

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 940 285**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.10.2010 E 10188678 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2022 EP 2317130**

54 Título: **Sistemas y procedimientos para ensamblar un conjunto de *pitch* para su uso en una turbina eólica**

30 Prioridad:

29.10.2009 US 608755

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

05.05.2023

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LOH, FRIEDRICH y
MENKE, DETLEF**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 940 285 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

Sistemas y procedimientos para ensamblar un conjunto de *pitch* para su uso en una turbina eólica

5 **[0001]** La materia descrita en el presente documento se refiere en general a procedimientos y sistemas para ensamblar una turbina eólica que incluye un sistema de *pitch* y, más en particular, a sistemas y procedimientos para ensamblar un conjunto de *pitch* para su uso en una turbina eólica.

10 **[0002]** Al menos algunas turbinas eólicas conocidas incluyen una torre y una góndola montada en la torre. Un rotor se monta de forma rotatoria en la góndola y se acopla a un generador por un eje. Una pluralidad de palas se extiende desde el rotor. Las palas se orientan de modo que el viento que pasa sobre las palas gira el rotor y rota el eje, accionando de este modo el generador para generar electricidad.

15 **[0003]** Debido a que muchas turbinas eólicas conocidas proporcionan potencia eléctrica a las redes de suministro, al menos algunas turbinas eólicas tienen componentes más grandes (por ejemplo, rotores de más de treinta metros de diámetro) que facilitan el suministro de mayores cantidades de potencia eléctrica. Sin embargo, los componentes más grandes a menudo se someten a incrementos de cargas (por ejemplo, cargas asimétricas) que resultan de cizalladura del viento, desalineación de la orientación ("yaw misalignment") y/o turbulencia, y es conocido que los incrementos de cargas contribuyen a ciclos de fatiga significativos en las palas de rotor y/o u otros componentes de la turbina eólica.

20 **[0004]** Al menos algunas turbinas eólicas conocidas incluyen un sistema de *pitch* de pala de rotor para su uso en el posicionamiento de la pala de rotor alrededor de un eje de *pitch* para controlar la velocidad del rotor. Al menos algunas turbinas eólicas conocidas incluyen un sistema de control de turbina eólica para controlar las operaciones de la turbina eólica, incluyendo el sistema de *pitch*. Además, al menos algunas turbinas eólicas conocidas requieren potencia para operar el sistema de control de turbina eólica y el sistema de *pitch*. Durante un evento de pérdida de potencia y/o mal funcionamiento de los sistemas de control de turbina eólica, es posible que los sistemas de *pitch* no se puedan operar. El evento de pérdida de potencia puede incluir pérdida de red eléctrica y/o mal funcionamiento del sistema eléctrico de turbina. El mal funcionamiento del sistema de control de turbina eólica incluye el fallo de un sistema eléctrico del dispositivo de control de turbina eólica, un sistema de comunicación del dispositivo de control de turbina eólica y/o un sistema mecánico. El evento de pérdida de potencia puede dar lugar a una sobrevelocidad de pala de turbina durante la que el sistema de control de turbina eólica puede no estar disponible para operar el sistema de *pitch*. Véanse, por ejemplo, los documentos EP 1 903 213 y JP 2005 220753.

35 **[0005]** En consecuencia, es deseable proporcionar un procedimiento y/o aparato que pueda operar el sistema de *pitch* durante períodos de pérdida de potencia eléctrica y/o mal funcionamiento del sistema de control de turbina eólica.

40 **[0006]** Por tanto, como se define por las reivindicaciones adjuntas, se proporciona la presente invención.

45 **[0007]** Al incluir un conjunto de *pitch*, los modos de realización descritos en el presente documento facilitan la rotación de una pala de rotor alrededor de un eje de *pitch* para reducir una velocidad de un rotor cuando el rotor ha alcanzado una sobrevelocidad. Además, los modos de realización descritos en el presente documento facilitan la rotación de la pala de rotor alrededor del eje de *pitch* durante una pérdida de potencia y/o un mal funcionamiento de un sistema de control de turbina eólica.

[0008] Las figuras 1-6 muestran modos de realización de ejemplo de los sistemas y procedimientos descritos en el presente documento, en los que:

50 La figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica de ejemplo.

La figura 2 es una vista en sección ampliada de una parte de la turbina eólica mostrada en la figura 1.

55 La figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema de control de sobrevelocidad de ejemplo de un conjunto de *pitch*.

La figura 4 es una vista esquemática de un buje de la turbina eólica mostrada en la figura 2.

60 La figura 5 es una representación gráfica de una curva de aceleración de la turbina eólica mostrada en la figura 1.

La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de ejemplo para ensamblar un conjunto de *pitch* adecuado para su uso con la turbina eólica de la figura 1.

65 **[0009]** Los modos de realización descritos en el presente documento incluyen un sistema de turbina eólica que permite que un conjunto de *pitch* rote una pala de rotor alrededor de un eje de *pitch* para reducir una velocidad de

rotación de un rotor que ha alcanzado una sobrevelocidad. Más específicamente, el conjunto de *pitch* descrito en el presente documento permite que un sistema de accionamiento de *pitch* rote una pala de rotor a una posición de bandera cuando el rotor ha alcanzado una sobrevelocidad. Además, el conjunto de *pitch* descrito en el presente documento permite que un sistema de accionamiento de *pitch* rote una pala de rotor durante un evento de pérdida de potencia de turbina eólica, un mal funcionamiento del sistema de control de turbina eólica y/o cualquier otro evento de pérdida de potencia que requiera una disminución en la velocidad de rotor.

[0010] Como se usa en el presente documento, el término "sobrevelocidad" se refiere a una velocidad de rotación de un rotor a la que se puede producir un daño potencial al rotor, incluyendo daño a la pala de rotor. Como se usa en el presente documento, se pretende que el término "pala" sea representativo de cualquier dispositivo que proporciona una fuerza reactiva cuando está en movimiento en relación con un fluido circundante. Como se usa en el presente documento, se pretende que el término "turbina eólica" sea representativo de cualquier dispositivo que genera energía de rotación a partir de energía eólica y, más específicamente, convierte energía cinética del viento en energía mecánica. Como se usa en el presente documento, se pretende que el término "generador eólico" sea representativo de cualquier turbina eólica que genera potencia eléctrica a partir de energía de rotación generada a partir de energía eólica y, más específicamente, convierte energía mecánica convertida a partir de energía cinética del viento en potencia eléctrica.

[0011] La figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica de ejemplo 10. En el modo de realización de ejemplo, la turbina eólica 10 es una turbina eólica de eje horizontal. De forma alternativa, la turbina eólica 10 puede ser una turbina eólica de eje vertical. En el modo de realización de ejemplo, la turbina eólica 10 incluye una torre 12 que se extiende desde un sistema de soporte 14, una góndola 16 montada en la torre 12 y un rotor 18 que se acopla 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 afuera del buje 20. En el modo de realización de ejemplo, el rotor 18 tiene tres palas de rotor 22. En un modo de realización alternativo, el rotor 18 incluye más o menos de tres palas de rotor 22. En el modo de realización de ejemplo, la torre 12 se fabrica de acero tubular para definir una cavidad (no mostrada en la figura 1) entre el sistema de soporte 14 y la góndola 16. En un modo de realización alternativo, la torre 12 es cualquier tipo de torre adecuado que tiene cualquier altura adecuada.

[0012] Las palas de rotor 22 están espaciadas alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para permitir que la energía cinética se transfiera del viento a energía mecánica utilizable y, posteriormente, energía eléctrica. Las palas de rotor 22 se unen al buje 20 acoplando una parte de raíz de pala 24 al buje 20 en una pluralidad de regiones de transferencia de carga 26. Las regiones de transferencia de carga 26 tienen una región de transferencia de carga de buje y una región de transferencia de carga de pala (ninguna mostrada en la figura 1). Las cargas inducidas a las palas de rotor 22 se transfieren al buje 20 por medio de las regiones de transferencia de carga 26.

[0013] En un modo de realización, las palas de rotor 22 tienen una longitud que varía de aproximadamente 15 metros (m) a aproximadamente 91 m. De forma alternativa, las palas de rotor 22 pueden tener cualquier longitud adecuada que permita que la turbina eólica 10 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, otros ejemplos no limitantes de longitudes de pala incluyen 10 m o menos, 20 m, 37 m, o una longitud que es mayor de 91 m. Cuando el viento golpea las palas de rotor 22 desde una dirección 28, el rotor 18 se rota alrededor de un eje de rotación 30. A medida que las palas de rotor 22 se rotan y se someten a fuerzas centrífugas, las palas de rotor 22 también se someten a diversas fuerzas y momentos. Como tal, las palas de rotor 22 se pueden desviar y/o rotar desde una posición neutra, o no desviada, a una posición desviada. Además, un ángulo de *pitch* o *pitch* de pala de las palas de rotor 22, es decir, un ángulo que determina una perspectiva de las palas de rotor 22 con respecto a la dirección 28 del viento, se puede cambiar por un sistema de ajuste de *pitch* 32 para controlar la carga y la potencia generadas por la turbina eólica 10 ajustando una posición angular de al menos una pala de rotor 22 en relación con los vectores de viento. Se muestran los ejes de *pitch* 34 para las palas de rotor 22. Durante la operación de la turbina eólica 10, el sistema de ajuste de *pitch* 32 puede cambiar un *pitch* de pala de las palas de rotor 22 de modo que las palas de rotor 22 se mueven hasta una posición de bandera, de modo que la perspectiva de al menos una pala de rotor 22 en relación con los vectores de viento proporciona que un área de superficie mínima de la pala de rotor 22 se oriente hacia los vectores de viento, lo que facilita reducir una velocidad de rotación del rotor 18 y/o facilita una parada del rotor 18.

[0014] En el modo de realización de ejemplo, un *pitch* de pala de cada pala de rotor 22 se controla individualmente por un sistema de control 36. De forma alternativa, el *pitch* de pala para todas las palas de rotor 22 se puede controlar simultáneamente por el sistema de control 36. Además, en el modo de realización de ejemplo, a medida que cambia la dirección 28, se puede controlar una dirección de orientación ("yaw direction") de la góndola 16 alrededor de un eje de orientación ("yaw axis") 38 para posicionar las palas de rotor 22 con respecto a la dirección 28.

[0015] En el modo de realización de ejemplo, el sistema de control 36 se muestra como centralizado dentro de la góndola 16, sin embargo, el sistema de control 36 puede ser un sistema distribuido por toda la turbina eólica 10, en el sistema de soporte 14, dentro de un parque eólico y/o en un centro de control remoto. El sistema de control 36 incluye un procesador 40 configurado para realizar los procedimientos y/o etapas descritas en el presente

documento. Además, muchos de los otros componentes descritos en el presente documento incluyen un procesador. Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no se limita a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como ordenador, sino que se refiere en términos generales a un controlador, 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. Se debe entender que un procesador y/o un sistema de control también pueden incluir memoria, canales de entrada y/o canales de salida.

[0016] En los modos de realización descritos en el presente documento, la memoria puede incluir, sin limitación, un medio legible por ordenador, tal como una memoria de acceso aleatorio ("random Access memory" o RAM), y un medio no volátil legible por ordenador, tal como una memoria *flash*. De forma alternativa, también se puede usar un disquete, un disco compacto con memoria de solo lectura ("compact disc-read only memory" o CD-ROM), un disco magnetoóptico ("magneto-optical disk" o MOD) y/o un disco versátil digital ("digital versatile disc" o DVD). Además, en los modos de realización descritos en el presente documento, los canales de entrada incluyen, sin limitación, sensores y/o periféricos de ordenador asociados a una interfaz de operario, tal como un ratón y un teclado. Además, en el modo de realización de ejemplo, los canales de salida pueden incluir, sin limitación, un dispositivo de control, un monitor de interfaz de operario y/o una pantalla.

[0017] Los procesadores descritos en el presente documento procesan información transmitida desde una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, sin limitación, sensores, accionadores, compresores, sistemas de control y/o dispositivos de monitorización. Dichos procesadores pueden estar localizados físicamente en, por ejemplo, un sistema de control, un sensor, un dispositivo de seguimiento, un ordenador de escritorio, un ordenador portátil, un armario de controlador lógico programable ("programmable logic controller" o PLC) y/o un armario de sistema de control distribuido ("distributed control system" o DCS). La RAM y los dispositivos de almacenamiento almacenan y transfieren información e instrucciones para ejecutarse por el/los procesador(es). También se pueden usar RAM y dispositivos de almacenamiento para almacenar y proporcionar variables temporales, información e instrucciones estáticas (es decir, que no cambian) u otra información intermedia a los procesadores durante la ejecución de instrucciones por el/los procesador(es). Las instrucciones que se ejecutan pueden incluir, sin limitación, consignas de control de sistema de control de turbina eólica. La ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a ninguna combinación específica de circuitos de *hardware* e instrucciones de *software*.

[0018] La figura 2 es una vista en sección ampliada de una parte de la turbina eólica 10. En el modo de realización de ejemplo, la turbina eólica 10 incluye la góndola 16 y el buje 20 que se acopla de forma rotatoria a la góndola 16. Más específicamente, el buje 20 se acopla de forma rotatoria a un generador eléctrico 42 posicionado dentro de la góndola 16 por un eje de rotor 44 (algunas veces denominado eje principal o bien eje de baja velocidad), una caja de engranajes 46, un eje de alta velocidad 48 y un acoplamiento 50. La rotación del eje de rotor 44 acciona de forma rotatoria la caja de engranajes 46 que posteriormente acciona el eje rápido 48. El eje rápido 48 acciona de forma rotatoria el generador 42 con el acoplamiento 50 y la rotación del eje rápido 48 facilita la producción de potencia eléctrica mediante el generador 42. La caja de engranajes 46 y el generador 42 se sostienen por un soporte 52 y un soporte 54. En el modo de realización de ejemplo, la caja de engranajes 46 utiliza una geometría de ruta doble para accionar el eje rápido 48. De forma alternativa, el eje de rotor 44 se acopla directamente al generador 42 con el acoplamiento 50.

[0019] La góndola 16 también incluye un mecanismo de accionamiento de orientación ("yaw drive mechanism") 56 que se puede usar para rotar la góndola 16 y el buje 20 en un eje de orientación 38 (mostrado en la figura 1) para controlar la perspectiva de las palas de rotor 22 con respecto a la dirección 28 del viento. La góndola 16 también incluye al menos un mástil meteorológico 58 que incluye una veleta y un anemómetro (ninguno mostrado en la figura 2). El mástil 58 proporciona información al sistema de control 36 que puede incluir la dirección del viento y/o la velocidad del viento. En el modo de realización de ejemplo, la góndola 16 también incluye un rodamiento de soporte de proa 60 principal y un rodamiento de soporte de popa 62 principal.

[0020] El rodamiento de soporte de proa 60 y el rodamiento de soporte de popa 62 facilitan el soporte y la alineación radial del eje de rotor 44. El rodamiento de soporte de proa 60 se acopla al eje de rotor 44 cerca del buje 20. El rodamiento de soporte de popa 62 se posiciona en el eje de rotor 44 cerca de la caja de engranajes 46 y/o del generador 42. De forma alternativa, la góndola 16 incluye un número cualquiera de rodamientos de soporte que permite que la turbina eólica 10 funcione como se divulga en el presente documento. El eje de rotor 44, el generador 42, la caja de engranajes 46, el eje rápido 48, el acoplamiento 50 y cualquier dispositivo de sujeción, soporte y/o fijación asociado que incluye, pero sin limitarse a, el soporte 52 y/o el soporte 54, y el rodamiento de soporte de proa 60 y el rodamiento de soporte de popa 62, a veces se denominan tren de potencia 64.

[0021] En el modo de realización de ejemplo, el buje 20 incluye un conjunto de *pitch* 66. El conjunto de *pitch* 66 incluye uno o más sistemas de accionamiento de *pitch* 68 y al menos un sensor 70. Cada sistema de accionamiento de *pitch* 68 está acoplado a una respectiva pala de rotor 22 (mostrada en la fig. 1) para modular el *pitch* de pala de la pala de rotor asociada 22 a lo largo del eje de *pitch* 34. Solo uno de los tres sistemas de accionamiento de *pitch* 68 se muestra en la figura 2.

5 [0022] En el modo de realización de ejemplo, el conjunto de *pitch* 66 incluye al menos un rodamiento de *pitch* 72 acoplado al buje 20 y a la respectiva pala de rotor 22 (mostrada en la figura 1) para rotar la respectiva pala de rotor 22 alrededor del eje de *pitch* 34. El sistema de accionamiento de *pitch* 68 incluye un motor de accionamiento de *pitch* 74, una caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76 y un piñón de accionamiento de *pitch* 78. El motor de accionamiento de *pitch* 74 está acoplado a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76 de modo que el motor de accionamiento de *pitch* 74 imparte fuerza mecánica a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76. La caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76 está acoplada al piñón de accionamiento de *pitch* 78 de modo que el piñón de accionamiento de *pitch* 78 se rota por la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76. El rodamiento de *pitch* 72 está acoplado al piñón de accionamiento de *pitch* 78 de modo que la rotación del piñón de accionamiento de *pitch* 78 provoca la rotación del rodamiento de *pitch* 72. Más específicamente, en el modo de realización de ejemplo, el piñón de accionamiento de *pitch* 78 está acoplado al rodamiento de *pitch* 72 de modo que la rotación de la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76 rota el rodamiento de *pitch* 72 y la pala de rotor 22 alrededor del eje de *pitch* 34 para cambiar el *pitch* de pala de la pala de rotor 22.

15 [0023] El sistema de accionamiento de *pitch* 68 está acoplado al sistema de control 36 para ajustar el *pitch* de pala de la pala de rotor 22 tras la recepción de una o más señales del sistema de control 36. En el modo de realización de ejemplo, el motor de accionamiento de *pitch* 74 es cualquier motor adecuado accionado por potencia eléctrica y/o un sistema hidráulico que permite que el conjunto de *pitch* 66 funcione como se describe en el presente documento. De forma alternativa, el conjunto de *pitch* 66 puede incluir cualquier estructura, configuración, disposición y/o componentes adecuados tales como, pero sin limitarse a, cilindros hidráulicos, resortes y/o servomecanismos. Además, el conjunto de *pitch* 66 se puede accionar por cualquier medio adecuado tal como, pero sin limitarse a, un fluido hidráulico y/o potencia mecánica, tal como, pero sin limitarse a, fuerzas de resorte inducidas y/o fuerzas electromagnéticas. En determinados modos de realización, el motor de accionamiento de *pitch* 74 se acciona por la energía extraída de una inercia de rotación del buje 20 y/o una fuente de energía almacenada (no mostrada) que suministra energía a los componentes de la turbina eólica 10.

20 [0024] El conjunto de *pitch* 66 también incluye uno o más sistemas de control de sobrevelocidad 80 para controlar el sistema de accionamiento de *pitch* 68 durante sobrevelocidad del rotor. En el modo de realización de ejemplo, el conjunto de *pitch* 66 incluye al menos un sistema de control de sobrevelocidad 80 acoplado comunicativamente al respectivo sistema de accionamiento de *pitch* 68 para controlar el sistema de accionamiento de *pitch* 68 independientemente del sistema de control 36. En un modo de realización, el conjunto de *pitch* 66 incluye una pluralidad de sistemas de control de sobrevelocidad 80 que están acoplados comunicativamente al respectivo sistema de accionamiento de *pitch* 68 para operar el respectivo sistema de accionamiento de *pitch* 68 independientemente del sistema de control 36. El sistema de control de sobrevelocidad 80 también está acoplado comunicativamente al sensor 70. En el modo de realización de ejemplo, el sistema de control de sobrevelocidad 80 está acoplado al sistema de accionamiento de *pitch* 68 y al sensor 70 con una pluralidad de cables 82. De forma alternativa, el sistema de control de sobrevelocidad 80 está acoplado comunicativamente al sistema de accionamiento de *pitch* 68 y al sensor 70 usando cualquier dispositivo de comunicaciones alámbrico y/o inalámbrico adecuado. Durante la operación normal de la turbina eólica 10, el sistema de control 36 controla el sistema de accionamiento de *pitch* 68 para ajustar un *pitch* de la pala de rotor 22. En un modo de realización, cuando el rotor 18 funciona a sobrevelocidad del rotor, el sistema de control de sobrevelocidad 80 anula el sistema de control 36, de modo que el sistema de control 36 ya no controla el sistema de accionamiento de *pitch* 68 y el sistema de control de sobrevelocidad 80 controla el sistema de accionamiento de *pitch* 68 para mover la pala de rotor 22 a una posición de bandera para ralentizar la rotación del rotor 18.

30 [0025] Un generador de potencia 84 está acoplado al sensor 70, al sistema de control de sobrevelocidad 80 y al sistema de accionamiento de *pitch* 68 para proporcionar una fuente de potencia al conjunto de *pitch* 66. En el modo de realización de ejemplo, el generador de potencia 84 proporciona una fuente continua de potencia al conjunto de *pitch* 66 durante la operación de la turbina eólica 10. En un modo de realización alternativo, el generador de potencia 84 proporciona potencia al conjunto de *pitch* 66 durante un evento de pérdida de potencia eléctrica de la turbina eólica 10. El evento de pérdida de potencia eléctrica puede incluir pérdida de red eléctrica, mal funcionamiento del sistema eléctrico de turbina y/o fallo del sistema de control de turbina eólica 36. Durante el evento de pérdida de potencia eléctrica, el generador de potencia 84 opera para proporcionar potencia eléctrica al conjunto de *pitch* 66 de modo que el conjunto de *pitch* 66 pueda operar durante el evento de pérdida de potencia eléctrica.

35 [0026] En el modo de realización de ejemplo, el sistema de accionamiento de *pitch* 68, el sensor 70, el sistema de control de sobrevelocidad 80, los cables 82 y el generador de potencia 84 están posicionados cada uno en una cavidad 86 definida por una superficie interior 88 del buje 20. En un modo de realización particular, el sistema de accionamiento de *pitch* 68, el sensor 70, el sistema de control de sobrevelocidad 80, los cables 82 y/o el generador de potencia 84 están acoplados, directa o indirectamente, a la superficie interior 88. En un modo de realización alternativo, el sistema de accionamiento de *pitch* 68, el sensor 70, el sistema de control de sobrevelocidad 80, los cables 82 y el generador de potencia 84 están posicionados con respecto a una superficie exterior 90 del buje 20 y pueden estar acoplados, directa o indirectamente, a la superficie exterior 90.

[0027] La figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema de control de sobrevelocidad de ejemplo 100. En el modo de realización de ejemplo, el sistema de control de sobrevelocidad 100 incluye un controlador 102, una memoria 104 y un módulo de comunicaciones 106. El sistema de control de sobrevelocidad 100 puede incluir cualquier dispositivo adecuado que permite que el sistema de control de sobrevelocidad 100 funcione como se describe en el presente documento. En el modo de realización de ejemplo, el módulo de comunicaciones 106 incluye una interfaz de sensor 108 que facilita que el controlador 102 permita que se comunique con al menos un sensor montado en cualquier localización adecuada en o dentro, o fuera del rotor 18. En un modo de realización, la interfaz de sensor 108 incluye un convertidor de analógico a digital que convierte una señal de voltaje analógica generada por el sensor en una señal digital de varios bits utilizable por el controlador 102. En modos de realización alternativos, el módulo de comunicaciones 106 puede incluir cualquier dispositivo de comunicaciones alámbrico y/o inalámbrico adecuado que facilita transmitir señales a y/o recibir señales desde cualquier dispositivo localizado en o dentro, o fuera del rotor 18 y/o de forma remota del rotor 18. En el modo de realización de ejemplo, la memoria 104 puede incluir cualquier dispositivo de almacenamiento adecuado, incluyendo, pero sin limitarse a, memoria *flash*, memoria programable y borrable electrónicamente, memoria de solo lectura ("read only memory" o ROM), medios extraíbles y/u otros dispositivos de almacenamiento volátiles y no volátiles. En un modo de realización, las instrucciones ejecutables (es decir, instrucciones de *software*) están almacenadas en la memoria 104 para su uso por el controlador 102 en el control del sistema de accionamiento de *pitch* 68, como se describe a continuación.

[0028] En el modo de realización de ejemplo, el controlador 102 es un controlador en tiempo real que incluye cualquier sistema basado en procesador o en microprocesador adecuado, tal como un sistema informático, que incluye microcontroladores, circuitos de conjunto de instrucciones reducido ("reduced instruction set circuits" o RISC), circuitos integrados específicos de aplicación ("application-specific integrated circuits" o ASIC), circuitos lógicos y/o cualquier otro circuito o procesador que pueda ejecutar las funciones descritas en el presente documento. En un modo de realización, el controlador 102 puede ser un microprocesador que incluye memoria de solo lectura ("read-only memory" o ROM) y/o memoria de acceso aleatorio ("random Access memory" o RAM), tal como, por ejemplo, un microordenador de 32 bits con 2 Mbits de ROM y 64 Kbits de RAM. Como se usa en el presente documento, el término "tiempo real" se refiere a los resultados que se producen en un período de tiempo sustancialmente corto después de que un cambio en las entradas afecte al resultado, siendo el período de tiempo un parámetro de diseño que se puede seleccionar en base a la importancia del resultado y/o la capacidad del sistema de procesar las entradas para generar el resultado.

[0029] La figura 4 es una vista esquemática del buje 20 tomada a lo largo de la línea 4-4 (mostrada en la figura 2) con las palas de rotor 110, 112, 114 acopladas al buje 20. En el modo de realización de ejemplo, tres ejes perpendiculares entre sí X, Y y Z se extienden a través del buje 20 para definir un sistema de coordenadas cartesianas tridimensional en relación con un centro C del buje 20. En el modo de realización de ejemplo, el eje Z es coaxial con un eje longitudinal 116 del eje de rotor 44, y el eje X y eje Y se intersecan para formar un plano de rotación 118 del rotor 18. Un sensor, tal como un sensor de aceleración 120, está montado dentro del buje 20 para facilitar la detección de aceleraciones del rotor 18 en las direcciones X y/o Y. En el modo de realización de ejemplo, uno o más sensores de aceleración 120 están montados en o cerca de la primera pala 110 para facilitar la detección de un primer vector de aceleración A_{X1} del rotor 18 en una dirección a lo largo del eje X y un primer vector de aceleración A_{Y1} del rotor 18 en una dirección a lo largo del eje Y. En un modo de realización alternativo, el sensor de aceleración 120 puede estar montado en cualquier localización adecuada en la turbina eólica 10 que permite que el sensor de aceleración 120 detecte una aceleración del rotor 18.

[0030] Durante una operación de la turbina eólica 10, los vectores de aceleración detectados A_{X1} y A_{Y1} pueden tener cualquier magnitud y/o cualquier dirección, y las magnitudes y las direcciones mostradas en la figura 4 pretenden ser de ejemplo. En un modo de realización, uno o más sensores de aceleración 120 pueden estar montados en, o contiguos a, el buje 20. De forma alternativa, cualquier número adecuado de sensores de aceleración 120 puede estar montado en cualquier localización adecuada dentro del buje 20 y/o fuera del buje 20 que permite que el sistema de control de sobrevelocidad 100 funcione como se describe en el presente documento.

[0031] En el modo de realización de ejemplo, el sensor de aceleración 120 está acoplado comunicativamente al controlador 102 a través de cualquier medio de comunicación alámbrico y/o inalámbrico adecuado por medio de la interfaz de sensor 108 del módulo de comunicaciones 106 para facilitar que el sensor de aceleración 120 permita que se transmitan señales a y/o se reciban señales del controlador 102. En el modo de realización de ejemplo, el sensor de aceleración 120 detecta continuamente las aceleraciones del rotor 18 en la dirección X e Y, y el sensor de aceleración 120 transmite continuamente señales indicativas de los vectores de aceleración detectados A_{X1} y/o A_{Y1} al controlador 102 en tiempo real. En un modo de realización, el controlador 102 puede estar programado para recibir y seguir continuamente las señales transmitidas por el sensor de aceleración 120. En un modo de realización alternativo, el controlador 102 puede que no reciba y/o siga continuamente las señales transmitidas por el sensor de aceleración 120 sino que, más bien, puede estar programado para solicitar iterativamente señales del sensor de aceleración 120 a intervalos de tiempo predeterminados. En determinados modos de realización, el controlador 102 y/o el sensor de aceleración 120 pueden transmitir señales y/o recibir señales entre sí en cualquier intervalo de tiempo adecuado.

[0032] En el modo de realización de ejemplo, el controlador 102 está programado para almacenar la función de velocidad representativa de una condición de sobrevelocidad del rotor 18 (es decir, la velocidad de rotación a la que el rotor 18 está en una condición de sobrevelocidad) en la memoria 104. Durante la operación de la turbina eólica 10, el controlador 102 está programado para recibir señales correspondientes a los vectores de aceleración detectados A_{X1} y/o A_{Y1} desde el sensor de aceleración 120, y el controlador 102 está programado para asociar un valor de aceleración (es decir, un valor indicativo de la magnitud y/o la dirección de cada vector de aceleración) con cada señal recibida.

[0033] Después de asociar un valor de aceleración con cada señal recibida, el controlador 102 está programado para identificar una velocidad de rotación del rotor 18 en una dirección de rotación R, mostrada en la figura 4, y/o el plano de rotación 118 del rotor 18 (es decir, el plano definido por los ejes X e Y) usando al menos uno de los valores de aceleración asociados con los vectores de aceleración detectados A_{X1} y/o A_{Y1} . En un modo de realización, el controlador 102 puede estar programado para introducir continuamente los valores de aceleración asociados con los vectores de aceleración detectados A_{X1} y/o A_{Y1} en un primer modelo matemático que facilita la identificación del patrón de aceleración sinusoidal del rotor 18 (es decir, representado gráficamente como una curva de aceleración sinusoidal) provocado, en parte, por fuerzas gravitatorias que actúan sobre el rotor 18. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador 102 puede estar programado para identificar un patrón de aceleración sinusoidal (representado gráficamente en la figura 5 como una curva de aceleración 506) para el rotor 18 usando las señales indicativas de aceleraciones detectadas de A_{Y1} . El controlador 102 está programado para integrar a continuación la función de aceleración para expresar la función de aceleración como una correspondiente función de velocidad.

[0034] En el modo de realización de ejemplo, el controlador 102 está programado además para controlar al menos un sistema de accionamiento de *pitch* 68 en respuesta a una velocidad de rotación identificada del rotor 18 para facilitar la reducción de la velocidad de rotación del rotor 18. En un modo de realización, el controlador 102 está programado para comparar una función de velocidad identificada del rotor 18 con una función de velocidad de sobrevelocidad almacenada, y para controlar el sistema de accionamiento de *pitch* 68 cuando una velocidad de rotación identificada está a o excede una velocidad de rotación de sobrevelocidad. En un modo de realización, el controlador 102 puede estar configurado para controlar el sistema de accionamiento de *pitch* 68 en respuesta a una velocidad identificada del rotor 18 para mover la pala de rotor 22 a una posición de bandera para ralentizar la rotación del rotor 18.

[0035] La figura 5 es un gráfico 500 de trazas de ejemplo de una aceleración del rotor 18 durante un período de tiempo. El eje x 502 muestra un período de tiempo medido en segundos (s). El eje y 504 muestra una aceleración del rotor 18 medido en metros por segundo al cuadrado (m/s^2). La traza 506 representa una curva de aceleración sinusoidal del rotor 18 que se genera por el sensor de aceleración 120 a partir de aceleraciones detectadas de uno del primer vector de aceleración A_{X1} del rotor 18 en una dirección a lo largo del eje X y el primer vector de aceleración A_{Y1} del rotor 18 en una dirección a lo largo del eje Y.

[0036] La figura 6 es un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo 600 para ensamblar el conjunto de *pitch* 66. En el modo de realización de ejemplo, el procedimiento 600 incluye acoplar 602 el sistema de accionamiento de *pitch* 68 a al menos una pala de rotor 22 para rotar la pala de rotor 22 alrededor del eje de *pitch* 34. Al menos un sensor 70 está acoplado 604 en comunicación de señal al sistema de accionamiento de *pitch* 68. El sistema de accionamiento de *pitch* 68 rota la pala de rotor 22 cuando el sensor 70 detecta sobrevelocidad del rotor. El sistema de control de sobrevelocidad 80 está acoplado opcionalmente 606 al sistema de accionamiento de *pitch* 68 para operar el sistema de accionamiento de *pitch* 68 cuando la rotación del rotor 18 ha alcanzado una sobrevelocidad. En este modo de realización, el sistema de control de sobrevelocidad 80 está configurado para operar independientemente del sistema de control de turbina eólica 36. En un modo de realización alternativo, el sensor 70 está acoplado al sistema de control de sobrevelocidad 80. El sensor 70 está configurado para detectar una aceleración del rotor 18 y transmitir una o más señales indicativas de la aceleración detectada al sistema de control de sobrevelocidad 80. En este modo de realización alternativo, el sistema de control de sobrevelocidad 80 está configurado para recibir las señales del sensor 70 y para identificar una velocidad de rotación del rotor 18 en base a las señales recibidas. En otro modo de realización, el generador de potencia 84 está acoplado opcionalmente 608 al sistema de accionamiento de *pitch* 68 y al sensor 70 para proporcionar una fuente de potencia al conjunto de *pitch* 66 durante un evento de pérdida de potencia eléctrica que afecta a la turbina eólica 10.

[0037] Los sistemas y procedimientos descritos anteriormente facilitan la operación de un conjunto de *pitch* para rotar una pala de rotor alrededor de un eje de *pitch* para reducir una velocidad de rotación de un rotor que ha alcanzado una sobrevelocidad. Más específicamente, cuando el rotor ha alcanzado la sobrevelocidad, el conjunto de *pitch* descrito en el presente documento rota la pala de rotor hasta una posición de bandera para ralentizar la velocidad de rotación del rotor. Además, el sistema descrito en el presente documento facilita la operación del conjunto de *pitch* para rotar la pala de rotor durante un evento de pérdida de potencia eléctrica, mal funcionamiento del sistema de control de turbina eólica y/o cualquier otro evento de pérdida de potencia que requiera una disminución en la velocidad de rotor. Como tal, el daño que se le puede producir a una pala de rotor durante sobrevelocidad del rotor se reduce o elimina, extendiendo de este modo la vida operativa de una turbina eólica.

- 5 **[0038]** Los modos de realización de ejemplo de sistemas y procedimientos para ensamblar un conjunto de *pitch* para su uso en una turbina eólica se describen anteriormente en detalle. Los sistemas y procedimientos no se limitan a los modos de realización específicos descritos en el presente documento, sino que en su lugar los componentes de los sistemas y/o las etapas de los procedimientos se pueden utilizar independientemente y por separado de otros componentes y/o etapas descritos en el presente documento. Por ejemplo, los procedimientos también se pueden usar en combinación con otros conjuntos de *pitch*, y no se limitan a la práctica con solo los sistemas de turbina eólica como se describe en el presente documento. Más bien, el modo de realización de ejemplo se puede implementar y usar en relación con muchas otras aplicaciones de palas de rotor.
- 10 **[0039]** Aunque se pueden mostrar rasgos característicos específicos de diversos modos de realización de la invención en algunos dibujos y no en otros, esto se hace solo por conveniencia. De acuerdo con los principios de la invención, se puede hacer referencia a y/o reivindicar cualquier rasgo característico de un dibujo en combinación con cualquier rasgo característico de cualquier otro dibujo.
- 15 **[0040]** Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferente, 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 se define por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de *pitch* (66) para su uso con una turbina eólica (10) que incluye un rotor (18) que tiene un buje (20) con tres ejes perpendiculares entre sí X, Y y Z y al menos una pala de rotor (22) acoplada al rotor (18), comprendiendo dicho conjunto de *pitch* (66):
- 5 un sistema de accionamiento de *pitch* (68) acoplado a la pala de rotor (22) para rotar la pala de rotor (22) alrededor de un eje de *pitch* (34);
- 10 al menos un sensor de aceleración (70, 120) montado con respecto al rotor (18) para detectar una sobrevelocidad del rotor (18), dicho al menos un sensor de aceleración se proporciona para facilitar la detección de un vector de aceleración A_{X1} en una dirección a lo largo del eje X y un vector de aceleración A_{Y1} en una dirección a lo largo del eje Y, dicho sensor de aceleración (70, 120) está acoplado comunicativamente a dicho sistema de accionamiento de *pitch* (68), y dicho sistema de accionamiento de *pitch* (68) está configurado para rotar la pala de rotor (22) cuando dicho sensor (70, 120) detecta sobrevelocidad del rotor;
- 15 un generador de potencia (84) acoplado al sistema de accionamiento de *pitch* (68) y al sensor (70, 120), dicho generador de potencia (84) configurado para proporcionar potencia (66) durante un evento de pérdida de potencia de turbina eólica; y
- 20 un sistema de control de sobrevelocidad (80, 100) que tiene un controlador (102) para controlar el sistema de accionamiento de *pitch* (68) durante la sobrevelocidad de rotor, en el que el sistema de control de sobrevelocidad (80, 100) está acoplado comunicativamente al sistema de accionamiento de *pitch* (68) y al sensor (70, 120), y el sistema de control de sobrevelocidad (80, 100) está configurado para anular un sistema de control (36), de modo que el sistema de control (36) ya no controla el sistema de accionamiento de *pitch* (68),
- 25 en el que el controlador (102) está programado para almacenar una función de velocidad representativa de una condición de sobrevelocidad del rotor (18), para recibir señales correspondientes a los vectores de aceleración detectados A_{X1} y/o A_{Y1} , para asociar un valor de aceleración con cada señal recibida, para identificar una velocidad de rotación del rotor usando al menos uno de los valores de aceleración asociados con los vectores de aceleración detectados A_{X1} y/o A_{Y1} , para comparar una función de velocidad identificada del rotor con la función de velocidad de sobrevelocidad almacenada, y para controlar el sistema de accionamiento de *pitch* (68) para facilitar la reducción de la velocidad de rotación del rotor (18), en el que el sistema de accionamiento de *pitch* se controla cuando una velocidad de rotación identificada está en o excede una velocidad de rotación de sobrevelocidad.
- 30
- 35
- 40 2. El conjunto de *pitch* (66) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho sistema de accionamiento de *pitch* (68) rota la pala de rotor hasta una posición de bandera cuando dicho sensor (70) detecta sobrevelocidad del rotor.
- 45 3. El conjunto de *pitch* (66) de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el sistema de accionamiento de *pitch* (68) está posicionado dentro del buje (20).
- 50 4. El conjunto de *pitch* (66) de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el sistema de accionamiento de *pitch* (68) está acoplado a una superficie exterior (90) del buje.
- 55 5. El conjunto de *pitch* (66) de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que dicho sensor (70, 120) está posicionado dentro de un plano de rotación (118) del rotor (18) y está configurado para medir una velocidad de rotor en el plano de rotación.
- 60 6. El conjunto de *pitch* (66) de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que dicho controlador (102) está programado para:
- 65 identificar una sobrevelocidad del rotor (18);
- calcular la velocidad del rotor en relación con la sobrevelocidad; y,
- operar dicho sistema de accionamiento de *pitch* (68) para mover la pala de rotor (22) hasta una posición de bandera cuando la velocidad calculada del rotor está a o excede la sobrevelocidad.
7. Una turbina eólica (10), que comprende una torre (12), una góndola (16) acoplada a dicha torre (12), un rotor (18) acoplado de forma rotatoria a dicha góndola (16), y un conjunto de *pitch* (66) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes.

8. Un procedimiento para operar un conjunto de *pitch* (66) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6 y/o para operar una turbina eólica (10) de acuerdo con la reivindicación 7 durante períodos de pérdida de potencia eléctrica y/o mal funcionamiento del sistema de control de turbina eólica.
- 5 9. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8 que comprende las etapas:
- durante un evento de pérdida de potencia eléctrica de una turbina eólica (10) proporcionar potencia al conjunto de *pitch* (66) mediante el generador de potencia (84); y
- 10 anular el sistema de control (36) por el sistema de control de sobrevelocidad (80, 102), de modo que el sistema de control (36) ya no controla el sistema de accionamiento de *pitch* (68); y
- detectar el vector de aceleración A_{X1} en la dirección a lo largo del eje X y el vector de aceleración A_{Y1} en la dirección a lo largo del eje Y.
- 15 10. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9 que comprende las etapas realizadas por el controlador (102):
- almacenar la función de velocidad representativa de una condición de sobrevelocidad del rotor (18),
- 20 recibir señales correspondientes al vector de aceleración detectado A_{X1} y/o al vector de aceleración detectado A_{Y1} ,
- asociar un valor de aceleración con la señal recibida,
- 25 usar el valor de aceleración para identificar una función de velocidad usable para calcular una velocidad del rotor (18),
- 30 comparar la función de velocidad identificada con la función de velocidad de sobrevelocidad almacenada, y
- controlar el sistema de accionamiento de *pitch* (68) para facilitar la reducción de la velocidad de rotación del rotor (18), cuando una velocidad de rotación identificada está en o excede una velocidad de rotación de sobrevelocidad.
- 35 11. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10 que comprende las etapas realizadas por el controlador (102):
- rotar la pala de rotor (22) hasta una posición de bandera cuando dicho sensor (70) detecta sobrevelocidad del rotor.
- 40

FIG. 1

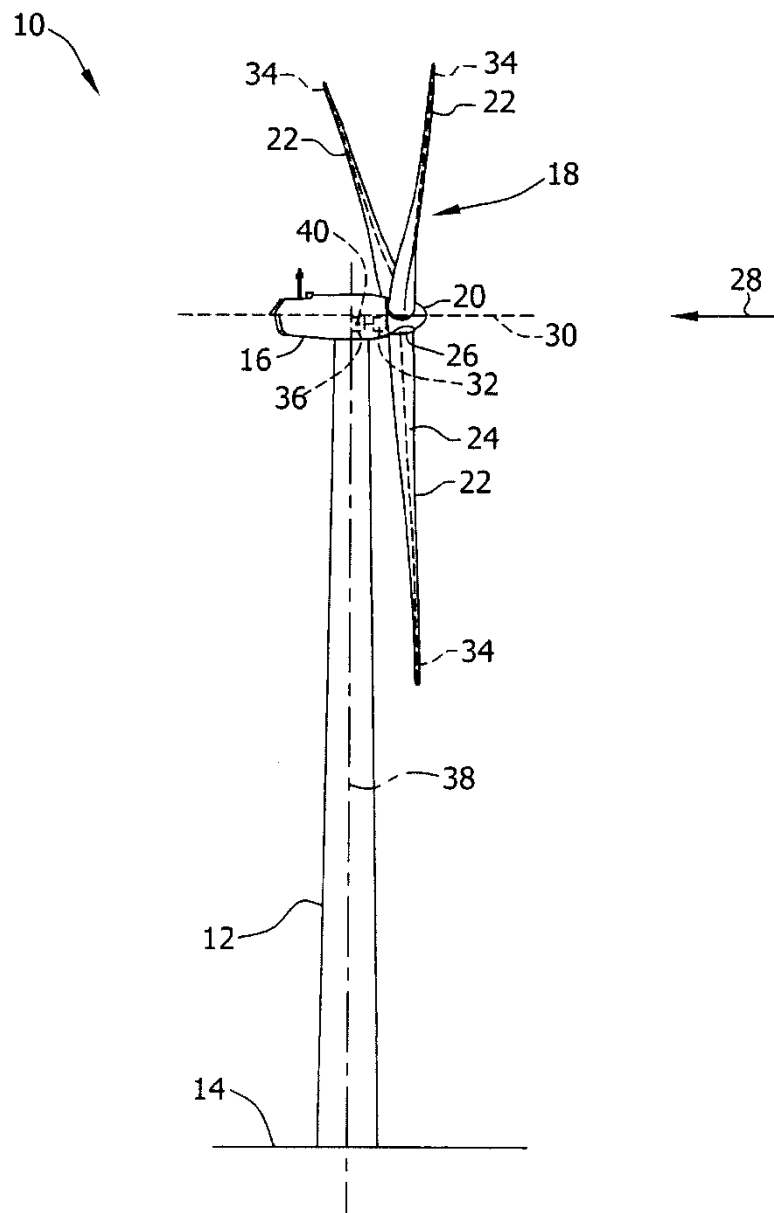


FIG. 3

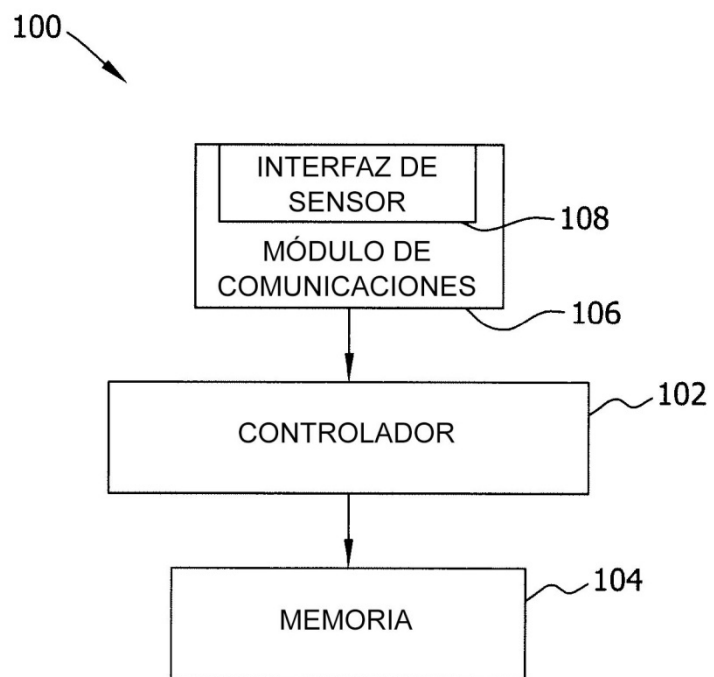


FIG. 4

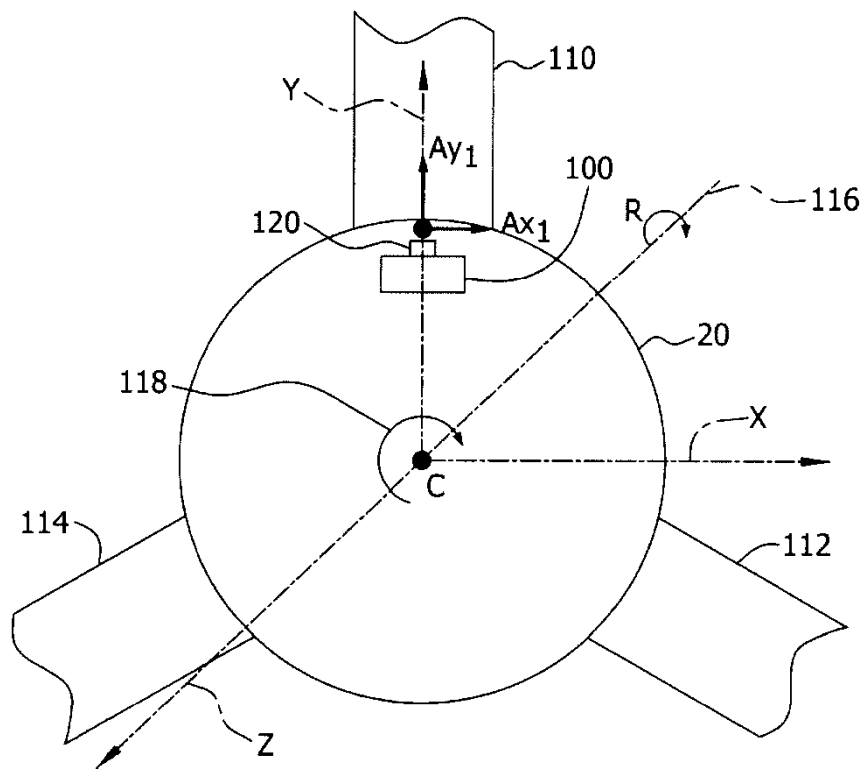


FIG. 5

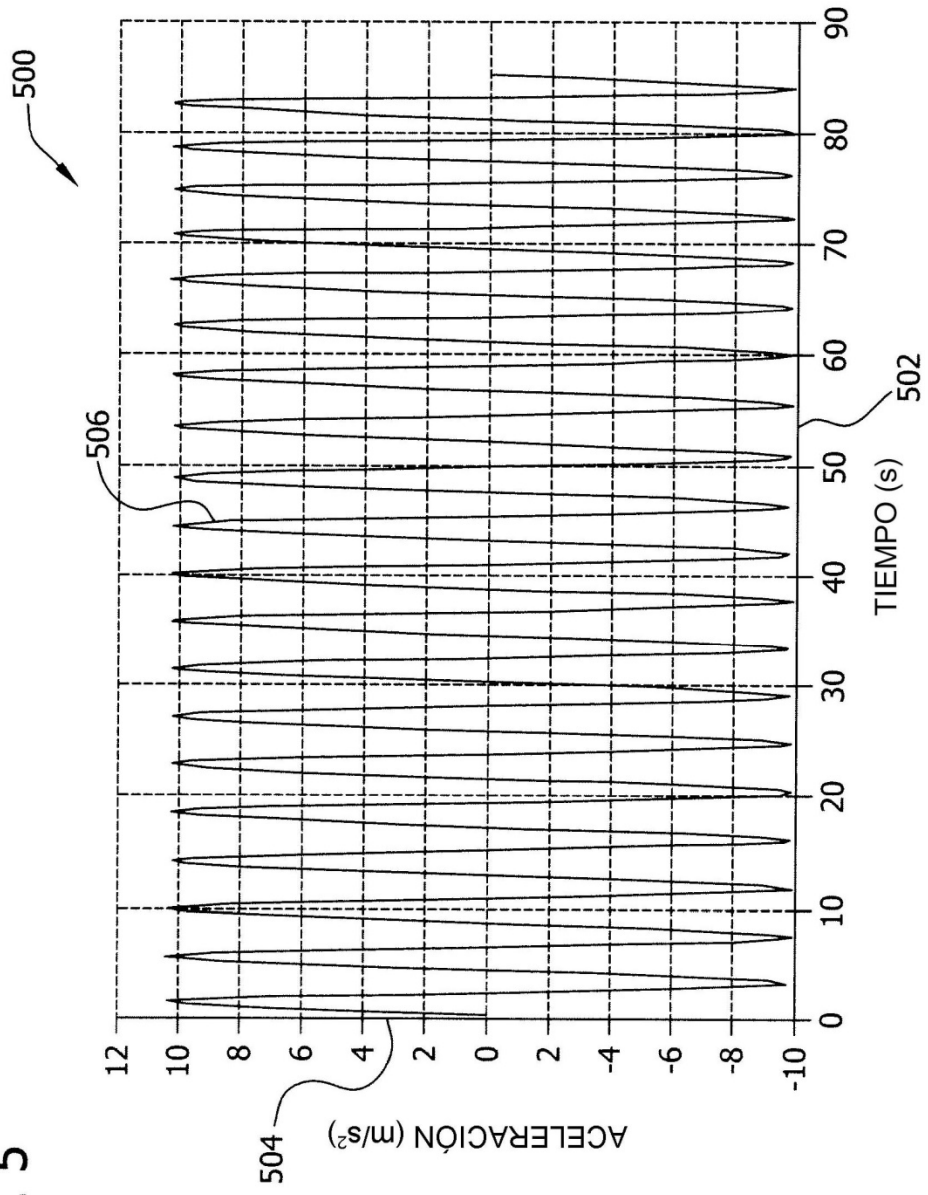


FIG. 6

