueden por momentos tener rotores de 30 o más metros de diámetro (véase el documento US 2004/0151575, por ejemplo). La carga desequilibrada en el bastidor giratorio que actúa en al menos algunos rotores conocidos, puede ocurrir debido al desequilibrio en masa en el conjunto de palas, las irregularidades geométricas en el rotor y/o el montaje de la pala, las diferencias en la geometría aerodinámica (separación, torsión y/o flexión) entre las palas y/o diferencias en el punto cero de ángulo de cabeceo entre las palas. Dichas cargas desequilibradas que actúan en el rotor pueden estar inducidas por otros componentes de la turbina eólica, que pueden tener un impacto en una cantidad de ciclos de fatiga de algunos componentes de la experiencia de la turbina eólica. Por ejemplo, las cargas desequilibradas que actúan en el rotor pueden facilitar el daño por fatiga de una bancada que conecta una torre de la turbina eólica a tierra, pueden facilitar el daño a y/o el fallo de porciones de una góndola de la turbina eólica, y/o pueden facilitar el daño a y/o el fallo de otros componentes de la turbina eólica, tales como, pero sin limitación, cojinetes del árbol principal, un sistema de guiñada de la turbina eólica y/o la torre de la turbina eólica.

Diversos aspectos y realizaciones de la presente invención, como se define en las reivindicaciones anexadas, se proporcionan de esta manera.

Diversos aspectos y realizaciones de la presente invención se describirán ahora en relación con los dibujos que se incluyen, en los cuales:

la Figura 1 es una perspectiva de una turbina eólica de ejemplo.

La Figura 2 es una vista en perspectiva parcialmente transversal de una porción de la turbina eólica que se muestra en la Figura 1.

La Figura 3 es un diagrama esquemático de la turbina eólica que se muestra en las Figuras 1 y 2.

La Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra una realización de ejemplo de un procedimiento para equilibrar un rotor, tal como, pero sin limitación, un rotor de la turbina eólica que se muestra en las Figuras 1-3.

Como se usa en el presente documento, el término "pala" se considera representativo de cualquier dispositivo que proporciona una fuerza reactiva cuando está en movimiento con respecto a un fluido circundante. Como se usa en el presente documento, la expresión "turbina eólica" se considera representativa de cualquier dispositivo que genera energía de rotación desde la energía eólica, y más específicamente, que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica. Como se usa en el presente documento, la expresión "generador eólico" se considera representativa de una turbina eólica que genera energía eléctrica desde la energía de rotación generada desde la energía eólica, y más específicamente, que convierte la energía mecánica convertida desde la energía cinética del viento en energía eléctrica. Como se usa en el presente documento, el término "aerogenerador" se considera representativo de cualquier turbina eólica que usa energía de rotación generada desde la energía eólica, y más específicamente, energía mecánica convertida desde la energía cinética del viento, para un fin predeterminado aparte de la generación de energía eléctrica, tal como, pero sin limitación, bombear un fluido y/o rectificar una sustancia.

La Figura 1 es una perspectiva de una realización de ejemplo de una turbina 10 eólica de ejemplo. La turbina 10 eólica descrita e ilustrada en el presente documento es un generador eólico para generar energía eléctrica desde la energía eólica. Sin embargo, en algunas realizaciones, la turbina 10 eólica puede ser, además de o como alternativa a un generador eólico, cualquier tipo de turbina eólica, tal como, pero sin limitación, un aerogenerador (no se muestra). Además, la turbina 10 eólica descrita e ilustrada en el presente documento incluye una configuración de eje horizontal. Sin embargo, en algunas realizaciones, la turbina 10 eólica puede incluir, además de o como alternativa a la configuración de eje horizontal, una configuración de eje vertical (no se muestra). La turbina 10 eólica puede acoplarse a una carga eléctrica (no se muestra), tal como, pero sin limitación, una red de energía (no se muestra), para recibir energía eléctrica de allí para accionar la operación de la turbina 10 eólica y/o sus componentes asociados y/o para suministrar energía eléctrica generada por la turbina 10 eólica a la misma. Aunque se muestre solo una turbina 10 eólica en las Figuras 1-3, en algunas realizaciones una pluralidad de turbinas 10 eólicas puede agruparse, denominada en ocasiones "granja eólica" y/o "parque eólico".

La turbina 10 eólica incluye un cuerpo 16, denominado en ocasiones "góndola", y un rotor (designado generalmente por 18) acoplado al cuerpo 16 para la rotación con respecto al cuerpo 16 alrededor de un eje 20 de rotación. En la realización de ejemplo, la góndola 16 se monta en una torre 14. Sin embargo, en algunas realizaciones, además de o como alternativa a la góndola 16 montada en la torre, la turbina 10 eólica incluye una góndola 16 adyacente al suelo y/o a una superficie de agua. La altura de la torre 14 puede ser cualquier altura adecuada que permita que la turbina 10 eólica funcione como se describe en el presente documento. El rotor 18 incluye un cubo 22 y una pluralidad de palas 24 (denominada en ocasiones "planos aerodinámicos") que se extienden radialmente hacia afuera desde el cubo 22 para convertir la energía eólica en energía de rotación. Aunque el rotor 18 se describe y se ilustra en el presente

documento con tres palas 24, el rotor 18 puede tener una cualquier cantidad de palas 24. Las palas 24 pueden tener cada una cualquier longitud (ya sea que estén descritas y/o ilustradas en el presente documento). Por ejemplo, en algunas realizaciones, una o más palas 24 de rotor son de 0,5 metros de largo aproximadamente, mientras que en algunas realizaciones una o más palas 24 de rotor son de 50 metros de largo aproximadamente. Otros ejemplos de longitudes de pala 24 incluyen 10 metros o menos, aproximadamente 20 metros, aproximadamente 37 metros y aproximadamente 40 metros. Aun así, otros ejemplos incluyen palas de rotor de entre aproximadamente 50 y aproximadamente 100 metros de largo.

A pesar de la forma en que las palas 24 de rotor se ilustran en la Figura 1, el rotor 18 puede tener palas 24 de cualquier forma, y puede tener palas 24 de cualquier tipo y/o de cualquier configuración, ya sea que dicha forma, tipo y/o configuración se describa y/o se ilustre en el presente documento. Un ejemplo de otro tipo, otra forma y/u otra configuración de las palas 24 de rotor es un rotor entubado (no se muestra) que tiene una turbina (no se muestra) contenida en un conducto (no se muestra). Otro ejemplo de otro tipo, forma y/o configuración de las palas 24 de rotor es un aerogenerador tradicional para bombear agua, tal como, pero sin limitación, rotores de cuatro palas que tienen postigos de madera y/o velas de tejido. Además, la turbina 10 eólica puede ser, en algunas realizaciones, una turbina eólica en la que el rotor 18 apunta generalmente a barlovento para aprovechar la energía eólica, y/o puede ser una turbina eólica en la que el rotor 18 apunta generalmente a sotavento para aprovechar la energía. Naturalmente, en cualquier realización, el rotor 18 puede no apuntar exactamente a barlovento y/o a sotavento, pero puede estar generalmente apuntando a cualquier ángulo (que puede ser variable) con respecto a una dirección del viento para aprovechar la energía de allí.

En referencia a las Figuras 2 y 3, en la realización de ejemplo, la turbina 10 eólica incluye un generador 26 eléctrico acoplado al rotor 18 para generar energía eléctrica desde la energía de rotación generada por el rotor 18. El generador 26 puede ser cualquier tipo de generador eléctrico, tal como, pero sin limitación, un generador de inducción del rotor enrollado. El generador 26 incluye un estátor (no se muestra) y un rotor (no se muestra). El rotor 18 incluye un árbol 30 de rotor acoplado al cubo 22 del rotor para la rotación con el mismo. Un cojinete 31 principal se acopla al árbol 30 de rotor para facilitar el soporte del árbol 30 de rotor y para facilitar la rotación del árbol 30 de rotor. El generador 26 se acopla al árbol 30 de rotor de modo tal que la rotación del árbol 30 de rotor accione la rotación del rotor generador, y por lo tanto la operación del generador 26. En la realización de ejemplo, el rotor generador tiene un árbol 28 de rotor acoplado al mismo y acoplado al árbol 30 de rotor de modo tal que la rotación del árbol 30 de rotor accione la rotación del rotor generador. En otras realizaciones, el rotor generador está directamente acoplado al árbol 30 de rotor, denominado en ocasiones una "turbina eólica de accionamiento directo". En la realización de ejemplo, el árbol 28 del rotor generador está acoplado al árbol 30 de rotor a través de una caja 32 de engranajes, aunque en otras realizaciones el árbol 28 del rotor generador está acoplado directamente al árbol 30 de rotor. Más específicamente, en la realización de ejemplo, la caja 32 de engranajes tiene un lado 34 de velocidad baja acoplado al árbol 30 de rotor y un lado 36 de velocidad alta acoplado al árbol 28 del rotor generador. El par motor del rotor 18 acciona el rotor generador para generar energía eléctrica desde la rotación del rotor 18 para la entrega a una carga eléctrica (no se muestra), tal como, pero sin limitación una red de energía (no se muestra), acoplada al generador 26. La operación general del generador eléctrico para generar energía eléctrica desde la energía de rotación del rotor 18 es conocida en la técnica y no se describirá en más detalle en el presente documento.

En algunas realizaciones, la turbina 10 eólica puede incluir uno o más sistemas 40 de control acoplados a algún o todos los componentes de la turbina 10 eólica para controlar generalmente la operación de la turbina 10 eólica y/o algún o todos los componentes de la misma (ya sea que dichos componentes se describan y/o ilustren en el presente documento). En la realización de ejemplo, el sistema 40 de control se monta dentro de una góndola 16. Sin embargo, además o alternativamente, uno o más sistemas 40 de control pueden estar alejados de la góndola 16 y/u otros componentes de la turbina 10 eólica. El sistema 40 de control puede usarse, pero sin limitación, para el monitoreo general del sistema y el control que incluye, por ejemplo, la regulación del cabeceo y la velocidad, aplicación del árbol de alta velocidad y del freno de la guiñada, la aplicación de la guiñada y el motor de bomba y/o el monitoreo de fallas. Pueden usarse arquitecturas de control distribuidas o centralizadas alternativas en algunas realizaciones.

En algunas realizaciones, la turbina 10 eólica puede incluir un freno de disco (no se muestra) para frenar la rotación del rotor 18, por ejemplo, para la rotación lenta del rotor 18, para frenar el rotor 18 contra el par motor completo, y/o para reducir la generación de la energía eléctrica del generador 26 eléctrico. Además, en algunas realizaciones, la turbina 10 eólica puede incluir un sistema 42 de guiñada para girar la góndola 16 alrededor de un eje 44 de rotación para cambiar una guiñada del rotor 18, y más específicamente, para cambiar una dirección a la que apunta el rotor 18, por ejemplo, para ajustar un ángulo entre la dirección apuntada por el rotor 18 y una dirección del viento. El sistema 42 de guiñada puede acoplarse al sistema 40 de control para su control. En algunas realizaciones, la turbina 10 eólica puede incluir anemometría 46 para medir la velocidad del viento y/o la dirección del viento. La anemometría 46, en algunas realizaciones, puede acoplarse al sistema 40 de control para enviar medidas al sistema 40 de control para el procesamiento de la mismas. Por ejemplo, y aunque la anemometría 46 pueda acoplarse al sistema 40 de control para enviar medidas al mismo para controlar otras operaciones de turbina 10 eólica, la anemometría 46 puede enviar medidas al sistema 40 de control para controlar y/o cambiar una guiñada del rotor 18 con el uso de un sistema 42 de guiñada. Alternativamente, la anemometría 46 puede acoplarse directamente al sistema 42 de guiñada para controlar y/o cambiar una guiñada del rotor 18.

En la realización de ejemplo, la turbina 10 eólica incluye una pluralidad de sensores 48, cada uno acoplado a una pala 24 correspondiente para medir un cabeceo de cada pala 24, o más específicamente, un ángulo de cada pala 24 con respecto a una dirección del viento y/o con respecto al cubo 22 del rotor. Los sensores 48 pueden ser cualquier sensor adecuado que tenga una ubicación adecuada dentro o alejada de la turbina 10 eólica, tal como, pero sin limitación, codificadores ópticos dentro del sistema 56 de cabeceo (descrito a continuación). En algunas realizaciones, los sensores 48 están acoplados al sistema 40 de control para enviar las medidas de cabeceo al sistema 40 de control para el procesamiento de las mismas.

En la realización de ejemplo, la turbina 10 eólica incluye uno o más sensores 50 posicionados para medir cargas, aceleraciones y/o desplazamientos que pertenecen a uno o más momentos de flexión que actúan en el árbol 30 de rotor, que se generan por las cargas desequilibradas que actúan en el rotor 18. Los sensores 50 pueden medir cargas, aceleraciones y/o desplazamientos dentro de cualquier componente de la turbina 10 eólica, incluyendo los componentes giratorios y/o los componentes no giratorios (denominados en ocasiones componentes de bastidor fijo) de la turbina 10 eólica. Por ejemplo, los sensores 50 pueden medir cargas, aceleraciones y/o desplazamientos dentro de, pero sin limitación, una carcasa 51 del cojinete 31 principal, una o más palas 24 y/o árbol 30 de rotor. Como se describe en más detalle a continuación, cuando se miden las cargas, aceleraciones y/o desplazamientos en componentes no giratorios de la turbina 10 eólica, se mide también una posición del rotor 14. Cada sensor 50 puede ser cualquier sensor adecuado, tal como, pero sin limitación, extensiómetros, sensores ópticos, sensores acústicos, sensores de corriente inducida magnética y/o sensores de campo capacitivos y/o inductivos. La turbina 10 eólica puede incluir cualquier cantidad de sensores 50 posicionados en cualquier disposición, configuración, orientación y/o ubicación. En algunas realizaciones, los sensores 50 están ubicados y orientados para medir cargas, aceleraciones y/o desplazamientos dentro de la carcasa 51 del cojinete principal, una o más palas 24 de rotor y/o un árbol 30 de rotor. Por ejemplo, en algunas realizaciones, se posiciona una pluralidad de sensores 50 para medir una desviación del árbol 30 de rotor y/o del cojinete 31 principal.

La turbina 10 eólica puede incluir también uno o más de otros sensores (no se muestran) acoplados a uno o más componentes de la turbina 10 eólica y/o la carga eléctrica, ya sea que dichos componentes se describan o ilustren en el presente documento, para medir parámetros de dichos componentes. Tales otros sensores pueden incluir, pero sin limitación, sensores configurados para medir desplazamientos, guiñada, cabeceo, momentos, tensión, esfuerzo, giros, daños, fallas, par motor del rotor, velocidad del rotor, una anomalía en la carga eléctrica y/o una anomalía de la energía suministrada a cualquier componente de la turbina 10 eólica. Tales otros sensores pueden acoplarse a cualquier componente de la turbina 10 eólica y/o la carga eléctrica en cualquier ubicación de la misma para medir cualquier parámetro de la misma, ya sea que dicho componente, ubicación y/o parámetro se describa y/o ilustre en el presente documento.

La turbina 10 eólica incluye un sistema 56 de cabeceo con pala variable para controlar, incluyendo, pero sin limitarse al cambio, de un ángulo de cabeceo de las palas 24 de rotor con respecto a una dirección del viento. El sistema 56 de cabeceo puede acoplarse al sistema 40 de control para su control. El sistema 56 de cabeceo incluye uno o más accionadores (no se muestran) acoplados al cubo 22 y las palas 24 para cambiar el ángulo de cabeceo de las palas 24 rotando las palas 24 con respecto al cubo 22. Los accionadores de cabeceo pueden incluir cualquier estructura, configuración, disposición, medios y/o componentes adecuados, ya sea que se describan y/o ilustren en el presente documento, tal como, pero sin limitación, motores eléctricos, cilindros hidráulicos, resortes y/o servomecanismos. Además, los accionadores de cabeceo pueden accionarse por cualquier medio adecuado, ya sea que se describa y/o ilustre en el presente documento, tal como, pero sin limitación, fluido hidráulico, energía eléctrica, energía electroquímica y/o energía mecánica, tal como, pero sin limitación, la fuerza del resorte. Por ejemplo, en algunas realizaciones, los accionadores de cabeceo incluyen un engranaje accionador de cabeceo (no se muestra) que está acoplado a un engranaje de anillo de cabeceo (no se muestra). El engranaje de anillo de cabeceo está acoplado a la pala 24 de modo tal que la rotación del engranaje accionador de cabeceo rote la pala 24 alrededor de un eje de rotación (no se muestra) para cambiar por lo tanto el cabeceo de la pala 24.

En algunas realizaciones, los accionadores de cabeceo pueden accionarse por energía extraída de la inercia de rotación del rotor 18 y/o por una fuente de energía almacenada (no se muestra) que proporciona a componentes de la turbina 10 eólica, tal como, pero sin limitación, el sistema 40 de control y/o el sistema 56 de cabeceo, energía durante una anomalía en la carga eléctrica y/o la fuente de energía acoplada a la turbina 10 eólica. Por ejemplo, una anomalía en la carga eléctrica y/o una fuente de energía puede incluir, pero sin limitación, una falla de energía, una condición de baja tensión, una condición de sobretensión y/o una condición fuera de frecuencia. Como tal, la fuente de energía almacenada permite el cabeceo de palas 24 durante la anomalía. Aunque pueden usarse otras fuentes de energía almacenada, en algunas realizaciones la fuente de energía almacenada incluye acumuladores hidráulicos, generadores eléctricos, energía de resorte almacenada, condensadores y/o baterías. Las fuentes de energía almacenada pueden ubicarse en cualquier lado dentro de, en, adyacentes a y/o alejadas de la turbina 10 eólica. En algunas realizaciones, la fuente de energía almacenada almacena energía extraída de la inercia de rotación del rotor 18, la energía almacenada dentro de un convertidor de frecuencia (no se muestra) y/u otras fuentes de energía auxiliar tales como, pero sin limitación, una turbina eólica auxiliar (no se muestra) acoplada a la turbina 10 eólica, paneles solares y/o instalaciones de energía hidroeléctrica.

Volviendo a hacer referencia a la Figura 3, en algunas realizaciones, el sistema 40 de control incluye un bus 62 u otros dispositivos de comunicación para comunicar información. Uno o más procesadores 64 están acoplados al bus 62 para

procesar información, incluyendo la información de anemometría 46, de los sensores 48 y/o 50, y/u otros sensores. Los sistemas 40 de control pueden incluir también una o más memorias de acceso aleatorio (RAM) 66 y/u otros dispositivos 68 de almacenamiento. La RAM 66 y los dispositivos 68 de almacenamiento están acoplados al bus 62 para almacenar y transferir información e instrucciones a ser ejecutadas por el procesador 64. La RAM 66 (y/o los dispositivos 68 de almacenamiento, si se incluyen) pueden también usarse para almacenar variables temporales u otra información intermedia durante la ejecución de instrucciones por parte del procesador 64. Los sistemas 40 de control pueden incluir también una o más memorias de solo lectura (ROM) 70 y/u otros dispositivos de almacenamiento estático acoplados al bus 62 para almacenar y proporcionar información e instrucciones estáticas (es decir, que no cambian) a los procesadores 64. Unos dispositivos 72 de entrada/salida puede incluir cualquier dispositivo conocido en la técnica para proporcionar datos de entrada al sistema 40 de control y/o para proporcionar salidas, tales como, pero sin limitación, el control de guiñada y/o las salidas del control de cabeceo. Pueden proporcionarse instrucciones a la memoria desde un dispositivo de almacenamiento, tal como, pero sin limitación, un disco magnético, un circuito integrado de la memoria de solo lectura (ROM), un CD-ROM y/o DVD, a través de una conexión remota cableada o inalámbrica que proporciona acceso a uno o más medios accesibles electrónicamente, etc. En algunas realizaciones, los circuitos de hardware pueden usarse en lugar o en combinación con instrucciones del software. De este modo, la ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a cualquier combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software, ya sea que se describan y/o ilustren en el presente documento. El sistema 40 de control puede incluir también una interfaz 74 de sensor que permite que el sistema 40 de control se comuniquen con anemometría 46, sensores 48 y/o 50, y/u otros sensores. La interfaz 74 de sensor puede ser o puede incluir, por ejemplo, uno o más conversores de analógico a digital que convierten señales analógicas en señales digitales que pueden usarse por el procesador 64.

La Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra una realización de ejemplo de un procedimiento 100 para equilibrar un rotor, tal como, pero sin limitación, un rotor 18 (se muestra en las Figuras 1-3). Aunque el procedimiento 100 puede usarse para equilibrar cualquier rotor, el procedimiento 100 se describirá e ilustrará en el presente documento con respecto a equilibrar el rotor 18 de la turbina 10 eólica (se muestra en las Figuras 1-3). El procedimiento 100 incluye la recepción 102, por ejemplo, en el sistema 40 de control (se muestra en las Figuras 2 y 3), de una o más medidas, por ejemplo, desde sensores 50 (se muestran en las Figuras 2 y 3), de una o más cargas, aceleraciones y/o desplazamientos que pertenecen a uno o más momentos de flexión que actúan en el árbol 30 de rotor. Las cargas, aceleraciones y/o desplazamientos medidos pueden estar dentro de cualquier componente de la turbina 10 eólica, ya sea giratorio o no giratorio. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el procedimiento 100 incluye la recepción de una o más medidas desde los sensores 50 de una o más cargas, aceleraciones y/o desplazamientos dentro de una o más palas 24 de rotor, un árbol 30 de rotor y/o una carcasa 51 del cojinete principal (se muestra en la Figura 2). Cuando se miden cargas, aceleraciones y/o desplazamientos dentro de componentes no giratorios de la turbina 10 eólica, en algunas realizaciones, se mide también una posición azimutal del rotor 14 para resolver la carga en el bastidor giratorio. La posición azimutal del rotor 14 puede medirse con el uso de cualquier procedimiento, técnica, estructura y/o medios adecuados, tales como, pero sin limitación, el uso de un codificador y/o el uso de un sensor de proximidad para proporcionar un pulso en azimut cero y calcular el azimut en función de una velocidad del generador 24 (se muestra en las Figuras 2 y 3).

En función, al menos en parte, de las medidas recibidas, uno o más valores de los momentos de flexión que actúan en el árbol 30 de rotor pueden determinarse 104, por ejemplo, con el uso del procesador 64 (se muestra en la Figura 3). En algunas realizaciones, se determina un valor medio de uno o más momentos de flexión que actúan en el árbol 30 de rotor en una cantidad de tiempo predeterminada. Además, en algunas realizaciones, cuando las medidas recibidas son de los componentes no giratorios de la turbina 10 eólica, se determinan uno o más valores de los momentos de flexión que actúan en el árbol 30 de rotor en función, al menos en parte, de las medidas recibidas y una posición azimutal del rotor 18 en el momento de las medidas. Un valor del ángulo de desplazamiento de cabeceo para una o más palas 24 de rotor (se muestran en las Figuras 1-3) puede entonces determinarse 106, por ejemplo, con el uso de un procesador 64, y por ejemplo, en función de los valores determinados de los momentos de flexión que actúan en el árbol 30 de rotor. Los valores determinados del ángulo de desplazamiento de cabeceo facilitan la reducción de los momentos de flexión que actúan en el árbol 30 de rotor. Por ejemplo, los valores determinados del ángulo de desplazamiento de cabeceo pueden facilitar el cambio de los momentos de flexión que actúan en el árbol 30 de rotor a alrededor de cero, de modo tal que el rotor 18 esté equilibrado. Como tal, un ángulo de cabeceo de una o más de las palas 24 de rotor puede cambiarse 108, por ejemplo, con el uso del procesador 64 y/o el sistema 56 de cabeceo (se muestra en la Figura 2), en función del valor determinado del ángulo de desplazamiento de cabeceo respectivo de una o más palas 24 para facilitar la reducción de los momentos de flexión que actúan en el árbol 30 de rotor. Por ejemplo, un ángulo de cabeceo de una o más de las palas 24 de rotor puede cambiarse para facilitar el cambio de los momentos de flexión que actúan en el árbol 30 de rotor a alrededor de cero. En algunas realizaciones, los valores determinados del ángulo de desplazamiento de cabeceo facilitan el cambio de un valor medio de uno o más momentos de flexión que actúan en el árbol 30 de rotor en una cantidad de tiempo predeterminada a alrededor de cero. En algunas realizaciones, puede usarse un procedimiento reiterativo para lograr el equilibrado del rotor 18, en el que las medidas recibidas se promedian después de cada cambio de cabeceo para mover el equilibrado a alrededor de cero.

En algunas realizaciones, en las que la turbina 10 eólica incluye una pluralidad de sensores 50 que envían una o más medidas, las medidas recibidas desde uno de los sensores 50 pueden filtrarse, por ejemplo, para facilitar la reducción de un efecto de una variación en una superficie del árbol 30 de rotor en los valores determinados de los momentos de

flexión que actúan en el árbol 30 de rotor. Dicho filtrado puede también eliminar frecuencias y/o componentes de señal innecesarios. Por ejemplo, dicho filtrado puede configurarse para eliminar la respuesta de la señal a la variación del momento de flexión a medida que una pala 24 pasa por la torre 14. En algunas realizaciones, los valores del momento de flexión que actúan en el árbol 30 de rotor se determinan únicamente en función de las medidas de carga recibidas inducidas en la carcasa del cojinete 31. Sin embargo, en algunas realizaciones (ya sea que la turbina 10 eólica incluya una pluralidad de sensores 50 que envían una o más medidas), se mapea una superficie del árbol 30 de rotor, por ejemplo con el uso de procesadores 64, como una función de azimut a una o más velocidades predeterminadas del viento y/o una o más velocidades predeterminadas de rotación del árbol 30 de rotor. Como tal, el filtrado de las medidas recibidas de uno de los sensores 50 puede no utilizarse para facilitar la reducción de un efecto de una variación en la superficie del árbol 30 de rotor en los valores determinados de los momentos de flexión que actúan en el árbol 30 de rotor cuando la superficie del árbol de rotor ha sido mapeada como se describe en el presente documento. En lugar de esto, en realizaciones en las que la superficie del árbol 30 de rotor se mapea como se describe en el presente documento, los valores del momento de flexión que actúa en el árbol 30 de rotor pueden determinarse en función de las medidas recibidas y de una posición azimutal del rotor 18 en el momento de las medidas, en el que una comparación del mapeo de superficie del árbol 30 de rotor con la posición azimutal permite la compensación de variaciones en la superficie del árbol de rotor.

Las realizaciones descritas y/o ilustradas en el presente documento son rentables y eficientes para equilibrar un rotor de una máquina rotativa. Por ejemplo, las realizaciones descritas y/o ilustradas incluyen la determinación de uno o más valores de uno o más momentos de flexión que actúan en un árbol de rotor en función, al menos en parte, de cargas, aceleraciones y/o desplazamientos dentro de los componentes de la máquina rotativa. En función de los valores determinados del momento de flexión, puede determinarse un valor de desplazamiento del ángulo de cabeceo para una o más palas de rotor que facilita la reducción de los momentos de flexión que actúan en el árbol de rotor. El ángulo de cabeceo de una o más palas de rotor puede desplazarse por el valor de desplazamiento para facilitar la reducción de los momentos de flexión que actúan en el árbol de rotor, y facilitan por lo tanto el equilibrado del rotor. Como tal, las realizaciones descritas y/o ilustradas en el presente documento pueden facilitar la reducción de cargas desequilibradas que actúan en el rotor y pueden por lo tanto facilitar la reducción del daño a y/o de la falla de los componentes de la máquina rotativa. Por ejemplo, las realizaciones descritas y/o ilustradas en el presente documento pueden facilitar la reducción del daño por fatiga en una bancada que conecta una torre de una turbina eólica a tierra, pueden facilitar la reducción del daño a y/o la falla de porciones de una góndola de una turbina eólica, y/o pueden facilitar la reducción del daño a y/o la falla de otros componentes de una turbina eólica, tales como, pero sin limitación, un árbol de rotor, palas de rotor, cojinetes del árbol principal, un sistema de guiñada de la turbina eólica y/o la torre de la turbina eólica.

Aunque las realizaciones descritas y/o ilustradas en el presente documento se describen y/o ilustran con respecto a una turbina eólica, y más específicamente, al equilibrado de un rotor de una turbina eólica, la práctica de las realizaciones descritas y/o ilustradas en el presente documento no se limita a turbinas eólicas. En lugar de esto, las realizaciones descritas y/o ilustradas en el presente documento se aplican al equilibrado de cualquier rotor que tenga una o más palas operando en un fluido circundante.

Si bien la invención se describió en función de diversas realizaciones específicas, los expertos en la materia reconocerán que la invención puede practicarse con modificación dentro del alcance de las reivindicaciones.

LISTA DE PARTES

- 10 turbina eólica
- 14 torre
- 16 góndola
- 18 rotor
- 20 eje de rotación
- 22 cubo del rotor
- 24 palas de rotor
- 26 generador
- 28 árbol de rotor
- 30 árbol de rotor
- 31 cojinete principal
- 32 caja de engranajes
- 34 lado de velocidad baja
- 36 lado de velocidad alta
- 40 sistema(s)
- 42 sistema de guiñada
- 44 eje de rotación
- 46 anemometría
- 48 sensores

50	sensor(es)
51	carcasa
56	sistema de cabeceo de pala
62	bus
64	procesador
66	RAM
68	dispositivo(s)
70	memorias (ROM)
72	dispositivo(s)
74	interfaz de sensor
100	procedimiento
102	recepción
104	determinado
106	determinado
108	cambiado

REIVINDICACIONES

1. Una máquina (10) rotativa que comprende un aparato para equilibrar un rotor (18) en su interior, dicha máquina (10) rotativa comprendiendo:

5 un rotor (18) que comprende un cubo (22), al menos dos palas (24) de rotor acopladas a dicho cubo y un árbol (28, 30) de rotor acoplado a dicho cubo para la rotación con el mismo;
 al menos un accionador (56) de cabeceo de pala acoplado a al menos dos palas de rotor para controlar un ángulo de cabeceo de al menos dos palas de rotor;
 al menos un sensor (48, 50) configurado para medir al menos uno de una carga, una aceleración y un desplazamiento que pertenece a un valor medio de uno o más momentos de flexión que actúan sobre dicho árbol (30) de rotor; y
 10 un procesador (64) acoplado a al menos un accionador (56) de cabeceo de pala y acoplado a al menos un sensor (48, 50), dicho procesador (64) está configurado para equilibrar dicho rotor (18) al:

recibir (102), desde al menos un sensor, de al menos una medida de una carga, una aceleración o un desplazamiento que pertenece a al menos uno de dichos momentos de flexión de valor medio que actúan sobre dicho árbol (28, 30) de rotor;
 15 determinar (104) dicho valor medio de uno o más momentos de flexión que actúan sobre dicho árbol (28, 30) de rotor en función, al menos en parte, de al menos una medida recibida en una cantidad de tiempo predeterminada; y
 20 determinar (106) un valor del ángulo de desplazamiento de cabeceo para al menos una pala (24) de rotor que facilita la reducción del valor medio de uno o más momentos de flexión que actúan sobre dicho árbol (28, 30) de rotor.

2. Una máquina (10) rotativa de acuerdo con la reivindicación 1 en la que dicho procesador (64) se configura para determinar un valor del ángulo de desplazamiento de cabeceo para al menos una pala (24) de rotor que facilita el cambio de uno o más momentos de flexión que actúan sobre dicho árbol (28, 30) de rotor a aproximadamente cero.

25 3. Una máquina (10) rotativa de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 que comprende además al menos un componente no giratorio, y en la que dicho procesador (64) se configura para recibir, desde al menos un sensor (48, 50), al menos una medida de una carga, una aceleración o un desplazamiento dentro de dicho al menos un componente no giratorio.

30 4. Una máquina (10) rotativa de acuerdo con cualquier reivindicación precedente en la que dicho procesador (64) se configura para recibir, desde al menos un sensor (48, 50), al menos una medida de una carga, una aceleración o un desplazamiento dentro de al menos uno de dicho árbol (28, 30) de rotor, al menos una pala (24) de rotor y una carcasa (51) de un cojinete acoplado a dicho árbol de rotor.

35 5. Una máquina (10) rotativa de acuerdo con cualquier reivindicación precedente en la que dicho procesador (64) se configura para recibir una pluralidad de medidas bien de una carga, una aceleración o un desplazamiento que pertenece a uno o más de los momentos de flexión que actúan sobre dicho árbol (28, 30) de rotor, y en la que dicho procesador (64) se configura para filtrar una de la pluralidad de las medidas recibidas.

40 6. Una máquina (10) rotativa de acuerdo con la reivindicación 5 en la que dicho procesador (64) se configura para reducir un efecto de una variación en una superficie de dicho árbol (28, 30) de rotor en el valor determinado de uno o más de los momentos de flexión que actúan sobre dicho árbol de rotor filtrando una de la pluralidad de medidas recibidas.

7. Una máquina (10) rotativa de acuerdo con cualquier reivindicación precedente en la que dicho procesador (64) está configurado para mapear una superficie de dicho árbol (28, 30) de rotor como una función de azimut en al menos una de al menos una velocidad predeterminada del viento y al menos una velocidad predeterminada de rotación de dicho árbol de rotor.

45 8. Una máquina (10) rotativa de acuerdo con la reivindicación 7 en la que dicho procesador (64) está configurado para determinar el valor de uno o más momentos de flexión en función, al menos en parte, de la al menos una medida recibida y del mapeo de la superficie de dicho árbol (28, 30) de rotor.

50 9. Una máquina (10) rotativa de acuerdo con cualquier reivindicación precedente en la que dicho procesador (64) está configurado para determinar el valor de uno o más momentos de flexión en función, al menos en parte, de la al menos una medida recibida y una posición azimutal del árbol (28, 30) de rotor en el momento en que se tomó la al menos una medida recibida.

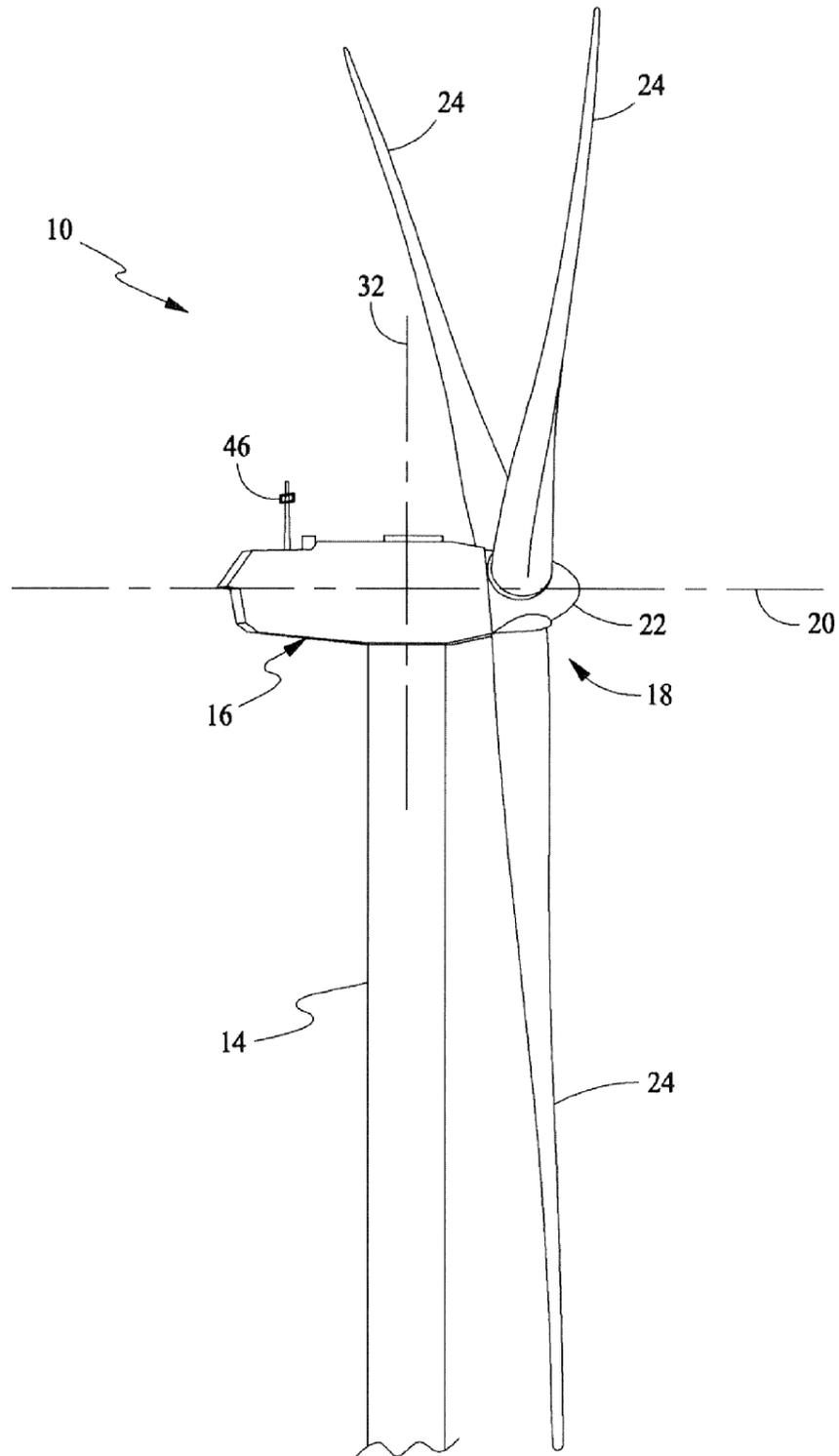


FIG. 1

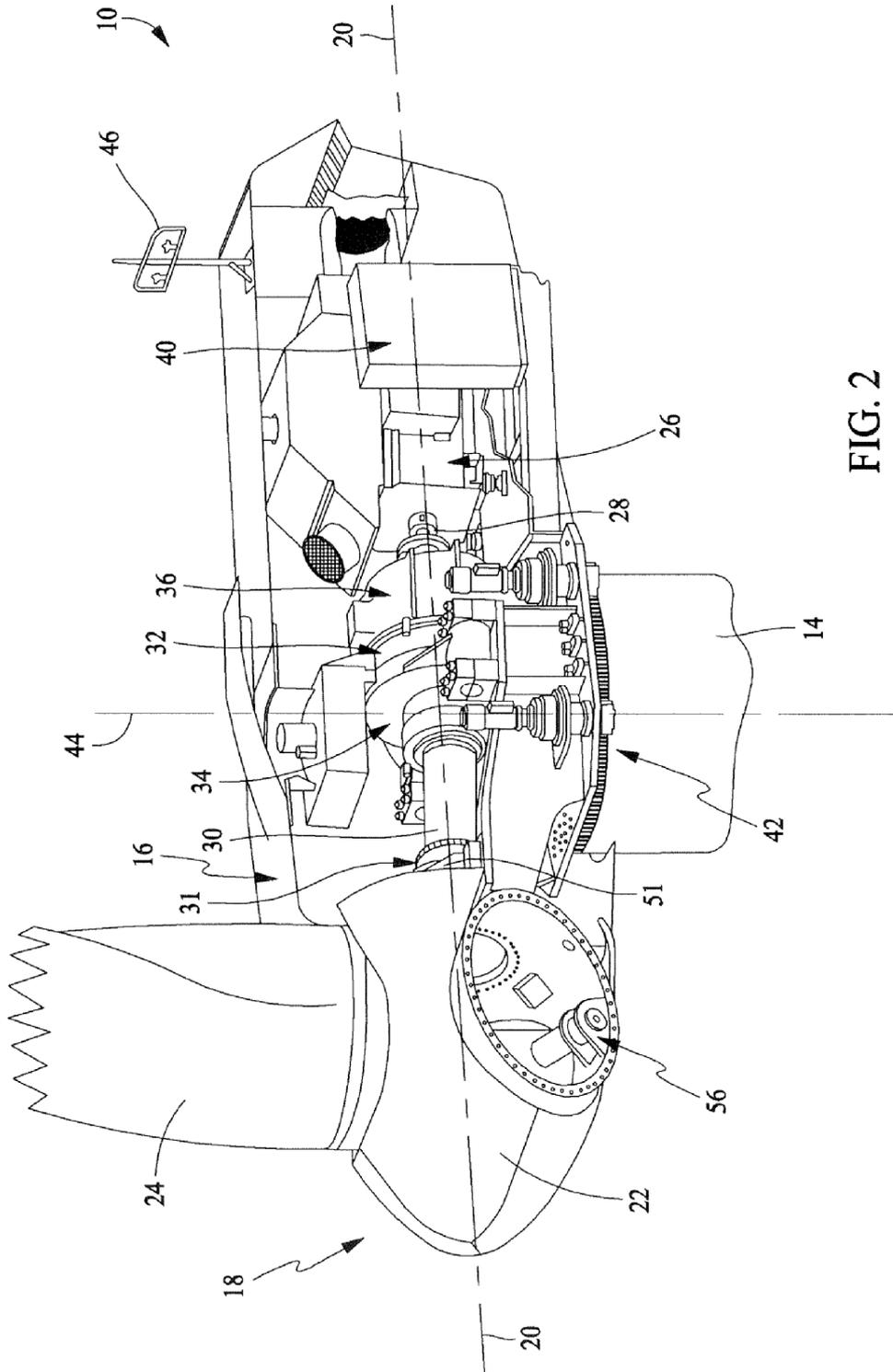


FIG. 2

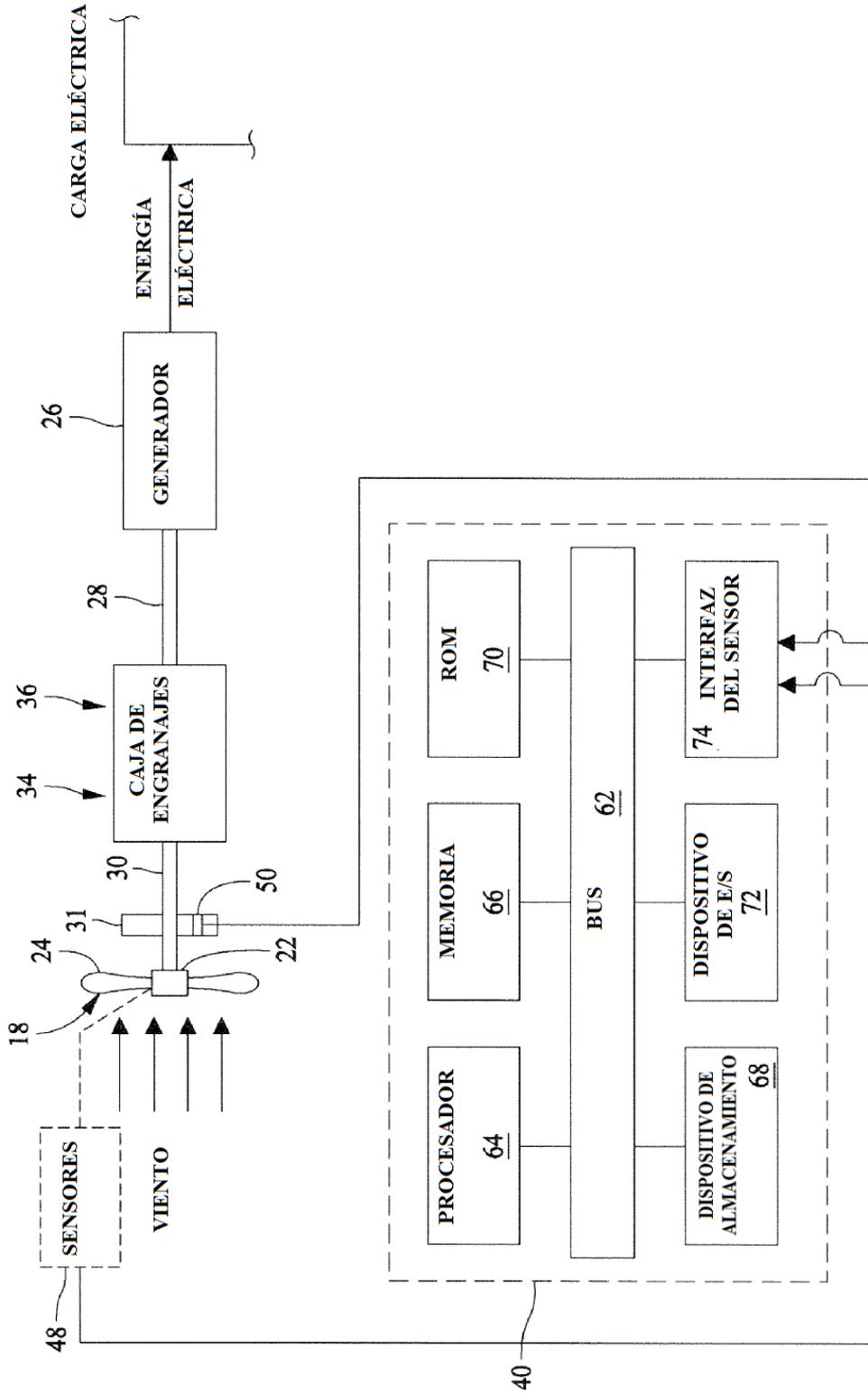


FIG. 3

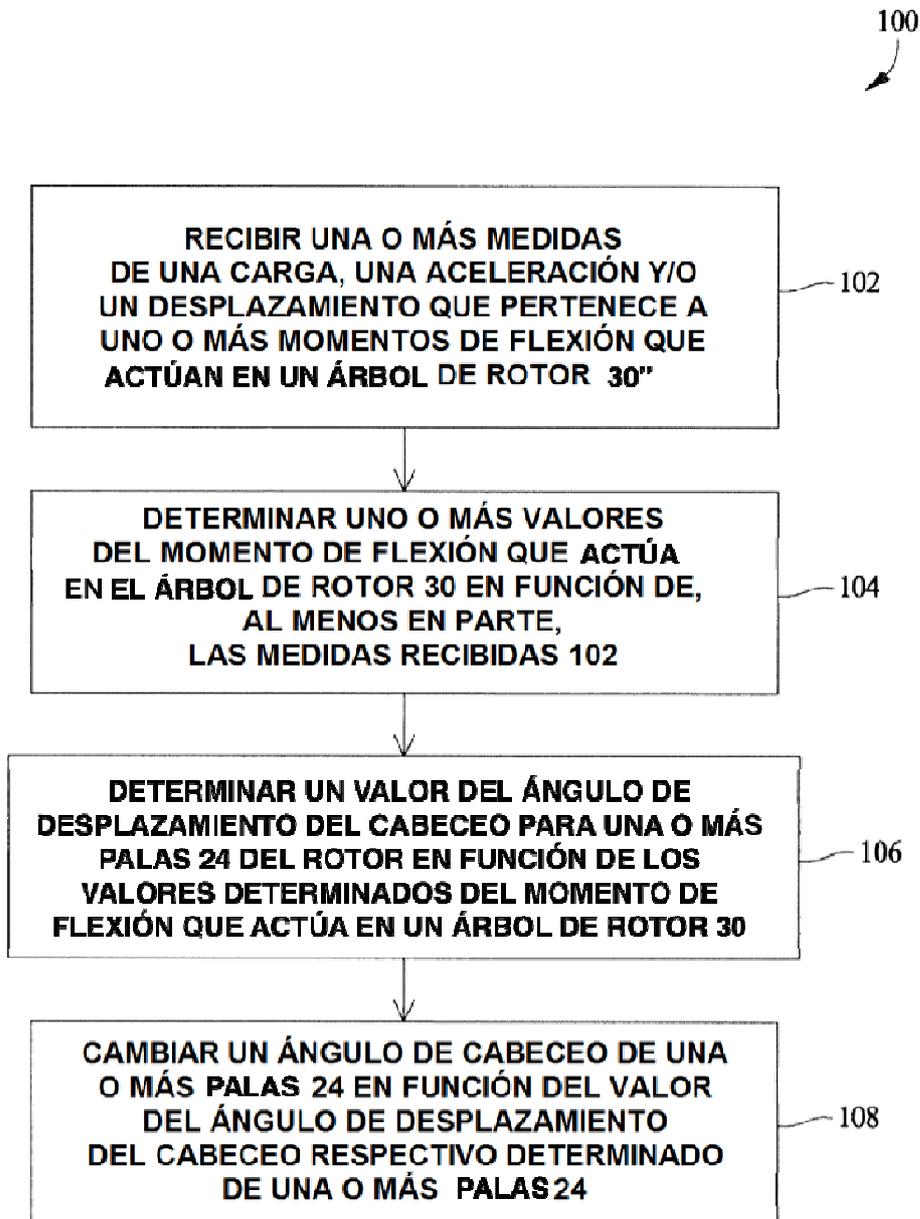


FIG. 4